



Mecânico de Manutenção Aeronáutica

MATÉRIAS BÁSICAS

Edição Revisada
23 de Outubro de 2002

INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL
DIVISÃO DE INSTRUÇÃO PROFISSIONAL

PREFÁCIO

Edição revisada

Este volume, Matérias Básicas, foi revisado, tendo sido feitas correções em todos os capítulos, bem como algumas alterações consideradas necessárias como a inclusão do assunto referente a Aerodinâmica, do volume Célula de Aeronaves, por ser uma das disciplinas do Módulo Básico.

Este volume, Matérias Básicas, é uma tradução do AC 65-9A do FAA (*Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook*) e tem por finalidade padronizar a instrução em todos os cursos de formação de mecânicos de manutenção aeronáutica.

Este volume contém as matérias necessárias ao desenvolvimento da instrução referente ao Módulo Básico nas especialidades de Célula, Grupo Motopropulsor e Aviônicos, sendo um complemento obrigatório.

Os assuntos técnicos estão aqui apresentados sob um ponto de vista generalizado e, de maneira nenhuma, devem substituir as informações e regulamentos oficiais fornecidos pelos fabricantes das aeronaves e autoridades aeronáuticas.

Contribuíram para a tradução do AC 65-9A, as companhias aéreas Varig, Vasp, Tam, Lider e os componentes civis e militares da TE-1. A revisão gramatical da Primeira Edição foi efetuada por Helena Aquino de Araujo e a revisão técnica por Jorge Nunes das Neves.

O DAC obteve autorização da editora (FAA) para traduzir o conteúdo desse volume (AC 65-15A Célula de Aeronaves) e sua distribuição mediante indenização do valor material, sendo proibida a reprodução total ou parcial do mesmo sem a autorização do DAC (TE-1).

É de nosso interesse receber críticas e sugestões às deficiências encontradas para as devidas alterações em uma próxima revisão.

O prefácio original, traduzido, está reproduzido nas páginas seguintes.

A correspondência relativa a esse manual deverá ser endereçada ao

Instituto de Aviação Civil – DIP

Avenida Almirante Silvio de Noronha, 369, Edifício anexo, CEP 20021-010 Rio de Janeiro - RJ - Brasil

ou enviada ao e-mail: dacg302@uninet.com.br

PREFÁCIO DO MANUAL AC 65-9A

Este manual foi desenvolvido e impresso pela primeira vez em 1970 como parte de uma série de três manuais para pessoas que se preparam para obter um certificado de mecânico de grupo motopropulsor, célula ou ambos. Este manual pretende prover informação básica sobre procedimentos técnicos, fundamentos e princípios comuns às áreas de célula e grupo motopropulsor. Neste volume é dada ênfase à teoria e métodos de aplicação.

Esse manual destina-se a auxiliar estudantes matriculados em um curso formal de instrução, bem como àquele que estuda por conta própria. Visto que os conhecimentos exigidos para célula e grupo motopropulsor são semelhantes em algumas áreas, os capítulos que tratam dos sistemas de proteção contra o fogo e sistemas elétricos contêm algum material que é também duplicado no Manual de Grupo Motopropulsor – Mecânicos de Grupo Motopropulsor e Células, AC 65-12A e o Manual de Células – Mecânicos de Grupo Motopropulsor e Células, AC 65-15A.

Este volume contém informações sobre desenho de aviões, peso e balanceamento, materiais de aviação e processos, física, eletricidade, inspeção, apoio de terra e ferramentas.

O conhecimento adquirido com o estudo desse manual é essencial antes de prosseguir em um curso de estudo dos manuais de grupo motopropulsor ou de célula.

Pelo fato de existirem muitos tipos diferentes de células e de grupos motopropulsores em uso, atualmente, é normal supor a existência de diferenças nos componentes e sistemas de cada tipo. Para evitar repetições desnecessárias, a prática do uso de unidades e sistemas representativos é mantida ao longo do manual. O assunto é tratado a partir de um ponto de vista generalizado e deve ser suplementado por consultas aos manuais dos fabricantes ou outros impressos se forem desejados maiores detalhes. Esse manual não procura substituir ou suplantar os regulamentos oficiais ou as instruções dos fabricantes.

São expressos agradecimentos aos fabricantes de componentes para células e grupos motopropulsores pela cooperação ao tornarem disponível material para anexo e inclusão.

Material com direitos autorais é usado com permissão especial das seguintes organizações e não pode ser extraído ou reproduzido sem permissão do proprietário do COPYRIGHT:

	(R)
Monsanto Chemicals Co	Fluidos “Skydrol”
Towsend Corporation	Rebites “Cherry” e Luvas “Acres”
J. O. King, Inc.	Extintores de fogo
Gravines, Inc.	Extintores de fogo
Walter Kidde	Extintores de fogo
DuPont De Nemours	Elementos extintores de fogo

Associação Nacional de Proteção contra o Fogo	Extintores e especificações dos elementos de extinção de fogo
Associação Nacional de Distribuidores de Extintores de Fogo	Extintores de fogo
Fundação para a segurança do voo	Dados de reabastecimento
Instituto Americano do Petróleo	Combustíveis de aviação
Corporação Exxon	Combustíveis de aviação
Parker Hannifin	Acessórios de aviação

Os avanços na tecnologia aeronáutica obrigam um manual de instrução a estar sob revisão contínua e ser atualizado periodicamente. As normas de voo (FLIGHT STANDARDS) exigiram comentários das escolas autorizadas de técnicos de manutenção de aviação nos três manuais. Como resultado desta inspeção, os manuais foram atualizados até este ponto.

Novo material foi acrescentado nas áreas que foram apontadas como deficientes e alguns dados foram reagrupados para melhorar a didática dos manuais.

Gostaríamos de tomar conhecimento dos erros, bem como receber sugestões para melhorar o objetivo dos manuais. Comentários e sugestões serão mantidos em arquivo até a saída da próxima revisão.

Toda correspondência relativa a estes manuais deve ser endereçada a:

U.S. Department of Transportation
Federal Aviation Administration
Flight Standards National Field Office
P.O. Box 25082, Oklahoma City, Oklahoma 73125

Os manuais que formam a série com o AC 65-9A são o AC65-12A e AC 65-15A.

CONTEÚDO

PREFÁCIO	III
CONTEÚDO	VII
 CAPÍTULO 1 - MATEMÁTICA	
Introdução	1-1
Os números inteiros	1-1
Frações	1-2
Potências e raízes	1-14
Cômputo de área	1-16
Cômputo do volume dos sólidos	1-21
Gráficos e tabelas	1-23
Sistemas de medição	1-26
 CAPÍTULO 2 - DESENHOS DE AERONAVES	
Introdução	2-1
Plantas	2-1
Desenhos de trabalho	2-1
Cuidado e uso de desenho	2-2
Blocos de títulos	2-2
Lista de material	2-3
Outras informações	2-4
Métodos de ilustração	2-5
O significado das linhas	2-8
Interpretando desenhos	2-10
Diagramas	2-11
Esboços de desenho	2-14
Símbolo de desenho	2-15
Cuidados com instrumentos de desenho	2-15
Microfilme	2-15
 CAPÍTULO 3 - PESO E BALANCEAMENTO DE AERONAVES	
Introdução	3-1
Teoria do peso e balanceamento	3-1
Dados de peso e balanceamento	3-2
Terminologia	3-2
Procedimentos de pesagem da aeronave	3-7
Formulário de pesagem	3-13
Condições extremas de peso e balanceamento	3-14
Instalação de lastro	3-16
Cartas de carregamento e envelopes do C.G.	3-18
Equipamento eletrônico de pesagem	3-20
Peso e balanceamento de helicópteros	3-20
 CAPÍTULO 4 - COMBUSTÍVEIS E SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL	
Introdução	4-1
Características e propriedades da gasolina de aviação	4-1
Combustíveis para motores a turbina	4-5

Contaminação do sistema de combustível	4-7
Sistemas de combustível	4-11
Componentes do sistema de combustível	4-12
Indicadores do sistema de combustível.....	4-19
Sistemas de combustível para multimotores.....	4-24
Análises e pesquisa de falhas do sistema de combustível.....	4-26
Reparos nos tanques de combustível	4-27

CAPÍTULO 5 - TUBULAÇÕES E CONEXÕES

Introdução	5-1
Tubulações	5-1
Identificação dos materiais.....	5-1
Tabulações flexíveis (Mangueiras).....	5-2
Conexões	5-6
Reparos nas linhas com tubo de metal.....	5-15
Fabricação e substituição de tubos flexíveis.....	5-16
Instalação de tubulações rígidas	5-18
Torque para tubos de aço 3041/8H	5-20
Suportes de fixação	5-21

CAPÍTULO 6 - MATERIAIS DE AVIAÇÃO E PROCESSOS

Introdução	6-1
Identificação dos materiais de aviação	6-1
Parafusos de aviação	6-2
Porcas de aeronave.....	6-7
Arruelas de aviação.....	6-11
Instalação de parafusos e porcas	6-12
Torque e torquímetros.....	6-13
Outros tipos de parafusos de aviação (Screws).....	6-16
Reparos em roscas internas.....	6-18
Reparo com luvas Acres	6-20
Prendedores de abertura rápida.....	6-22
Cabos de comando	6-24
Conexões rígidas de controle.....	6-26
Pinos.....	6-26
Métodos de segurança.....	6-27
Rebites.....	6-31
Rebites especiais	6-36
Plásticos.....	6-44
Borracha.....	6-46
Amortecedores de elástico	6-47
Vedadores	6-48
Juntas de vedação (Gaskets)	6-50
Limpadores	6-50
Selantes	6-50
Controles de corrosão	6-52
Formas de corrosão	6-53
Fatores que afetam a corrosão.....	6-55
Manutenção preventiva.....	6-55
Inspeção	6-56
Áreas propensas a corrosão.....	6-56

Remoção da corrosão.....	6-58
Corrosão de metais ferrosos.....	6-59
Corrosão do alumínio e suas ligas	6-60
Corrosão das ligas de magnésio.....	6-62
Tratamento anticorrosivo do titânio e suas ligas	6-63
Proteção do contato entre metais diferentes	6-64
Limites da corrosão.....	6-65
Materiais e processos usados no controle da corrosão	6-65
Tratamentos químicos.....	6-67
Acabamento com tintas protetoras.....	6-69
Limpeza da aeronave	6-69
Limpeza do interior da aeronave	6-71
Limpeza dos motores	6-73
Solventes de limpeza	6-74
Agentes de limpeza em emulsão.....	6-75
Sabões e detergentes	6-76
Produtos para a limpeza mecânica.....	6-76
Produtos químicos de limpeza	6-77
Estrutura dos metais.....	6-77
Processos usados na conformação metálica.....	6-80
Metais ferrosos usados na indústria aeronáutica	6-82
Metais não ferrosos de utilização aeronáutica	6-85
Reposição de metais de utilização aeronáutica.....	6-93
Princípios do tratamento térmico.....	6-93
Equipamento para tratamento térmico.....	6-94
Tratamento térmico de metais ferrosos.....	6-98
Cementação.....	6-100
Tratamento térmico de metais não ferrosos.....	6-103
Tratamento de solução à quente	6-103
Tratamento por precipitação à quente.....	6-105
Recozimento das ligas de alumínio	6-106
Tratamento térmico dos rebites de liga de alumínio.....	6-107
Tratamento térmico das ligas de magnésio.....	6-107
Tratamento térmico do titânio	6-108
Testes de dureza.....	6-109

CAPÍTULO 7 - FÍSICA

Introdução.....	7-1
Matéria.....	7-1
Fluídos	7-2
Temperatura.....	7-5
Pressão	7-7
Pressão atmosférica.....	7-7
Compressibilidade e expansão dos gases	7-8
Teoria cinética dos gases	7-8
Atmosfera.....	7-16
Princípio de Bernoulli.....	7-23
Máquinas.....	7-24
Trabalho, potência e energia.....	7-30
Movimento dos corpos.....	7-35
Calor.....	7-39
Som	7-44

CAPÍTULO 8 - ELETRICIDADE BÁSICA

Introdução	8-1
Matéria	8-1
Eletricidade estática	8-2
Força eletromotriz	8-6
Resistência	8-7
Componentes e símbolos de circuito básico	8-9
Lei de Ohm	8-17
Circuitos de corrente contínua em série	8-21
Circuitos de corrente contínua em paralelo	8-26
Circuitos em série-paralelo	8-27
Divisores de voltagem	8-30
Reostatos e potenciômetros	8-31
Magnetismo	8-33
Baterias de acumuladores	8-42
Baterias de chumbo-ácido	8-42
Bateria de níquel-cádmio	8-46
Dispositivos de proteção e controle de circuitos	8-49
Chaves ou interruptores	8-51
Instrumento de medição de C.C.	8-54
Multímetros	8-59
Voltímetros	8-60
Ohmímetros	8-62
Análise e pesquisa de defeito em circuito básico	8-65
Corrente alternada e voltagem	8-71
Indutância	8-77
Capacitância	8-79
Lei de Ohm para circuitos de C.A.	8-85
Transformadores	8-91
Amplificadores magnéticos	8-98
Válvulas eletrônicas	8-99
Transistores	8-103
Retificadores	8-108
Filtragem	8-113
Instrumentos de medição C.A.	8-115
Medidores de frequência	8-120

CAPÍTULO 9 - GERADORES E MOTORES ELÉTRICOS DE AVIAÇÃO

Introdução	9-1
Geradores	9-1
Tipos de geradores C.C.	9-7
Regulagem da voltagem do gerador	9-12
Interruptor/ relé diferencial	9-15
Geradores em paralelo	9-16
Manutenção do gerador C.C.	9-18
Operação do regulador de voltagem	9-21
Alternadores	9-25
Alternadores sem escovas	9-29
Alternadores de aviões Boeing 737,727 e 707	9-29
Sincronismo dos alternadores	9-46
Manutenção do alternador	9-49

Inversores.....	9-50
Motores elétricos C.C	9-55
Motores C.A.....	9-65
Manutenção de motores C.A	9-73

CAPÍTULO 10 - PRINCÍPIOS DA INSPEÇÃO

Introdução	10-1
Inspeções obrigatórias	10-1
Técnicas de inspeção	10-1
Fichas de inspeção	10-2
Documentação do avião.....	10-3
Inspeções especiais	10-3
Publicações	10-4
Especificação A.T.A. 100 - Sistemas	10-7
Inspeção por partículas magnéticas	10-11
Equipamento para magnetização	10-16
Desmagnetização	10-18
Inspeção por líquidos penetrantes.....	10-19
Radiografia.....	10-21
Teste ultra-sônico.....	10-24
Teste de Eddy Current	10-27

CAPÍTULO 11 - MANUSEIO DE SOLO, SEGURANÇA E EQUIPAMENTOS DE APOIO

Introdução	11-1
Geral.....	11-1
Partida nos motores.....	11-1
Motores turboélice	11-4
Motores turbojato.....	11-5
Força elétrica	11-7
Força hidráulica	11-8
Unidades de ar condicionado e de aquecimento.....	11-8
Fontes de ar para partida.....	11-8
Equipamento de pré-lubrificação.....	11-9
Abastecimento de aeronaves.....	11-9
Fogo	11-12
Marcas recomendadas para indicar a aplicabilidade do extintor.....	11-15
Extintores para aeronaves	11-16
Abastecimento de óleo nas aeronaves	11-18
Segurança na manutenção.....	11-19
Abastecimento de sistemas de oxigênio de aeronaves	11-20
Ancoragem de aeronaves	11-21
Ancoragem de aeronaves leves.....	11-23
Segurança de aeronaves pesadas	11-23
Ancoragem de aeronaves em condições de tempestades.....	11-24
Movimentação da aeronave	11-26
Levantamento da aeronave nos macacos	11-33
Sugestão sobre tempo frio.....	11-36

CAPÍTULO 12 - FERRAMENTAS MANUAIS E DE MEDIÇÃO

Introdução	12-1
Ferramentas de uso geral	12-1
Ferramentas de cortar metal.....	12-6
Ferramentas de medição	12-15
Ferramentas para abrir roscas	12-22

CAPÍTULO 13 – AERODINÂMICA

Teoria de vôo.....	13-1
Movimento	13-3
Aerofólios.....	13-4
Centro de gravidade.....	13-7
Estabilidade e controle	13-10
Controle.....	13-13
Compensadores.....	13-17
Dispositivos de hipersustentação.....	13-19
Forças que atuam sobre um helicóptero	13-21
Aerodinâmica de alta velocidade	13-29
Diferença entre os fluxos subsônico e supersônico.....	13-30
Aquecimento aerodinâmico.....	13-35

CAPÍTULO 1

MATEMÁTICA

INTRODUÇÃO

O uso da matemática está tão presente em todos os setores da vida cotidiana; que, raramente, se é que acontece, alguém percebe por completo quão desamparados estaríamos na realização do nosso trabalho diário sem o seu conhecimento, até mesmo na sua forma mais simples. Muitas pessoas têm dificuldade com cálculos relativamente simples, envolvendo apenas a matemática elementar. Para executarmos cálculos matemáticos com sucesso, é preciso compreender os processos e a prática contínua no uso dos domínios matemáticos.

De uma pessoa que esteja entrando no ramo da aviação, será exigido que trabalhe com exatidão. A mecânica de aviação está frequentemente envolvida em tarefas que exigem cálculos matemáticos de vários tipos, tolerâncias em componentes de aeronaves e motores. Na maioria das vezes, é crucial fazer medições de milésimos ou décimos de milésimo de polegadas. Por causa das pequenas tolerâncias, que se deve observar, é importante que o mecânico de aviação seja capaz de realizar medidas e cálculos matemáticos precisos.

A matemática pode ser comparada a um "Kit" de ferramentas, e cada operação matemática comparada ao uso de uma das ferramentas na solução de um problema. As operações básicas de adição, subtração, multiplicação e divisão são as ferramentas disponíveis para nos ajudar a resolver um problema em questão.

OS NÚMEROS INTEIROS

A adição dos números inteiros

O processo de encontrar a combinação entre dois ou mais números, é chamado adição. o resultado é chamado soma.

Quando somamos vários números inteiros, como 4567, 832, 93122 e 65; os colocamos embaixo, uns dos outros, com seus dígitos em colunas, de modo que na última, ou a partir da direita, eles fiquem na mesma coluna.

Quando somamos decimais como 45,67; 8,32; 9,3122 e 0,65; os colocamos embaixo um

do outro, de modo que os pontos decimais estejam em ordem na linha, de alto à baixo.

Para conferir a adição; ou somamos os algarismos na mesma ordem novamente; ou os somamos em ordem contrária.

Subtração dos números inteiros

A subtração é o processo para se encontrar a diferença entre dois números, tirando o menor do maior. O número que é subtraído é chamado subtraendo, o outro número é chamado minuendo; a diferença tirada deles é chamada resto. Para encontrar o resto, escreva o subtraendo embaixo do minuendo, como na adição. Começando da direita, diminua cada algarismo do subtraendo do algarismo acima, e escreva o resto abaixo, na mesma coluna. Quando o processo é terminado, o número abaixo do subtraendo é o resto.

Para conferir a subtração, somamos o resto e o subtraendo. A soma dos dois é igual ao minuendo.

Multiplicação de números inteiros

O processo para se encontrar a quantidade obtida pela repetição de um dado número, em um número específico de vezes, é chamado multiplicação. O processo de multiplicação é, de fato, um caso de adição repetida, no qual todos os números que estão sendo adicionados são idênticos. Portanto, a soma de $6+6+6+6=24$ pode ser expressa pela multiplicação $6 \times 4 = 24$. Os números 6 e 4 são conhecidos como os fatores (coeficientes) da multiplicação e o 24, como produto.

Nessa operação, o produto é formado pela multiplicação dos fatores.

Quando um dos fatores é um número inteiro de um algarismo, o produto é formado pela multiplicação desse número por cada algarismo do outro fator, da direita para a esquerda, mudando quando necessário.

Quando ambos os fatores são formados por números inteiros de mais de um algarismo, o produto é formado pela multiplicação de cada algarismo de um fator pelo outro. No exercício, o cuidado está, em quando escrever abaixo os

produtos parciais formados, estar certo de que o algarismo da extremidade direita se alinha abaixo do algarismo da multiplicação. Este é então, um problema de adição simples para encontrar o produto final.

EXEMPLO: Determinar o custo de 18 velas de ignição, custando cada \$3.25.

$$\begin{array}{r} 3,25 \\ \times 18 \\ \hline 2600 \\ \underline{325} \\ 58,50 \end{array}$$

Quando se multiplica uma série de números, o produto final será o mesmo, independentemente da ordem pela qual esses números são organizados.

EXEMPLO: Multiplicar: (7) (3) (5) (2) = 210

$$\begin{array}{r} 7 \\ \times 3 \\ \hline 21 \end{array} \quad \begin{array}{r} 21 \\ \times 5 \\ \hline 105 \end{array} \quad \begin{array}{r} 105 \\ \times 2 \\ \hline 210 \end{array} \quad \text{ou} \quad \begin{array}{r} 7 \\ \times 5 \\ \hline 35 \end{array} \quad \begin{array}{r} 3 \\ \times 2 \\ \hline 6 \end{array} \quad \begin{array}{r} 35 \\ \times 6 \\ \hline 210 \end{array}$$

Divisão dos números inteiros

O processo de descobrir quantas vezes um número está contido em um segundo número, é chamado divisão. O primeiro número é chamado o divisor; o segundo, o dividendo; e, o resultado é o quociente.

Das quatro operações básicas, a divisão é a única que envolve acertos e erros na solução. É necessário fazer tentativas quanto ao algarismo apropriado, ainda que a experiência tende a diminuir o número de tentativas, a forma incorreta pode acontecer uma vez ou outra.

Colocar a vírgula, corretamente no quociente, freqüentemente constitui uma dificuldade.

Quando se divide um número decimal por outro, um passo importante é eliminar a vírgula do divisor. Para conseguir basta mover a vírgula para a direita, em um número de casas necessário para eliminá-la.

A seguir, move-se a vírgula para a direita no dividendo tantas casas quanto forem necessárias mover no divisor, e procede-se como na divisão normal.

FRAÇÕES

Uma fração é uma divisão indicada que expressa uma ou mais de uma das partes iguais, na qual uma unidade é dividida. Por exemplo, a fração $\frac{2}{3}$ indica que o inteiro foi dividido em 3 partes iguais, e que 2 dessas partes estão sendo usadas ou consideradas. O número acima da linha é o numerador e o número abaixo é o denominador.

Se o numerador de uma fração é igual ou maior que o denominador, a fração é conhecida como imprópria. Na fração $\frac{15}{8}$, se a divisão indicada é efetuada, a fração imprópria é trocada para um número misto, que é um número inteiro, e uma fração:

$$\frac{15}{8} = 1\frac{7}{8}$$

Uma fração complexa é aquela que contém uma ou mais frações, ou números mistos, no numerador ou denominador. Os exemplos são:

$$\frac{\frac{1}{2}}{\frac{2}{3}} \quad ; \quad \frac{\frac{5}{8}}{2} \quad ; \quad \frac{\frac{3}{4}}{\frac{5}{8}} \quad ; \quad \frac{3\frac{1}{2}}{\frac{2}{3}}$$

Uma fração decimal é obtida pela divisão do numerador de uma fração pelo denominador, e mostrando o quociente como um decimal. A fração $\frac{5}{8}$ é igual $5:8 = 0,625$.

Uma fração não muda seu valor, se tanto o numerador quanto o denominador, forem multiplicados ou divididos pelo mesmo número.

$$\frac{1}{4} \times \frac{3}{3} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4}$$

As mesmas operações fundamentais realizadas com números inteiros podem também ser realizadas com frações. São: adição, subtração, multiplicação e divisão.

Adição e subtração de frações ordinárias (comuns)

Para se adicionar ou subtrair frações, todos os denominadores devem ser semelhantes. No trabalho com frações, como os números inteiros, aplica-se regra de semelhança. Isto é,

apenas frações iguais podem ser adicionadas ou subtraídas.

Quando adicionamos ou subtraímos frações que têm denominadores iguais, é apenas necessário, adicionar ou subtrair os numeradores; e expressar o resultado como o numerador de uma fração, cujo denominador, é o denominador comum. Quando os denominadores são diferentes, é necessário primeiro reduzir as frações ao denominador comum, antes de continuar com o processo de adição ou subtração.

EXEMPLOS:

1 - Uma certa instalação de interruptor requer um "passeio" da haste, de $\frac{5}{8}$ de polegada, antes que ocorra a atuação da mesma. Se for requerido um "passeio" de $\frac{1}{8}$ de polegada após a atuação, qual será o "passeio" total da haste?

Passo 1: Somar os numeradores.

$$5 + 1 = 6$$

Passo 2: Expressar o resultado como numerador de uma fração cujo denominador é o denominador comum.

$$\frac{5}{8} + \frac{1}{8} = \frac{6}{8}$$

2 - O deslocamento total de um "macaco de rosca" é $\frac{13}{16}$. Se o deslocamento em uma direção, vindo de uma posição neutra, é $\frac{7}{16}$ de polegada, qual é o deslocamento na direção contrária?

Passo 1: Subtrair os numeradores.

$$13 - 7 = 6$$

Passo 2: Expressar o resultado como numerador de uma fração cujo denominador é o denominador comum.

$$\frac{13}{16} - \frac{7}{16} = \frac{6}{16}$$

3 - Encontrar o diâmetro externo de uma seção de tubo que tem $\frac{1}{4}$ de polegada de diâmetro interno, e uma espessura de parede combinada de $\frac{5}{8}$ de polegada.

Passo 1: Reduzir as frações ao denominador comum.

$$\frac{1}{4} = \frac{2}{8}; \frac{5}{8} = \frac{5}{8}$$

Passo 2: Somar os numeradores e expressar o resultado como numerador de uma fração cujo denominador é o denominador comum.

$$\frac{2}{8} + \frac{5}{8} = \frac{7}{8}$$

4 - A tolerância para a ajustagem da inclinação do aileron de um avião é $\frac{7}{8}$, mais ou menos $\frac{1}{5}$ de polegada. Qual é a inclinação mínima para a qual o aileron possa ser ajustado?

Passo 1: Reduzir as frações para o denominador comum.

$$\frac{7}{8} = \frac{35}{40}; \frac{1}{5} = \frac{8}{40}$$

Passo 2: Subtrair os numeradores e expressar o resultado como nos exemplos acima.

$$\frac{35}{40} - \frac{8}{40} = \frac{27}{40}$$

Cálculo do mínimo denominador comum

Quando os denominadores de frações a serem somadas ou subtraídas, são tais, que o mínimo denominador comum possa ser determinado imediatamente, o MDC (mínimo denominador comum) pode ser encontrado pelo método de divisão contínua.

Para encontrar o MDC de um grupo de frações, escreva os denominadores na linha horizontal. A seguir, divida os mesmos denominadores pelo menor número inteiro que dividirá dois ou mais dos denominadores, daí, descer para uma nova linha todos os quocientes e números que não foram divisíveis. Continuar este processo até que não tenha dois números na linha de resultados que sejam divisíveis por qualquer número inteiro que não seja um. Multiplica-se todos os divisores e os termos restantes na última linha para obter o máximo denominador comum.

EXEMPLO:

Qual é o MDC para 7/8, 11/20, 8/36, 21/45?

Passo 1: Escrever os denominadores na linha horizontal e dividi-la pelo menor número inteiro, que dividirá exatamente dois ou mais dos números.

$$2 \begin{array}{c} | \\ \hline 8 \quad 20 \quad 36 \quad 45 \\ \hline 4 \quad 10 \quad 18 \quad 45 \end{array}$$

Passo 2: Continuar este processo até que não haja dois números na linha de resultado que sejam divisíveis por qualquer número inteiro, que não seja um.

$$\begin{array}{c} 2 \begin{array}{c} | \\ \hline 8 \quad 20 \quad 36 \quad 45 \\ \hline 4 \quad 10 \quad 18 \quad 45 \end{array} \\ 2 \begin{array}{c} | \\ \hline 2 \quad 5 \quad 9 \quad 45 \\ \hline 3 \quad 1 \quad 5 \quad 9 \quad 45 \end{array} \\ 3 \begin{array}{c} | \\ \hline 1 \quad 5 \quad 3 \quad 15 \\ \hline 3 \begin{array}{c} | \\ \hline 1 \quad 5 \quad 3 \quad 15 \\ \hline 5 \begin{array}{c} | \\ \hline 1 \quad 5 \quad 1 \quad 5 \\ \hline 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \end{array} \end{array} \end{array}$$

Passo Final: Multiplicar todos os divisores e termos restantes na última coluna para obter o MDC.

$$\text{MDC} = 2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 5 = 360$$

Multiplicação de frações

O produto de duas ou mais frações é obtido pela multiplicação dos numeradores para formar o numerador do produto; e pela multiplicação dos denominadores, para formar o denominador do produto.

A fração resultante é, então, reduzida para o seu menor termo. Um denominador comum não precisa ser encontrado para esta operação, já que o novo denominador, na maioria dos casos, será diferente de todas as frações originais.

EXEMPLO:

Qual é o produto de 3/5 x 12/22 x 1/2?

Passo 1: Multiplicar os numeradores.

$$3 \times 12 \times 1 = 36$$

Passo 2: Multiplicar os denominadores.

$$5 \times 22 \times 2 = 220$$

Passo Final: Reduzir a fração resultante para o seu menor termo.

$$\frac{36}{220} = \frac{9}{55}$$

Cancelamento

Cancelamento é a técnica de separar ou cancelar todos os fatores comuns que existem entre numeradores e denominadores. Isso ajuda na obtenção do produto, eliminando os cálculos mais pesados.

EXEMPLO:

Qual é o produto de 18/10 x 5/3?

O produto poderia ser encontrado pela multiplicação de 18 x 5 e 10 x 3 e, então, dividindo o produto dos numeradores pelo produto dos denominadores. Entretanto, o método mais fácil de solução é pelo cancelamento. É evidente que o 10 no denominador e o 5 no numerador podem ser divididos por 5.

$$\begin{array}{c} \cancel{1} \\ \cancel{18} \quad \cancel{5} \\ \cancel{10} \times \frac{5}{3} \\ \cancel{2} \end{array}$$

Da mesma maneira, o 18 e o 3 são divisíveis por 3.

$$\begin{array}{c} \cancel{6} \quad \cancel{1} \\ \cancel{18} \quad \cancel{5} \\ \cancel{10} \times \frac{5}{3} \\ \cancel{2} \quad 1 \end{array}$$

O 6 resultante no numerador e o 2 no denominador são divisíveis por 2.

$$\begin{array}{c} \cancel{3} \\ \cancel{6} \quad \cancel{1} \\ \cancel{18} \quad \cancel{5} \\ \cancel{10} \times \frac{5}{3} \\ \cancel{2} \quad 1 \end{array} = \frac{3 \times 1}{1 \times 1} = \frac{3}{1} = 3$$

A fração está, portanto, reduzida aos seus menores termos; e os passos finais da divisão e multiplicação são realizados facilmente, quando comparados com tarefas de multiplicar e dividir as frações maiores.

Divisão de frações comuns

A divisão de frações comuns é feita, convenientemente, por conversão do problema em uma multiplicação de duas frações comuns. Para dividir uma fração por outra, inverte-se a fração divisora, e multiplica-se os numeradores e denominadores. Isto é conhecido como o método do divisor invertido.

Lembre-se sempre da ordem em que as frações são escritas. É importante, na divisão, que as operações sejam realizadas na ordem indicada. Lembre-se também, que é sempre o divisor que é invertido, nunca o dividendo.

Números mistos

Os números mistos podem ser adicionados, subtraídos, multiplicados ou divididos; trocando-os pelas frações impróprias e procedendo como nas operações com outras frações.

EXEMPLO:

Um pedaço de tubo medindo $6 \frac{3}{16}$ de polegada é tirado de um pedaço de $24 \frac{1}{2}$ de polegada. Levando em conta $\frac{1}{16}$ de polegada para o corte, qual é a medida do pedaço restante?

Passo 1: Reduzir as partes fracionárias para frações semelhantes e completar o processo de subtração.

$$\frac{1}{2} - \frac{3}{16} - \frac{1}{16} = \frac{8}{16} - \frac{3}{16} - \frac{1}{16} = \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$$

Passo 2: Subtrair as partes inteiras.

$$24 - 6 = 18$$

Passo Final: Combinar os resultados obtidos em cada passo.

$$18 + \frac{1}{4} = 18 \frac{1}{4} \text{ de polegada}$$

Números decimais

Números decimais são frações cujos denominadores são 10 ou múltiplos de 10, tais como 100, 1000, 10.000, etc. Eles são indicados, escrevendo-se um ou mais algarismos para a direita de um sinal de referência chamado vírgula. Portanto:

$$\frac{6}{10} = 0,6 \Rightarrow \text{ambos lidos seis decimais}$$

$$\frac{6}{100} = 0,06 \Rightarrow \text{ambos lidos seis centesimos}$$

$$\frac{6}{1000} = 0,006 \Rightarrow \text{ambos lidos seis milésimos}$$

Quando escrevemos um número decimal, qualquer número de zeros pode ser escrito à direita, sem alterar seu valor. Isto pode ser ilustrado da seguinte maneira:

$$0,5 = \frac{5}{10} = \frac{1}{2}; 0,50 = \frac{50}{100} = \frac{1}{2}; 0,500 = \frac{500}{1000} = \frac{1}{2}$$

Uma fração decimal, que é escrita onde não há números inteiros como 0,6; 0,06; etc., é chamada decimal puro. Quando um número inteiro e uma fração decimal são escritos juntos como 3,6; 12,2; 131,12; etc., o número é conhecido como decimal misto.

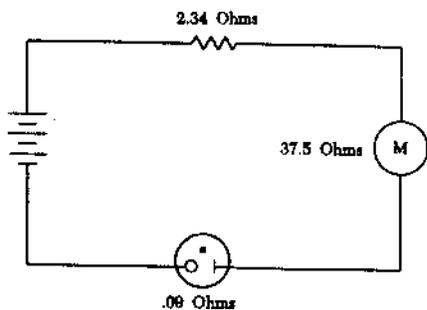


Figura 1-1 Circuito em série.

Adição de decimais

Quando operamos com números decimais, a regra de semelhança requer que se adicione ou subtraia apenas denominadores iguais. Essa regra foi discutida anteriormente sob o título de adição e subtração de números inteiros. Para somar ou subtrair expressões

decimais, organize os decimais, de modo que as vírgulas se alinhem verticalmente, e some ou subtraia, como os inteiros. Coloque a vírgula no resultante diretamente abaixo da vírgula nos adendos, ou minuendo e subtraendo.

EXEMPLOS:

A resistência total do circuito em série (figura 1-1) é igual a soma das resistências individuais. Qual é a resistência total para o circuito mostrado neste exemplo?

Passo 1: Organize os números decimais na coluna vertical de modo que as vírgulas fiquem alinhadas.

$$\begin{array}{r} 2,34 \\ 37,5 \\ 0,09 \end{array}$$

Passo 2: Complete a adição seguindo a técnica usada na soma dos números inteiros. Coloque a vírgula no resultado diretamente abaixo das vírgulas das parcelas.

$$\begin{array}{r} 2,34 \\ 37,5 \\ \underline{0,09} \\ 39,93 \text{ ohms} \end{array}$$

Subtração dos decimais

Um circuito em série contendo dois resistores tem uma resistência total de 37,27 ohms. Um dos resistores têm o valor de 14,88 ohms. Qual é o valor do resistor restante?

Passo 1: Coloque os números decimais na coluna vertical, de modo que as vírgulas fiquem no alinhamento.

$$\begin{array}{r} 37,27 \\ - 14,88 \end{array}$$

Passo 2: Realizar a subtração, usando o procedimento de subtração dos números inteiros. Coloque a vírgula no resultado diretamente abaixo das outras vírgulas.

$$\begin{array}{r} 37,27 \\ - \underline{14,88} \\ 22,39 \end{array}$$

Multiplicação de números decimais

A multiplicação de um número decimal por outro sempre produzirá um resultado menor do que qualquer dos dois números. Quando um decimal é multiplicado por um número inteiro ou por um número misto, a resposta se posicionará entre os dois números.

Quando se multiplica uma fração decimal por um número inteiro ou uma outra fração decimal, a maior dificuldade consiste no posicionamento da vírgula.

Para multiplicar decimais, ignore as vírgulas e multiplique os termos, como se eles fossem números inteiros. Para localizar a vírgula no produto, comece da direita e siga para a esquerda o número de casas decimais, que serão iguais a soma de casas decimais, nas quantidades multiplicadas.

Passo 1: Posicione e multiplique os termos. Desconsidere a vírgula.

$$\begin{array}{r} 9,45 \\ \times 120 \\ \hline 000 \\ 1890 \\ 945 \\ \hline 113400 \end{array}$$

A seguir, determine o local da vírgula, comece à direita do produto e siga para a esquerda o número de casas decimais, iguais à soma das casas decimais das quantidades multiplicadas.

$$\begin{array}{r} 9,45 \\ \times 120 \\ \hline 18900 \\ 945 \\ \hline 1134,00 \end{array}$$

Em alguns problemas o número de algarismos no produto será menor que a soma de casas decimais nas quantidades multiplicadas. Onde isso ocorrer, simplesmente some zeros para a esquerda do produto, até que o número de algarismos se iguale à soma das casas decimais nas quantidades multiplicadas.

EXEMPLO: Multiplicar 0,218 por 0,203

Passo 1: Organize os termos e proceda a multiplicação, desconsiderando a vírgula.

$$\begin{array}{r} 0,218 \\ 0,203 \\ \hline 654 \\ 4360 \\ \hline 44254 \end{array}$$

Passo 2 - Localizar a vírgula, acrescentando um zero à esquerda do produto, até que o número de casas seja igual a soma das casas decimais nas quantidades multiplicadas. A seguir, acrescente um zero à esquerda da vírgula.

$$\begin{array}{r} 0,218 \\ 0,203 \\ \hline 654 \\ 4360 \\ \hline 0,044254 \end{array}$$

Divisão de números decimais

Quando um ou ambos os termos de um problema de divisão envolve expressões decimais, o quociente é encontrado ao se converter o problema para outro, envolvendo um número inteiro.

Dois fatos relacionando a divisão de decimais que devem ser colocados em mente são: (1) Quando o dividendo e o divisor são multiplicados pelo mesmo número, o quociente permanece inalterado; (2) Se o divisor for um número inteiro, a casa decimal no quociente se alinhará verticalmente com o decimal no dividendo, quando o problema for expresso em forma de divisão prolongada.

Para dividir expressões decimais, conte para a direita da vírgula no dividendo o mesmo número de casas que estão situados à direita da vírgula no divisor. Se o número de casas decimais no dividendo for menor que o número de casas decimais no divisor, acrescente zeros ao dividendo; lembrando que deve haver no mínimo tantas casas decimais no dividendo quantas sejam as do divisor. Dividir os termos desprezando as vírgulas.

EXEMPLO: A área da asa de um certo avião é de 245 pés quadrados; sua extensão é 40,33 pés. Qual é a corda média de suas asas?

Passo 1: Disponha os termos da divisão e mova a vírgula para a direita, somando zeros quando necessário.

$$245.00 \overline{)40,33}$$

Passo 2: Divida os termos, desconsiderando os pontos decimais completamente.

$$\begin{array}{r} 245.00 \overline{)4033} \\ 030200 \overline{)6,07} \\ 1969 \end{array}$$

Arredondamento de decimais

Há uma tendência geral a pensar que todos os números são precisos. Realmente, o domínio inteiro de medidas, envolve números que são apenas aproximações de números precisos. Por exemplo, medições de comprimentos, áreas e volumes são as melhores aproximações. O grau de precisão dessas medições depende do refinamento dos instrumentos de medidas.

De vez em quando é necessário arredondar um número para algum valor prático para o uso. Por exemplo, o valor de uma medição é 29,4948 polegadas. É impraticável, se não impossível, medir de forma exata, com uma régua de aço (escala), cuja precisão seja 1/64 de polegada.

Para utilizar essa medida, podemos usar o processo de arredondamento. Uma expressão decimal é arredondada tomando-se determinado número de casas e descartando-se as demais.

O número retido é uma aproximação do número calculado ou do número exato. O grau de precisão desejado determina o número de algarismos a ser tomado. Quando o algarismo, logo à direita do último algarismo tomado, for 5 ou maior, aumente o último algarismo tomado de uma unidade.

Quando o algarismo, imediatamente à direita do último algarismo tomado for menor que 5, deixe-o inalterado.

EXEMPLO: Arredonde 29,4948 para o décimo mais próximo.

Passo 1: Determine o número de algarismos a ser tomado. Neste caso - décimos

sendo a primeira casa para a direita da vírgula.

$$29,4948$$

Passo 2: Mude o valor do último algarismo tomado, se requerido. Neste caso, como é maior que 5 o decimal final é expresso assim:

29,4948 passa a ser 29,5 polegadas.

Conversão de decimais para frações comuns

Para transformar um número decimal em uma fração comum, conte o número de algarismos para a direita da vírgula. Expresse o número como numerador de uma fração, cujo denominador é 1, seguido pelo número de zeros que ficará igual ao número de algarismos à direita da vírgula.

EXEMPLO:

Expresse 0,375 como uma fração comum.

Passo 1: Conte o número de algarismos à direita da vírgula.

$$\begin{array}{c} 0,375 \\ \swarrow \quad \downarrow \quad \searrow \\ 1 \quad 2 \quad 3 \end{array}$$

Passo 2: Expresse o número como numerador de uma fração cujo denominador seja 1, seguido pela quantidade de zeros, que ficará igual ao número de algarismos à direita da vírgula.

$$0,375 = \frac{375}{1000}$$

Muitas vezes uma dimensão é descrita num manual de manutenção, ou numa planta, sob a forma de frações decimais. Para que possa ser utilizada, a dimensão precisa ser convertida com aproximação adequada para a escala disponível no instrumento de medida. No caso do mecânico, a régua de aço (escala) costuma ser o instrumento mais usado.

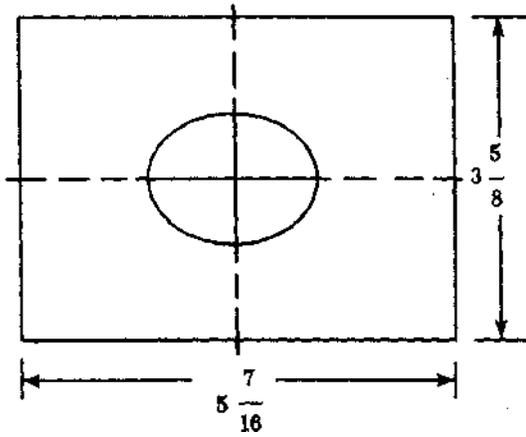


Figura 1-2 Centralizando um furo.

Para transformar um decimal na fração equivalente mais próxima, com um denominador desejado, multiplique o decimal por esse denominador. O resultado será o numerador da fração procurada.

EXEMPLO:

Quando são requeridos juros precisos de diâmetro uniforme, primeiramente eles são perfurados com 1/64 de polegada a menos (SUBMEDIDA) e, posteriormente alargados ou retificados até o diâmetro desejado. Qual o tamanho da broca a ser utilizada antes de alargar um furo até 0,763 de polegada?

Passo 1: Multiplique o decimal pelo denominador desejado - 64:

$$\begin{array}{r} 0,763 \\ \times 64 \\ \hline 3052 \\ 4578 \\ \hline 48,832 \end{array}$$

Passo 2: Arredonde o produto para o inteiro mais próximo e expresse-o como o numerador da fração correspondente:

$$\begin{array}{l} 48,832 \text{ ---> } 49 \\ \text{fração} = \frac{49}{64} \end{array}$$

Passo Final: Para determinar o tamanho da broca, subtraia 1/64 de polegada do diâmetro final do furo:

$$\frac{49}{64} - \frac{1}{64} = \frac{48}{64} = \frac{3}{4}$$

Assim, devemos usar a broca de 3/4 de polegada.

Conversão de frações comuns em números decimais.

Para converter uma fração comum, seja ela própria ou imprópria, para um número decimal, divida o numerador pelo denominador e acrescente zeros à direita, de modo a dar ao quociente a precisão desejada.

EXEMPLO:

Calcule a distância do centro do furo (figura 1-2) às bordas da placa, considerando que o centro do furo coincide com o centro da placa.

Expresse o comprimento e a largura da placa em decimais, dividendo por 2. Expresse o resultado final nos 32 avos mais próximos.

Passo 1: Transforme os números mistos em frações impróprias:

$$5 \frac{7}{16} = \frac{87}{16}; \quad 3 \frac{5}{8} = \frac{29}{8}$$

Passo 2: Converta as frações impróprias em expressões decimais:

$$\frac{87}{16} = 5,4375; \quad \frac{29}{8} = 3,625$$

Passo 3: Divida as expressões decimais por 2 para achar o centro da placa.

$$\frac{5,4375}{2} = 2,7188; \quad \frac{3,625}{2} = 1,813$$

Passo Final: Expresse o resultado final em 32 avos.

$$2,7188 = 2 \frac{23}{32}; \quad 1,813 = 1 \frac{26}{32}$$

Porcentagem

Muitos problemas do dia a dia envolvem porcentagem. A maior parte deles envolve algum tipo de comparação entre uma parte e um todo. Essas comparações se tornam problemas de porcentagem quando tais frações são expressas como um percentual.

Uma fração cujo denominador é 100 é dado o nome de percentual. Ao escrever tais frações, o símbolo do percentual (%) é utilizado para substituir o denominador. Qualquer fração ou número decimal pode ser expresso como um percentual. A fração $\frac{1}{5}$ pode ser expressa como 0,20 ou como 20 por cento, ou simplesmente, 20%. Note que o percentual é a mesma coisa que uma fração decimal, exceto que a vírgula foi movida duas casas para a direita, e depois deletado, após o símbolo "%" ter sido adicionada.

Expressão de um número decimal como um percentual

Para exprimir um número decimal, como um percentual, mova a vírgula duas casas para a direita (adicione zeros, se necessário), e então coloque o símbolo "%".

EXEMPLO: Exprima 0,90 como um percentual.

Passo 1: Mova a vírgula duas casas para a direita

$$0,90 \text{ ---} \rightarrow 90,$$

Passo Final: Elimine a vírgula e coloque o símbolo "%".

$$90, \text{ ---} \rightarrow 90\%$$

Expressão de um percentual como um número decimal

Algumas vezes pode ser necessário exprimir um percentual como um decimal. Tenha em mente que um percentual é simplesmente um número decimal, cuja vírgula foi deslocada duas casas para a direita; assim, para se exprimir um percentual como um número decimal, tudo que se precisa fazer é mover a vírgula duas casas para a esquerda.

Expressão de uma fração comum como um percentual

A técnica envolvida em exprimir uma fração comum em percentual é, essencialmente, a mesma utilizada para uma fração decimal. A única diferença está no procedimento necessário para converter a fração em número decimal.

EXEMPLO: Expresse $\frac{5}{8}$ como um percentual

Passo 1: Converta a fração em número decimal

$$\frac{5}{8} = 5 \div 8 = 0,625$$

Passo Final: Mova a vírgula duas casas e direita e coloque o símbolo "%".

$$0,625 = 62,5\%$$

Calculando qual percentual um número é de outro

Determinar qual percentual um número é de outro se faz escrevendo o número que representa a parte, como sendo o numerador de uma fração, cujo denominador será o número que representa o todo. Então se converte tal fração em percentual.

EXEMPLO: Um motor de potência 12 HP está desenvolvendo potência de 10,75 HP. Qual a eficiência do motor expressa em porcentagem?

Passo 1: Escreva o número que representa a parte 10,75 como o numerador; e o número que representa o todo, 12, como sendo o denominador.

$$\frac{10,75}{12}$$

Passo 2: Converta a fração formada em número decimal.

$$10,75 \div 12 = 0,8958$$

Passo Final: Expresse o decimal em percentual.

$$0,8958 = 89,58\%$$

A eficiência do motor é de 89,58%

Calculando um percentual de um número dado

A técnica utilizada para determinar um percentual de um dado número é baseada no processo de multiplicação. É necessário exprimir o percentual desejado, sob a forma de número decimal ou fração comum, e multiplicá-lo pelo número dado.

EXEMPLO:

A velocidade de cruzeiro de um avião numa altitude de 7500 pés é de 290 nós. Qual a velocidade de cruzeiro a 9000 pés, sabendo-se que ela teve um acréscimo de 6%?

Passo 1: Expresse o percentual desejado em decimal.

$$6\% = 0,06$$

Passo 2: Multiplique o número dado pela expressão decimal

$$290 \times 0,06 = 17,40$$

Passo Final: Some o produto encontrado, que corresponda ao acréscimo de 6% à velocidade original.

$$290 + 17,4 = 307,4 \text{ nós}$$

A velocidade de cruzeiro a 9000 pés será de 307,4 nós.

Determinação de um número do qual se conhece um percentual

Para se determinar um número, quando dele se conhece um percentual, expresse o percentual como um número decimal e divida o número conhecido pela expressão decimal do percentual.

EXEMPLO: Oitenta ohms representam 52% da resistência total de um circuito elétrico. Calcule a resistência total deste circuito.

Passo 1: Expresse o percentual conhecido como um número decimal.

$$52\% = 0,52$$

Passo 2: Divida o número correspondente ao percentual conhecido pelo expresso decimal.

$$80 - 0,52 = 153,8 \text{ ohms}$$

A resistência total é de 153,8 ohms

Razão

Uma importante aplicação das frações comuns é a razão, que representa a comparação entre números. Comparações através de razões têm grande aplicação na aviação.

A razão é utilizada para expressar a comparação entre o volume de um cilindro, quando o pistão está no ponto morto inferior; e o volume do mesmo cilindro, quando o pistão está no ponto morto superior.

Esta razão é denominada razão de compressão.

A razão de resposta de uma asa de avião é a comparação entre a medida da envergadura e a medida da corda. A relação entre velocidade, área de asa, envergadura, peso e potência, de diferentes modelos e tipos de aeronaves, pode ser comparada através da utilização de razões.

A razão é o quociente de um número dividido por outro, expressos em termos iguais.

A razão é, pois, a fração que um número representa de outro e pode ser expressa como uma fração, ou pode ser escrita utilizando os dois pontos (:) como sendo o símbolo para representar a razão. Assim a razão $7/8$ pode ser escrita 7:8.

Determinação da razão entre duas quantidades

Para achar a razão, o primeiro termo é dividido pelo segundo. Ambas as quantidades, de ambos os termos, devem estar necessariamente expressos na mesma unidade; e a fração, entretanto, formada e reduzida aos termos mais simples.

EXEMPLOS:

1 - Qual a razão entre uma carga de combustível de 800 galões e uma de 10080 libras? assuma

que o peso do combustível é de 7,2 libras por galão.

Passo 1: Expresse a carga de combustível de 800 galões como sendo o numerador de uma fração, cujo denominador será a carga de combustível de 10080 lb.

$$R = \frac{800\text{gal}}{10080\text{lb}}$$

Passo 2: Expresse ambas as quantidades na mesma unidade (libras)

$$\text{Em libras: } R = \frac{(800 \times 7,2)\text{lb}}{10,080\text{lb}} = \frac{5760\text{lb}}{10.800\text{lb}}$$

$$\text{Em galões: } R = \frac{800\text{gal}}{\frac{10.080\text{gal}}{7,2}} = \frac{800\text{gal}}{1400\text{gal}}$$

Passo Final: Reduza a fração formada com termos mais simples.

$$\text{Em libras: } R = \frac{5760}{10080} = \frac{4}{7} \text{ ou } 4 \div 7$$

$$\text{Em galões: } R = \frac{800}{1400} = \frac{4}{7} \text{ ou } 4 \div 7$$

2 - Se a velocidade de cruzeiro de um avião é de 200 nós e sua velocidade máxima é de 250 nós, qual a razão entre a velocidade de cruzeiro e a velocidade máxima?

Passo 1: Expresse a velocidade do cruzeiro como numerador de uma fração, cujo denominador é a velocidade máxima.

$$R = \frac{200}{250}$$

Passo Final: Reduza a fração resultante aos termos mais simples.

$$R = \frac{200}{250} = \frac{4}{5}$$

Se quiser expressar a razão à unidade.

$$R = \frac{4}{5} = 0,8 \div 1$$

Determinação da quantidade relativa ao primeiro termo

Considere agora a situação, na qual são conhecidas a razão e a quantidade correspondente ao segundo termo, e, que se deseje achar a quantidade correspondente ao primeiro termo. Para resolver este tipo de problema, multiplique a quantidade que corresponde ao segundo termo pela fração que corresponde à razão.

EXEMPLO: A razão é $\frac{5}{7}$ e o número correspondente ao segundo termo é 35. Ache o número correspondente ao primeiro termo.

Passo 1: Expresse o problema como o produto do segundo termo, pela razão.

$$35 \times \frac{5}{7} =$$

Passo Final: Faça as operações indicadas:

$$5 \times \frac{5}{7} = 25$$

O primeiro termo é 25. Pode-se verificar calculando razão entre 25 e 35.

$$\frac{25}{35} = \frac{5}{7}$$

Determinação da quantidade relativa ao segundo termo.

Para resolver um problema deste tipo, a razão entre as duas quantidades e, a quantidade correspondente ao primeiro termo devem ser conhecidos. A solução é obtida dividindo-se a quantidade conhecida (1º termo) pela fração que representa a razão:

EXEMPLO:

A razão entre dois números é $\frac{2}{3}$, o número que corresponde ao primeiro termo é 100. Ache o número que corresponde ao segundo termo.

Passo 1: Expresse o problema como o quociente do primeiro termo dividido pela razão.

$$100 \div \frac{2}{3} =$$

$$\frac{300}{750} = \frac{24}{X}$$

Passo Final: Faça as operações

$$100 \div \frac{2}{3} =$$

$$50 \times \frac{3}{2} = 150$$

O segundo termo é 150. Novamente pode-se verificar, calculando a razão entre 100 e 150:

$$\frac{100}{150} = \frac{2}{3}$$

Proporção

A proporção e a equivalência entre duas ou mais razões. Assim:

$$\frac{3}{4} = \frac{6}{8}; \text{ ou } 3 \div 4 = 6 \div 8$$

Lê-se: 3 está para 4; assim como 6 está para 8. O primeiro e o último termo da proporção são chamados "extremos". O segundo e o terceiro termos são chamados "meios".

Em qualquer proporção o produto dos extremos é igual ao produto dos meios. Na proporção

$$2 \div 3 = 4 \div 6$$

O produto dos extremos; 2×6 , é 12; o produto dos meios; 3×4 , também é 12.

Na verificação de qualquer proporção, verifica-se que isto é sempre verdade. Esta regra simplifica a solução de muitos problemas práticos.

Um avião consumiu 24 galões de gasolina, para percorrer uma distância de 300 milhas. Quantos galões precisará para voar 750 milhas?

$$300 \times X = 750 \times 24$$

$$300X = 18000$$

$$X = 60$$

Resposta: Sessenta galões serão necessários para percorrer a distância de 750 milhas.

Números positivos e negativos

Números positivos e negativos são números que possuem um valor relativo, conforme sua posição, em relação a uma origem ou zero.

Números acima, ou de um lado; usualmente à direita do zero, são designados positivos (+).

Aqueles abaixo ou do lado oposto; usualmente à esquerda do zero, são designados negativos (-). A figura 1-3 é representativa dos números relativos numa escala horizontal.

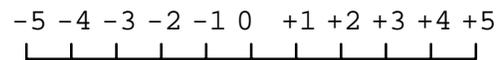


Figura 1-3 - Escala de números relativos.

- A soma de números positivos é positiva
- A soma de números negativos é negativa.

Adição

Para somar um número positivo e um negativo, ache a diferença entre seus valores absolutos, e atribua a essa diferença o sinal ("+" ou "-") do número de maior valor absoluto.

EXEMPLO: O peso de uma aeronave é de 2000 libras. Uma bandeja de equipamento eletrônico pesando 3 libras e um transceptor pesando 10 libras, são removidos dessa aeronave. Qual o novo peso?

Para efeito de peso e balanceamento, todo peso removido da aeronave é considerado negativo, e todo peso incluído, é considerado positivo.

Passo 1: Adicione os valores absolutos dos pesos retirados.

$$10 + 3 = 13$$

Passo 2: Atribua o sinal negativo; pois foram pesos retirados.

$$- 13$$

Passo Final: Ache a soma entre o total de pesos removidos, sinal negativo, e o peso total original da aeronave.

$$2000 - 13 = 1987$$

O novo peso da aeronave é de 1987 libras.

Subtração

Para subtrair números positivos e negativos, troque o sinal do subtraendo (número a ser subtraído do outro), e proceda como na adição.

EXEMPLO:

Qual é a diferença entre a temperatura de +20°, lida a 5000 pés e a de - 6°, lida a 25000 pés? Siga a regra "a diferença de temperatura, é igual a primeira temperatura lida; subtraída daquela, tomada na segunda leitura".

Passo 1: Troque o sinal do número a ser subtraído.

$$+ 20 \text{ passa a ser } - 20$$

Passo Final: Combine os termos e proceda como adição.

$$- 6 + (- 20) = - 26 \text{ graus}$$

Multiplicação

O produto de dois números positivos é positivo (+). O produto de dois números negativos, é positivo (+). O produto entre um número positivo e um negativo, é negativo (-).

EXEMPLOS:

$$\begin{array}{ll} 3 \times 6 = 18 & - 3 \times 6 = -18 \\ - 3 \times (- 6) = 18 & 3 \times (- 6) = -18 \end{array}$$

Divisão

O quociente entre dois números positivos é positivo. O quociente entre dois números negativos é negativo. O quociente entre um número positivo e um negativo, é negativo.

EXEMPLOS:

$$\begin{array}{ll} 6 \div 3 = 2 & - 6 \div 3 = -2 \\ - 6 \div (-3) = 2 & 6 \div (-3) = -2 \end{array}$$

POTÊNCIAS E RAIZES

Potência

Quando um número (a base), é usado como fator, duas ou mais vezes, o resultado é uma potência da base. Um expoente positivo inteiro, escrito como um número pequeno (em tamanho) à direita e pouco acima da base, indica o número de vezes em que base é usada como fator. Assim, "4 ao quadrado" ou "4²", significa 4 x 4, que é igual a 16. O 4 é a base, o 2 é o expoente, e o 16 é o resultado.

Raízes

A raiz de um número é aquele dentre dois ou mais números iguais, que, quando multiplicados, produzem o número original. Tal número é chamado fator igual. Sendo assim, dois fatores iguais que produzem 9, quando multiplicados são: 3 e 3. Por isso, a raiz quadrada de 9 é igual a 3.

Isso pode ser representado assim: $\sqrt{9} = 3$. O símbolo " $\sqrt{\quad}$ " é chamado de radical.

Outro método de iniciar a raiz quadrada de um número, é utilizar um expoente fracional. Tal como $9^{1/2} = 3$.

Caso a raiz a ser obtida não seja quadrada, ela também pode ser representada de maneira semelhante; ou seja, a raiz cúbica de 9 pode ser escrita $9^{1/3}$.

Por exemplo, a raiz cúbica de 8 é igual a 2, e pode ser representada, " $\sqrt[3]{8} = 2$ ", a raiz quarta de 256 é igual a 4, e pode ser representada por " $\sqrt[4]{256} = 4$ ", ou " $256^{1/4}$ ".

Cálculo da raiz quadrada

É relativamente fácil determinar a raiz quadrada de alguns números, como: 4, 9, 16 e 144. Esses números são os quadrados perfeitos de pequenos números.

Infelizmente, nem todos os números são quadrados perfeitos, nem pequenos. O quadrado de um número é, o produto dele por si mesmo.

O cálculo da raiz quadrada é o processo inverso da exponenciação e, é essencialmente, um processo especial de divisão. Uma descrição desse processo é apresentada a seguir.

EXEMPLO:

Encontre a raiz quadrada de 213,16.

Passo 1: Começando pela vírgula, divida o número em partes com apenas dois algarismos, antes e depois da vírgula. A última parte à esquerda da vírgula não precisa ter dois algarismos; todos os outros precisam. Deve-se adicionar um zero à direita, de forma que a última parte possua dois algarismos.

$$\sqrt{213,16}$$

Passo 2: Escolha o maior número que possa ser elevado ao quadrado na primeira parte. Coloque o número sobre o radical; depois coloque o quadrado desse número sob a primeira parte; e por fim subtraia.

$$\begin{array}{r} 1 \\ \hline \sqrt{213.16} \\ 1 \quad \frac{1}{1} \end{array}$$

Passo Final: Desça a próxima parte.

- (1) Multiplique a raiz por 2, e ponha o produto à esquerda do resto, como o divisor de tentativa.
- (2) Encontre o número de vezes que o divisor de tentativa está contido na parte do resto, que é um dígito maior que o divisor de tentativa. Escreva esse número à direita do

divisor de tentativa para formar um divisor final; e também à direita do dígito na raiz.

- (3) Multiplique esse número pelo divisor completo. Se o resultado for maior que o resto, reduza o número de 1, tanto na raiz como no divisor final, e repita a multiplicação.
- (4) Subtraia o produto formado do resto, e desça a próxima parte, para formar um novo resto.
- (5) Para completar, simplesmente repita os procedimentos para cada número restante, não é necessário calcular além do número de dígitos do número original.

$$\begin{array}{r} 14 \quad \epsilon \\ \sqrt{213,16} \\ \underline{-1} \\ 24 \quad 113 \\ \underline{-96} \\ 286 \quad 17 \quad 16 \\ \quad \quad 17 \quad 16 \end{array}$$

Obs.: O 2 está contido 5 vezes dentro do 11. Contendo 5 x 25 é maior que 113; portanto o 5 deve ser reduzido a 4.

A vírgula é colocada na raiz. Dessa forma, o número de dígitos da parte inteira da raiz, é igual à soma do número de partes com dois algarismos, na parte inteira do número, do qual a raiz foi extraída.

Potências de dez

A dificuldade de realização de problemas matemáticos; envolvendo números muito grandes, ou muito pequenos; e a contagem e escrita de muitas casas decimais, são tanto um aborrecimento como uma fonte de erros.

Os problemas de representação e cálculo são simplificados pelo uso das "potências de dez". (ver figura 1-4). Este sistema requer a compreensão dos princípios da exponenciação. Eles são resumidos a seguir:

(1) O expoente positivo de um número (ou potência) é o método de indicar quantas vezes o número é multiplicado por si. Por exemplo, 2^3 (dois ao cubo) significa que o número 2 deve ser multiplicado por si 3 vezes ($2 \times 2 \times 2 = 8$). Um número com expoente negativo pode ser definido como seu inverso ou recíproco (1 dividido pelo número) com o mesmo expoente, agora positivo, por exemplo, 2^{-3} (lê-se 2 elevado a menos 3) é o mesmo que:

$$\frac{1}{(2)^3} = \frac{1}{2 \times 2 \times 2} = \frac{1}{8}$$

(2) Qualquer número, exceto o zero, elevado à zero é igual à 1. Quando um número é escrito sem um expoente, o valor do expoente é 1. Quando um expoente não tem sinal (+ ou -), precedendo-o, o expoente é positivo.

POTÊNCIA DE DEZ	EXPANSÃO	VALOR
-----------------	----------	-------

Expoente Positivo

10^6	$10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$	1.000.000
10^5	$10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$	100.000
10^4	$10 \times 10 \times 10 \times 10$	10.000
10^3	$10 \times 10 \times 10$	1.000
10^2	10×10	100
10^1	10	10
10^0		1

A velocidade da luz é de 30.000.000.000 de centímetros por segundos, simplificando para 3×10^{10} centímetros por segundo.

Expoente Negativo

$10^{-1} = \frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10} = 0,1$
$10^{-2} = \frac{1}{10^2}$	$\frac{1}{10 \times 10}$	$\frac{1}{100} = 0,01$
$10^{-3} = \frac{1}{10^3}$	$\frac{1}{10 \times 10 \times 10}$	$\frac{1}{1.000} = 0,001$
$10^{-4} = \frac{1}{10^4}$	$\frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10}$	$\frac{1}{10.000} = 0,0001$
$10^{-5} = \frac{1}{10^5}$	$\frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10}$	$\frac{1}{100.000} = 0,00001$
$10^{-6} = \frac{1}{10^6}$	$\frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10}$	$\frac{1}{1.000.000} = 0,000001$

A massa de um elétron é de 0,000.000.000.000.000.000.000.000.911 gramas.

Figura 1-4 Potências de dez e seus equivalentes

(3) O valor de um número não muda quando ele é multiplicado e dividido pelo mesmo fator ($5 \times 10:10=5$). Movendo-se a vírgula de um número para a esquerda, é o mesmo que dividi-lo por 10, para cada decimal, que a vírgula se mova. Inversamente, movendo-se a vírgula para a direita, é o mesmo que multiplicarmos o número por 10, para cada casa que a vírgula se mova.

Os procedimentos para o uso de potências de dez pode ser resumido:

- (1) Mova a vírgula para a casa desejada. Conte o número de casas movidas.
- (2) Multiplique o número por 10, a uma potência igual ao número de casas decimais que a vírgula foi movida.
- (3) O expoente de 10 será negativo se a vírgula for movida para a direita; e será positivo se a vírgula for movida para a esquerda. Uma ajuda para lembrar o sinal a ser usado é: E, A, D, S.

Quando a vírgula é movida para a esquerda, basta adicionar; e quando a vírgula é movida para a direita, apenas subtraia.

Na maioria dos casos, pode-se achar conveniente reduzir os números usados, a números entre 1 e 10, com a potência adequada. A menos que, de outro modo especificado, todas as respostas dos problemas que usam potências de dez se enquadrem noutro registro.

Adição e Subtração de Potências de Dez

Antes de usar potências de dez em operações matemáticas, é bom relembra algumas regras de expoentes.

- Dois ou mais números de mesma base, quando multiplicados, mantêm a mesma base elevada à soma algébrica dos expoentes.

$$3^4 \times 3^5 \times 3^3 = 3^{4+5+3} = 3^{12}$$

• Quando dois números de mesma base são divididos, o quociente será igual à mesma base elevada a um expoente, igual à subtração dos expoentes.

$$\frac{4^5}{4^3} = 4^{5-3} = 4^2$$

Um fator pode ser movido do numerador para o denominador; ou, do denominador para o numerador, simplesmente mudando o sinal do seu expoente.

$$\frac{3^2}{4^{-3}} = 3^2 \times 4^3 = \frac{4^3}{3^{-2}} = \frac{1}{4^{-3} \times 3^{-2}}$$

Para que dois ou mais números possam ser multiplicados através da adição ou subtração de seus expoentes, as bases devem ser iguais. Sendo assim, $a^5 \times b^6$ não podem ser combinados; uma vez que as bases são diferentes.

Note que as regras especificam soma e subtração algébrica dos expoentes. Veja alguns exemplos:

$$a \Rightarrow 3^7 \times 3^{-11} = 3^{7+(-11)} = 3^{7-11} = 3^{-4} = \frac{1}{3^4}$$

$$b \Rightarrow 4^{-5} \times 4^3 = 4^{-5+3} = 4^{-2} = \frac{1}{4^2}$$

$$c \Rightarrow \frac{5^8}{5^{-6}} = 5^{8-(-6)} = 5^{8+6} = 5^{14}$$

$$d \Rightarrow \frac{6^8}{6^{12}} = 6^{8-12} = 6^{-4} = \frac{1}{6^4}$$

A multiplicação e a divisão, utilizando potências de dez, podem ser realizadas em 3 passos simples, como:

- (1) Reduza todos os números a valores entre 1 e 10, multiplicados por 10, elevados à potência adequada;
- (2) Realize as operações indicadas;
- (3) Mude o resultado para um número entre 1 e 10, multiplicado por 10 à potência adequada.

CÔMPUTO DE ÁREA

As fórmulas lidam com dimensões, áreas e volumes de figuras geométricas. Há 5 figuras geométricas com as quais você deve estar familiarizado. Há uma fórmula para o cálculo de cada uma delas.

A área de uma figura plana é igual ao número de unidades quadradas que ela contém. As áreas são medidas em unidades diferentes, das utilizadas para comprimento. Uma área quadrada com 1 polegada de lado, é chamada de uma polegada quadrada. Todas as unidades de área são quadradas, (polegada quadrada, o pé quadrado, o jarda quadrado, vara quadrada, e etc.). Outras unidades de área são, centímetro quadrado, metro quadrado, metro quadrado, e etc. Encontrados no sistema métrico.

TABELA DE ÁREAS

144 polegadas quadradas =	1 pé quadrado
9 pés quadrados =	1 jarda quadrada
30 1/4 jardas quadradas =	1 vara quadrada
160 varas quadradas =	1 acre
640 acres =	1 milha quadrada
1 metro =	39,37 polegadas
1 metro =	3,281 pés
1 metro =	1000 milímetros
1 milha terrestre =	1.609 metros

A técnica de determinação da área de qualquer forma geométrica é baseada no uso de fórmulas. Para resolver um problema com uma fórmula é necessário:

- (1) selecionar a fórmula correta,
- (2) inserir os valores conhecidos na fórmula selecionada; e
- (3) fazer os cálculos matemáticos para encontrar o resultado.

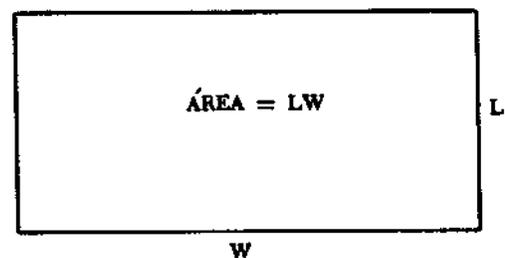


Figura 1-5 O retângulo.

O Quadrado

O Retângulo

O retângulo é uma figura plana de quatro lados opostos congruos 2 a 2, e em ângulos de 90°. O retângulo é uma figura muito conhecida na mecânica, representa a seção transversal de muitas vigas, hastes e encaixes. (ver fig 1-5).

A área do retângulo é o produto das medidas de comprimento e altura, quando expressas na mesma unidade de medida. A área pode ser exprimida pela fórmula:

$$A = C \times L$$

Onde: A = área

C = comprimento

L = altura

EXEMPLO:

O painel de uma certa aeronave está na forma retangular, que possui um comprimento de 24 polegadas e uma altura de 12 polegadas. Qual é a área do painel expressa em polegadas quadradas?

Passo 1: Pegue os valores conhecidos e substitua na fórmula.

$$A = C \times h$$

$$A = 24 \times 12$$

Passo 2: Faça a multiplicação indicada, a resposta será a área total em polegadas quadradas.

$$A = 24 \times 12 = 288 \text{ pol quadradas}$$

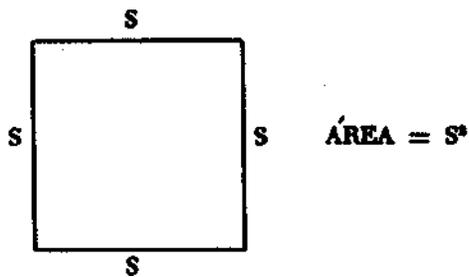


Figura 1-6 O quadrado.

$$A = L^2$$

onde A é a área, e L é o comprimento do lado.

EXEMPLO: Qual a área de um quadrado cujos lados medem 25 polegadas? Determine o valor conhecido e substitua na fórmula.

$$A = L^2$$

$$A = 25^2$$

$$A = 25 \times 25 = 625 \text{ pol}^2$$

Triângulos

O triângulo é um polígono de três lados. Há três tipos básicos de triângulos: o escaleno, o equilátero e o isósceles.

Um triângulo escaleno é aquele que tem lados e ângulos diferentes; o triângulo equilátero tem todos os lados e ângulos iguais.

O triângulo que possui apenas os dois lados e ângulos iguais é chamado isósceles.

Os triângulos também podem ser classificados em reto, obtuso ou agudo. Esses nomes descrevem os ângulos inscritos nos triângulos.

Um triângulo retângulo, é aquele que possui um ângulo medindo 90° ; num triângulo obtusângulo, um dos ângulos é maior que 90° , no triângulo acutângulo, todos os ângulos são menores que 90° .

Os vários tipos de triângulos são mostrados na figura 1-7.

A altura do triângulo é a linha perpendicular, a partir do vértice até a base. Em alguns triângulos, como na fig 1-8, pode ser necessário projetar a base para fora do triângulo, para que a altura possa tocá-la.

A base do triângulo é o lado sobre o qual supõe-se que o triângulo descansa. Qualquer lado pode ser tomado como base.

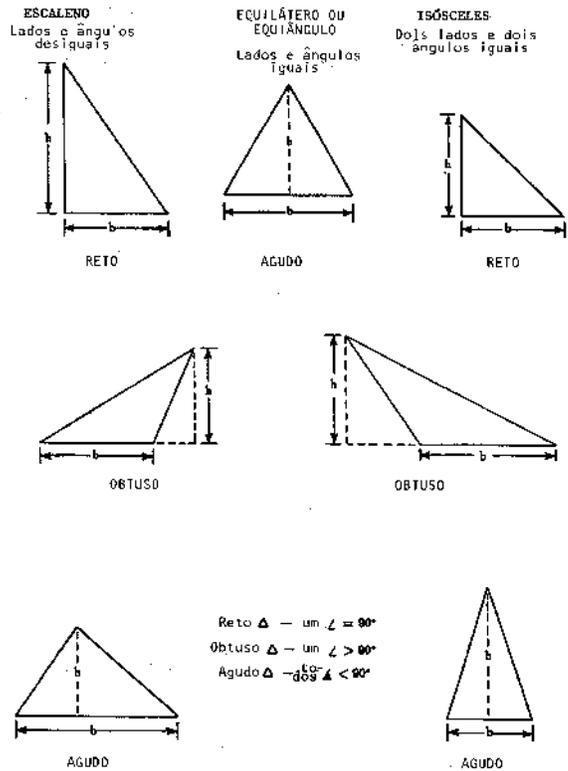


Figura 1-7 Tipos de triângulos.

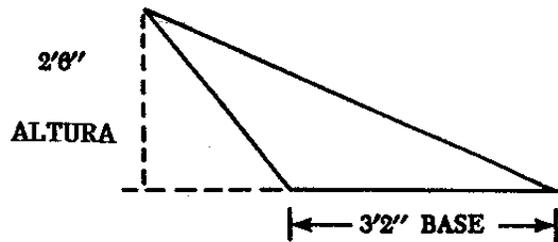


Figura 1-8 Triângulo.

A área do triângulo é calculada aplicando-se a fórmula:

$$A = \frac{1}{2} hb$$

onde A é a área; $\frac{1}{2}$ é uma constante dada; H é a altura; e, B é a base.

EXEMPLO:

Encontre a área do triângulo mostrado na figura 1-8.

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula da área.

$$A = \frac{1hb}{2} = 1 \times 2' 6'' \times 3' 2''$$

Passo 2: Resolva a fórmula para o valor desconhecido.

$$A = \frac{1}{2} \times 30 \times 38 = \frac{1140}{2} = 570 \text{ polegadas quadradas}$$

Circunferência e Área de um Círculo

Para encontrar a circunferência, ou a área de um círculo, é necessário usar um número, chamado pi (π). Esse número representa a relação entre o raio e o diâmetro de qualquer circunferência. O Pi não é um número exato, e é representado com quatro casas decimais 3,1416, que é preciso o bastante, para a maioria dos cálculos. (ver fig. 1-9)

Circunferência

O comprimento de um círculo pode ser encontrado aplicando-se a fórmula:

$C = \pi D$ onde, C é o comprimento; π é a constante (3,1416); e D é o diâmetro do círculo.

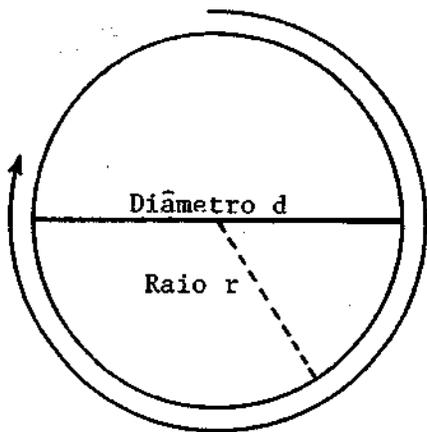


Figura 1-9 Um círculo.

EXEMPLO:

O diâmetro de um certo pistão mede 5 polegadas. Qual o comprimento da circunferência formada pela seção transversal do pistão?

Passo 1 - Substitua os valores conhecidos na fórmula, $C = \pi D$.

$$C = 3,1416 \times 5$$

Passo 2 = Resolva a fórmula.

$$C = 15,7080 \text{ polegadas}$$

Área

A área de um círculo, tal como em um retângulo ou triângulo, deve ser expressa em unidades quadradas.

A distância que corresponde à metade do diâmetro de um círculo é chamado "raio".

A área de um círculo é encontrada elevando-se o raio ao quadrado e multiplicando por π . A fórmula é assim expressa:

$$A = \pi r^2$$

onde, A é a área; π é a constante dada; e r é o raio do círculo.

EXEMPLO:

O diâmetro interno de um cilindro de motor de uma aeronave mede 5 polegadas. Ache a área transversal interna do cilindro.

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula, $A = \pi r^2$.

$$A = 3,1416 \times 2,5^2$$

Passo 2 - Resolva a equação

$$A = 3,9416 \times 6,25$$

$$A = 19,635 \text{ pol. quadradas}$$

O Trapézio

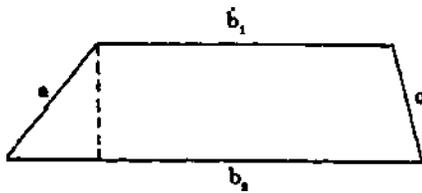


Figura 1-10 - O trapézio.

Um trapézio (fig. 1-10) é um quadrilátero que possui um par de lados paralelos. A área do trapézio é determinada pela fórmula:

$$A = \frac{1}{2}(b_1 + b_2)h$$

onde, A é a área, $\frac{1}{2}$, é uma constante; B_1 e B_2 , são as duas bases paralelas; e H é a altura.

EXEMPLO:

Qual é a área de um trapézio cujas bases medem 14 pol e 10 pol, e cuja altura mede 6 pol? (ver fig. 1-11).

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$A = \frac{1}{2}(b_1 + b_2)h$$

$$A = \frac{1}{2}(10 + 14) 6$$

Passo 2: Resolva os cálculos.

$$A = \frac{1}{2}(24)6$$

$$A = 1 \times 144 = 72 \text{ pol quadradas}$$

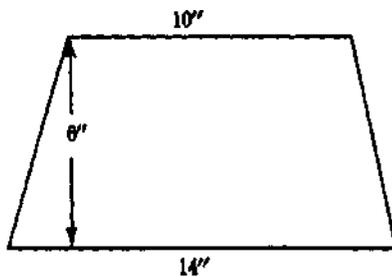


Figura 1-11 Cômputo da área de um trapézio.

Área Alar

Para descrever a planta de uma asa (fig. 1-12), muitos dados são requeridos. Para calcular a área de uma asa será necessário considerar o significado dos termos - envergadura e corda. A envergadura é o comprimento da asa, medido de ponta a ponta. A corda é a largura da asa, medida do bordo de ataque ao bordo de fuga. Se a asa for afilada, a corda média deve ser conhecida para o cálculo de área. A fórmula para o cálculo da área alar é:

$$A = EC$$

onde A é a área, E é a envergadura e C é a corda média.

* O processo usado, no cálculo da área alar, dependerá do formato da asa. Em alguns casos, será necessário usar a fórmula da área alar, em conjunto com uma das fórmulas da área de um quadrilátero ou círculo.

EXEMPLOS:

1 - Descubra a área da asa ilustrada na figura 1-13. Para determinar a área, é necessário decidir que fórmula usar. Vê-se que as pontas da asa formariam um círculo de 7 pés de diâmetro; o resto da asa tem a forma de um retângulo. Combinando as fórmulas, a área da asa com pontas arredondadas pode ser calculada assim:

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$A = EC + \pi r^2$$

$$A = (25 - 7) (7) + (3,1416) (3,5)^2$$

O valor de E é representado pela envergadura original da asa, menos o diâmetro das pontas circulares.

Passo 2: Resolva a fórmula.

$$A = (18 \times 7) + (3,1416 \times 12,25)$$

$$A = 126 + 38,5$$

$$A = 164,5 \text{ pés}^2 \text{ (sq.ft)}$$

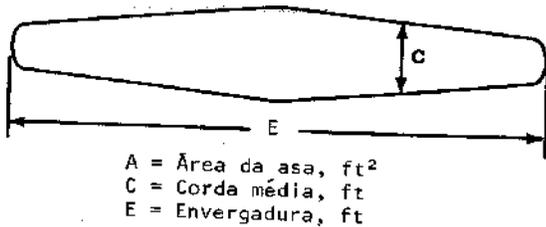


Figura 1-12 Planta da asa.

$$A = \frac{1}{2}(64)^2$$

$$A = \frac{1}{2}(320)$$

$$A = 1600 \text{ pes}^2 \text{ (sq. fr)}$$

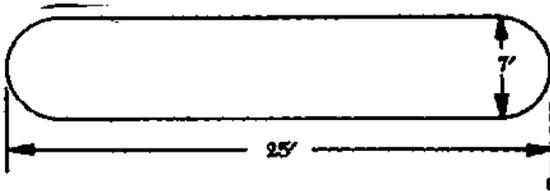


Figura 1-13 Asa com pontas arredondadas.

2 - Encontre a área da asa da fig. 1-14, cuja envergadura é de 50 pés e cuja corda média é de 6' 8".

Passo 1: Substitua os valores na fórmula.

$$A = EC$$

$$A = 50' \times 6' 8''$$

Passo 2: Resolva os cálculos.

$$A = 50' \times 6,67'$$

$$A = 333,5 \text{ pés}^2 \text{ (sq.fr)}$$

3 - Encontre a área de uma asa trapezoidal (mostrada na figura 1-15), cuja envergadura do bordo de ataque mede 30 pés, e a envergadura do bordo de fuga mede 34 pés; e cuja corda média mede 5 pés.

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$A = \frac{1}{2}(b_1 + b_2)h$$

$$A = \frac{1}{2}(30 + 34)5$$

Passo 2: Resolva as contas.

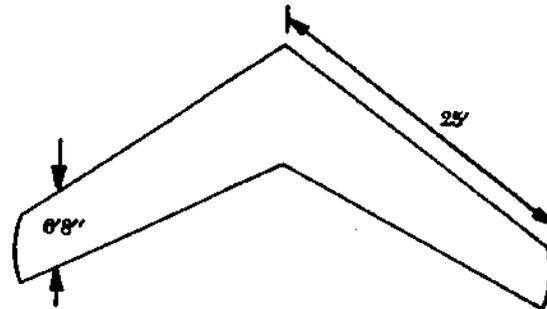


Figura 1-14. Asa enflechada.

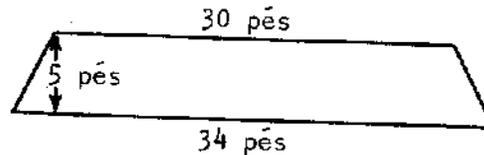


Figura 1-15. Asa trapezoidal.

CÔMPUTO DO VOLUME DOS SÓLIDOS

Sólidos são objetos tridimensionais - com comprimento, largura e espessura. Possuem várias formas, sendo os mais comuns os prismas, cilindros, pirâmides, cones e esferas. Ocasionalmente, é necessário determinar o volume de um triângulo, de um cubo, de um cilindro, ou de uma esfera.

Uma vez que nem todos os volumes são medidos nas mesmas unidades, é necessário conhecer todas as unidades de volume mais comuns, e como elas se relacionam.

Por exemplo, o mecânico pode saber o volume de um tanque em pés cúbicos ou polegadas cúbicas; porém quando o tanque está cheio de gasolina, ele vai querer saber quantos galões esse tanque contém.

A tabela a seguir mostra a relação entre algumas das unidades de volume mais comuns.

UNIDADES DE VOLUME	
1,728 pol ³ =	1 pé ³
27 pés ³ =	1 jarda ³
231 pol ³ =	1 gal
7,5 gals =	1 pé ³
2 pintas =	1 quarto
4 quartos =	1 galão

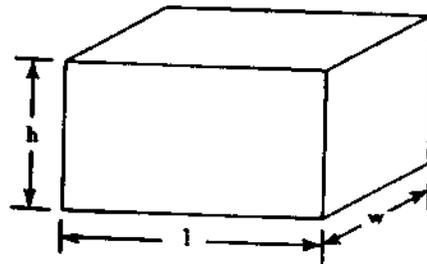


Figura 1-16 Sólido retangular.

Volume de um Sólido Retangular

Um sólido retangular é formado por ângulos retos. Em outras palavras, é como se fosse uma caixa (ver fig. 1-16). Se o sólido possui arestas e lados iguais ele é chamado de cubo.

A fórmula de determinação do volume de um sólido retangular pode ser expressa assim:

$$V = C \times l \times h$$

onde; V é igual o volume; C é igual ao comprimento; L é igual à largura; e H é igual à altura.

EXEMPLO: Um bagageiro retangular mede 5 pés e 6 polegadas de comprimento, 3 pés e 4 polegadas de largura e 2 pés e 3 polegadas de altura. Quantos pés cúbicos de bagagem ele comportará?

Passo 1: Substitua os valores na fórmula.

$$V = C \times l \times h$$

$$V = 5' 6" \times 3' 4" \times 2' 3"$$

Passo 2: Resolva as contas.

$$V = 5\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{3} \times 2\frac{1}{4}$$

$$V = \frac{11}{2} \times \frac{10}{3} \times \frac{9}{4}$$

$$V = \frac{165}{4} = 41,25 \text{ pés}^3$$

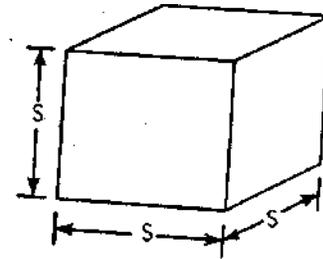


Figura 1-17 Cubo.

Se o sólido for um cubo (fig. 1-17), a fórmula passa a ser o cubo dos lados:

$$V = l^3$$

onde V é o volume, e L é a medida dos lados do cubo.

Área e Volume de um Cilindro

Um sólido com o formato de uma lata, o comprimento de um tubo ou, com forma semelhante, é chamado de cilindro. As extremidades de um cilindro são círculos idênticos, como mostra a Fig. 1-18.

Área da Superfície

A área da superfície de um cilindro, é encontrada multiplicando-se a circunferência da base pela altura. A fórmula é expressa assim:

$$A = \pi D h$$

onde A é a área; π é a constante dada, D é o diâmetro, H é a altura do cilindro.

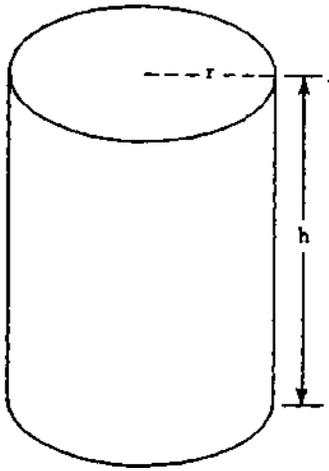


Figura 1-18 O Cilindro.

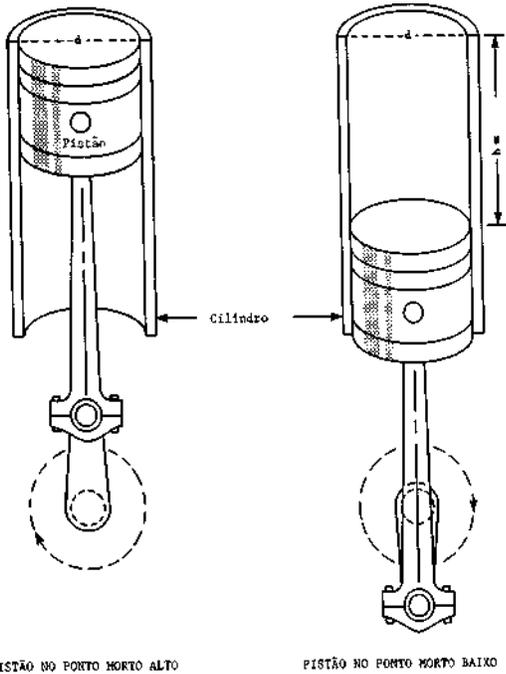


Figura 1-19 Deslocamento do Pistão no Cilindro.

EXEMPLO:

Quantos pés² de folha de alumínio serão necessários para fabricar um cilindro de 12 pés de comprimento e, 3 pés e 6 polegadas de diâmetro?

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$A = \pi D h$$

$$A = 3,1416 \times 3' 6'' \times 12'$$

Passo 2: Resolva as contas.

$$A = 3,1416 \times 3,5' \times 12'$$

$$A = 132,95 \text{ ou } 133 \text{ pés}^2$$

Volume

O volume de um cilindro pode ser encontrado, multiplicando-se a área de seção transversal pela altura do cilindro. A fórmula pode ser expressa como:

$$V = \pi r^2 h$$

onde V é o volume; π é a constante dada; r^2 é o quadrado do raio do cilindro; h é a altura do cilindro (figura 1-19).

EXEMPLO:

O cilindro do motor de uma aeronave possui um raio interno de 5,5 polegadas, e o pistão percorre um curso de 5,5 polegadas. Qual o deslocamento do pistão desse cilindro?

Passo 1: Substitua os valores conhecidos na fórmula.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = (3,1416) (2,75)^2 (5,5)$$

Passo 2: Resolva a equação.

$$V = 17,28 \times 7,56$$

$$V = 130,64 \text{ pol}^3$$

GRÁFICOS E TABELAS

Gráficos e tabelas são representações pictoriais de dados, equações e fórmulas. Através do seu uso, as relações entre duas ou mais quantidades podem ser mais claramente entendidas. Além disso, a pessoa pode ver certas condições ou relações em uma olhada; enquanto que, se dependesse de uma descrição escrita, levaria bastante tempo para obter as mesmas informações. Os gráficos têm muitas aplicações, tais como representar uma equação ou fórmula.

Podem ser usados para resolver duas equações para um valor comum.

Os gráficos e tabelas são construídos em diversos formatos. Alguns dos tipos mais comuns são: os gráficos de barras, gráficos em linha quebrada, gráficos com curvas contínuas e gráficos com círculos. Um exemplo de cada é mostrado na figura 1-20. Um dos gráficos mais úteis em trabalhos técnicos é o que tem curvas contínuas.

Interpretação ou Leitura de Gráficos e Tabelas

É mais importante, do ponto de vista do mecânico, ser capaz de ler um gráfico adequadamente ao invés de desenhar. A relação entre a potência de um certo motor, ao nível do mar e em qualquer altitude até 10.000 pés, pode ser determinada através da tabela da figura 1-21.

Para usar este tipo de tabela, simplesmente encontre o ponto no eixo horizontal que representa a altitude desejada; mova-se para cima, ao longo dessa linha, até o ponto de interseção com a curva; depois, mova-se para a esquerda, lendo a percentagem disponível no eixo vertical.

EXEMPLO:

Qual a percentagem da potência ao nível do mar que está disponível à altitude de 5.000 pés?

Passo 1: Localize o ponto no eixo horizontal que representa 5.000 pés. Mova para cima até a interseção com a curva.

Passo 2: Coloque para a esquerda, lendo a percentagem de potência disponível a 5.000 pés. A potência disponível é 80%.

Nomogramas

Geralmente é necessário fazer cálculos, usando a mesma fórmula; porém usando valores diferentes para as variáveis. É possível obter uma solução usando uma régua de cálculo ou preparando uma tabela. Contudo, no caso de

fórmulas envolvendo muitas operações matemáticas, haverá muito trabalho.

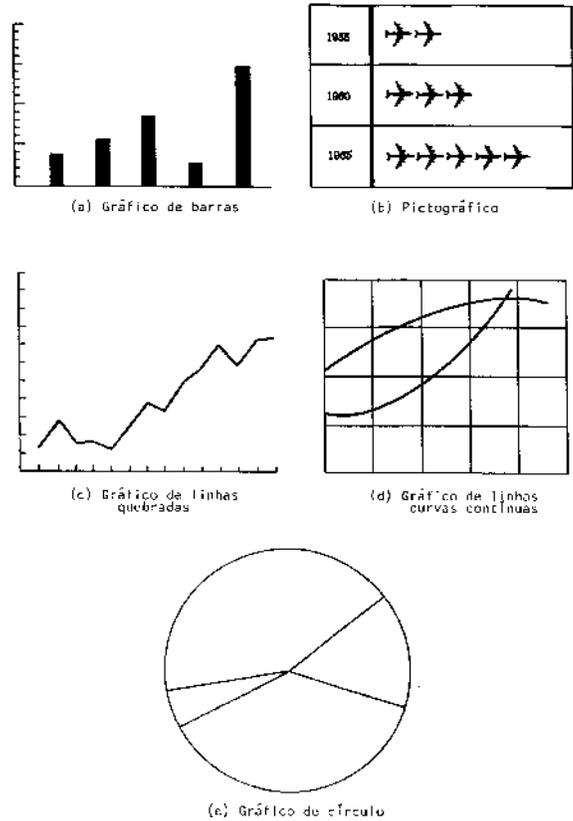


Figura 1-20 Tipos de gráficos.

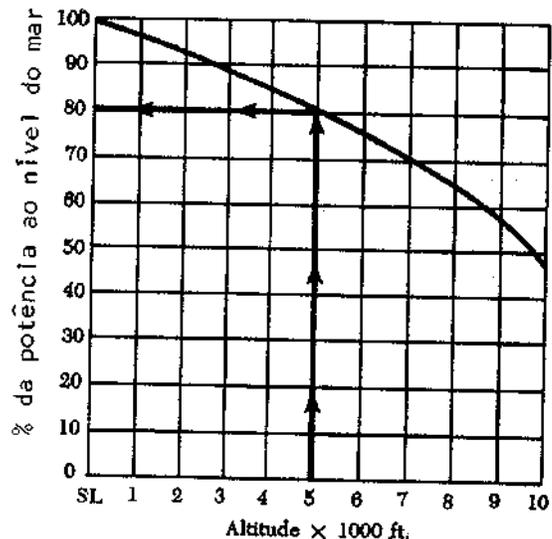


Figura 1-21 Carta de potência por altitude.

É possível evitar todo esse trabalho, usando um diagrama representativo da fórmula, na qual cada variável é representada por uma ou

mais linha graduadas. A partir desse diagrama, a solução da fórmula para qualquer variável pode ser lida através de uma linha de índice. Um diagrama desse tipo é conhecido como nomograma.

A maior parte das informações requeridas para resolver problemas aeronáuticos serão apresentadas em forma de nomograma. Os manuais de instrução, das diversas aeronaves, contêm numerosos nomogramas, muitos dos quais complexos. Muitos possuirão diversas curvas no mesmo eixo de coordenadas, e cada curva aplicável a uma diferente constante da equação. No último caso, é essencial selecionar a curva adequada a cada condição.

Ainda aqui, como nos gráficos mais simples, é mais importante para o mecânico ser capaz de ler nomogramas que desenhá-los.

O exemplo a seguir é tomado de um manual de manutenção da Allison para o motor turboélice 501-D13.

Um nomograma (figura 1-22) é usado para determinar a potência requerida, quando o motor estiver operando com torque mínimo.

A OAT (temperatura do ar externo), a pressão barométrica e a rpm do motor, são três fatores que devem ser conhecidos para utilizar este nomograma em particular.

EXEMPLO:

Determine a potência calculada de um certo motor, usando o nomograma da figura 1-22. Suponhamos que a OAT seja 10° C, e que a pressão barométrica seja de 28,5 pol.hg, e que o motor esteja operando a 10.000 r.p.m.

Passo 1: Encontre os pontos de referência sobre a escala de OAT e sobre a escala de pressão barométrica, que corresponde à temperatura dada, e às leituras de pressão. Eles são identificados como **1** e **2**, respectivamente, na carta. Com o auxílio de uma régua, conecte esses dois pontos e estabeleça o ponto **3** na linha pivô.

Passo 2: Encontre a r.p.m. do motor, identificada como **4**, na escala de r.p.m. do motor. Usando uma régua, conecte os pontos **3** e **4** e estabeleça o ponto **5** na escala de potência calculada (HP). A potência calculada é lida no ponto **5**. Neste caso o valor encontrado é 98%.

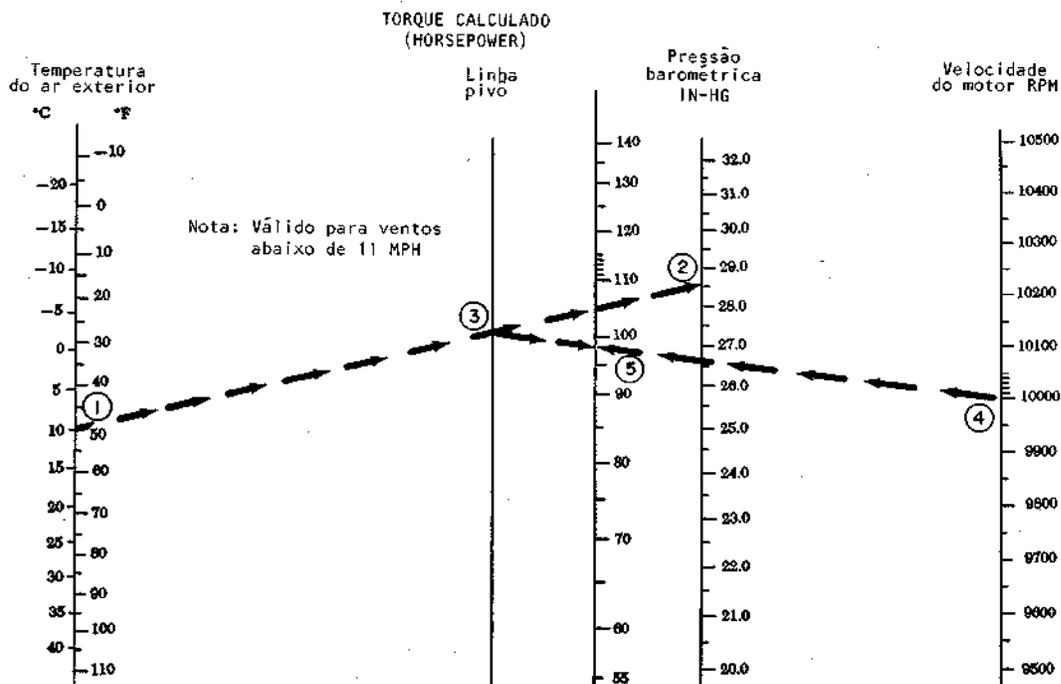


Figura 1-22 Potência requerida para torque mínimo.

SISTEMAS DE MEDIÇÃO

O nosso sistema de medidas (figura 1-23) é parte da nossa herança cultural, desde os tempos em que o Brasil era colônia de Portugal, e adquiria a maior parte dos produtos manufaturados da Inglaterra.

Esse sistema começou como uma mistura de pesos e medidas Anglo-saxônicas, Romanas e Normando-francesas. Desde os tempos medievais, comissões feitas por diversos monarcas ingleses reduziram o caos de medidas, adotando padrões específicos para algumas das unidades mais importantes.

Registros antigos, por exemplo, dão conta de que uma polegada era definida como comprimento de "três grãos de cevada, redondos e secos" quando agrupados; um "penny-peso" ou "um vinte avos" de uma onça de torre, era igual a 32 grãos de trigo do "meio da espiga".

O galão americano equivale ao galão de vinho britânico, padronizado no início do século 18 (é aproximadamente 20% menor que o galão britânico adotado em 1824 e que era usado para medir a maioria dos líquidos).

5

COMPRIMENTO	MASSA	VOLUME	TEMPERATURA	CORRENTE ELÉTRICA	TEMP O
MÉTRICO					
Metro	Quilograma	Litro	Centígrado (Celsius)	Ampère	Segundo
INGLÊS					
inch (polegada)	ounce (onça)	fluid ounce (onça de líquido)	Fahrenheit	ampere	Segundo
foot (pé)	pound (libra)	teaspoon (colher de chá)			o
year (ano)	ton (tonelada)	cup (xícara)			
fathom (toesa=6pés)	grain (grão)	pint (pinta)			
rod (vara=5m)	dram (dracma)	quart (1/4 de galão)			
mile (milha)		gallon (galão)			
		barrell (barril)			
		peck (1/4 alq.)			
		bushel (alqueire)			

Figura 1-23 Algumas unidades comuns.

Sistema Métrico

O sistema métrico é a linguagem dominante entre as medidas adotadas hoje em dia. A maioria dos países já usava o sistema métrico, antes da Segunda Guerra Mundial.

Desde a guerra, mais e mais países, foram convertidos ou estão em processo de conversão para o sistema métrico. Somente os Estados Unidos e mais 13 países ainda não fizeram a conversão.

O Congresso tem o poder de definir os padrões de pesos e medidas. Repetidas vezes o sistema métrico tem sido proposto; porém sem quorum suficiente.

O sistema métrico foi desenvolvido por um estadista francês, Talleyrand, Bispo de Antum, usando o "metro" como padrão; sendo que o metro é uma parte da circunferência da Terra no Equador. A partir daí, o metro foi desenvolvido e aceito como padrão. Os múltiplos e submúltiplos do metro são baseados no sistema decimal.

A Lógica do Metro

Nenhum outro sistema de medida atualmente usado consegue superar a simplicidade do Sistema Métrico. Ele foi deliberadamente projetado para suprir todas as necessidades de cientistas e engenheiros. O leigo só precisa conhecer e usar algumas partes simples.

O metro possui um ordenamento lógico, enquanto outros sistemas se desenvolveram desordenadamente. Existem hoje apenas seis medidas básicas no Sistema Métrico Internacional.

A unidade de comprimento é o metro; a unidade de massa é o quilograma; unidade de tempo é o segundo; a unidade de corrente elétrica é o ampère; a unidade de temperatura é o kelvin (que em uso normal é convertido em graus centígrados); a unidade de intensidade luminosa é a candela.

Todas as outras unidades de medida do Sistema Métrico Internacional são derivadas dessa seis unidades básicas.

A área é medida em metros quadrados; a velocidade em metros por segundo; a densidade em quilogramas por metro cúbico.

O newton, a unidade de força, é uma relação simples envolvendo metros, quilogramas e segundos; e, pascal, unidade de pressão, é definido como um newton por metro quadrado.

Em alguns casos, a relação entre as unidades base e as derivadas, tem que ser expressa por fórmulas mais complicadas (o que é inevitável em qualquer sistema de medidas), devido à complexibilidade inata de certas coisas que medimos.

Relações semelhantes entre massa, área, tempo e outras quantidades no sistema antigo, geralmente requerem fórmulas semelhantes, ainda mais complicadas por conterem constantes arbitrárias. Por exemplo, um cavalo de força é definido como 550 libras-pé por segundo.

A terceira vantagem, é que o sistema métrico é baseado no sistema decimal. Os múltiplos e submúltiplos estão sempre relacionados à potência de 10.

Por exemplo, um centímetro contém 10 milímetros, 100 centímetros equivalem a 1 metro; e, 1.000 metros equivalem a 1 quilômetro.

Isso simplifica muito a conversão de grandes medidas em pequenas medidas.

Para se calcular o número de metros que existem em 3,794 quilômetros multiplica-se por 1000 (mova a vírgula três casas decimais para a direita), e a resposta será 3.794,00 metros.

Por analogia, para se encontrar o número de polegadas em 3,794 milhas, é necessário multiplicar primeiro por 5.280 e depois por 12.

Além disso, os múltiplos e submúltiplos de todas as unidades do Sistema Internacional seguem uma nomenclatura padrão que consiste em adicionar um prefixo à unidade, qualquer que seja ela.

Por exemplo, quilo equivale a 1.000; um quilômetro é igual a 1000 metros; e um quilograma é igual 1.000 gramas. "Micro" é o prefixo equivalente a milionésimo; um metro equivalente a um milhão de micrometros, e um grama equivale a um milhão de microgramas (figura 1-24).

PREFIXO	SIGNIFICADO
tera (10^{12})	Um trilhão de vezes
giga (10^9)	Um bilhão de vezes
mega (10^6)	Um milhão de vezes
kilo (10^3)	Mil vezes
hecto (10^2)	Cem vezes
deca (10)	Dez vezes
deci (10^{-1})	Um décimo
centi (10^{-2})	Um centésimo
mili (10^{-3})	Um milésimo
micro (10^{-6})	Um milionésimo
nano (10^{-9})	Um bilionésimo
pico (10^{-12})	Um trilionésimo

Figura 1-24 Nomes e símbolos para prefixos métricos.

Conversão do Sistema Métrico ao Sistema Inglês

As pessoas tendem a opor-se às mudanças, geralmente por não entenderem o motivo da mudança, ou a nova ordem. A terminologia para unidades costumeiras e unidades métricas já foi discutida. Uma tabela de conversão também foi incluída. Exemplo de seu uso:

Para se converter polegadas em milímetros, multiplique o número de polegadas por 25. (Ex: $25 \times 25 = 625$ mm).

Para se converter milímetros em polegadas, multiplique os milímetros por 0,04. (Ex: $625 \text{ mm} \times 0,04 = 25$ opl).

Para se converter polegadas quadradas em centímetros quadrados, multiplique por 6,5. (Ex: $100 \text{ pol}^2 \times 6,5 = 650 \text{ cm}^2$).

Para se converter centímetros quadrados em polegadas quadradas, multiplique por 0,16. (Ex: $100 \times 0,16 = 16 \text{ pol}^2$).

A figura 1-26 é praticamente auto-explicativa. As medidas, começando em 1/64 de polegadas, foram convertidas em divisões decimais de polegada e em milímetros.

Funções dos Números

A tabela de funções dos números (figura 1-27 e 1-28), é incluída neste capítulo por conveniência, para facilitar os cálculos. A familiarização com as várias partes desta tabela ilustrarão as vantagens de se usar cálculos já feitos.

Números

A coluna dos números contém de 1 a 100. As outras colunas contêm cálculos para cada número.

Quadrado

O quadrado é o produto obtido pela multiplicação de um número por si mesmo: $1 \times 1 = 1$; $2 \times 2 = 4$; $17 \times 17 = 289$.

A elevação ao quadrado pode ser considerada uma forma especial de cálculo de área: Área = Comprimento multiplicado pela largura, $A = C \times L$.

Cubo

O cubo é o produto obtido pela multiplicação de um número por si mesmo três vezes. Em sua representação, o número que é

multiplicado chama-se base e o que indica quantas vezes a multiplicação ocorre, expoente, que no caso deste cálculo sempre será três.

Exemplo: B^e , onde B é a base e e, expoente. Assim: $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$

$$13^3 = 13 \times 13 \times 13 = 2197$$

Um cálculo específico de volume pode ser considerado como uma elevação ao cubo.

Exemplo: Volume = Comprimento multiplicado pela Largura e pela Altura ($V = C \times L \times H$).

Raiz Quadrada

A raiz quadrada é a operação inversa da elevação ao quadrado. A raiz quadrada de um número é aquele número que, multiplicado por si mesmo (elevado ao quadrado), resultará no número que se extraiu a raiz. Exemplificando: a raiz quadrada de 16 é 4, pois $4 \times 4 = 4^2 = 16$. Em sua representação, utiliza-se um radical, conforme a representação seguinte:

$$\sqrt{16} = 4, \text{ pois } 4^2 = 16.$$

Raiz Cúbica

Por sua vez, a raiz cúbica é a operação inversa da elevação ao cubo. Então a raiz cúbica de um número será igual ao valor que elevado ao cubo resulte naquele do qual se extraiu a raiz. Como exemplo tem-se que a raiz cúbica de 27 é 3, pois $3 \times 3 \times 3 = 3^3 = 27$. Da mesma forma que a raiz quadrada, utiliza-se o radical em sua representação, porém, por se tratar de raiz cúbica, utiliza-se o índice 3 no radical, conforme a representação seguinte: $\sqrt[3]{27} = 3, \text{ pois } 3^3 = 27$.

Circunferência de um Círculo

A circunferência é a medida linear do perímetro de um círculo. Tal medida é calculada multiplicando-se o diâmetro do círculo pela constante π , que é aproximadamente igual a 3,1416.

Exemplo: para uma circunferência de diâmetro igual a 10 cm: $C = 10 \text{ cm} \times 3,1416 = 31,416 \text{ cm}$.

Nota: A constante π é obtida dividindo-se a circunferência de qualquer círculo por seu respectivo diâmetro.

Área de um círculo

A área de um círculo é o número de unidades quadradas de medidas contidas na área circunscrita. Ela é calculada utilizando-se a fórmula $A = \pi \times r^2$, ou seja, multiplica-se a

constante π pelo valor do raio elevado ao quadrado. Ex.: para uma circunferência de raio igual a 10cm, temos:
 $A = 3,1416 \times (10\text{cm})^2 = 314,16 \text{ cm}^2$

QUANDO VOCÊ CONHECE		VOCÊ PODE ACHAR:	SE MULTIPLICAR POR:
COMPRIMENTO	Polegadas	Milímetros	25
	Pés	Centímetros	30
	Jardas	Metros	0,9
	Milhas	Quilômetros	1,6
	Milímetros	Polegadas	0,04
	Centímetros	Polegadas	0,4
	Metros	Jardas	1,1
	Quilômetros	Milhas	0,6
ÁREA	Pol. quadradas	centímetros quadrados	6,5
	pés quadrados	metros quadrados	0,09
	jardas quadradas	metros quadrados	0,8
	milhas quadradas	quilômetros quadrados	2,6
	acres quadrados	hectares quadrados	0,4
	cent. quadrados	polegadas quadradas	0,16
	metros quadrados	jardas quadradas	1,2
	quil. quadrados	milhas quadradas	0,4
	hectares quadrados	acres quadrados	2,5
MASSA	onças	gramas	28
	libras	quilogramas	0,45
	gramas	onças	0,035
	quilogramas	libras	2,2
VOLUME LÍQUIDO	onças	milímetros	30
	pintas	litros	0,47
	quartos de galão	litros	0,95
	galões	litros	3,8
	mililitros	onças	0,034
	litros	pintas	2,1
	litros	quartos de galão	1,06
litros	galões	0,26	
TEMPERATURA	graus fahrenheit	graus centígrados	5/9 após subtrair 32
	graus centígrados	graus fahrenheit	9/5 e adicionar 32

Figura 1-25 - Convertendo sistema inglês em métrico.

Inches			Inches			Inches			Inches		
Fractions	Decimals	M M	Fractions	Decimals	M M	Fractions	Decimals	M M	Fractions	Decimals	M M
-	.0004	.01	25/32	.781	19.844	-	2.165	55.	3-11/16	3.6875	93.663
-	.004	.10	-	.7874	20.	2-3/16	2.1875	55.563	-	3.7006	94.
-	.01	.25	51/64	.797	20.241	-	2.2047	56.	3-23/32	3.719	94.456
1/64	.0156	.397	13/16	.8125	20.638	2-7/32	2.219	56.356	-	3.7401	95.
-	.0197	.50	-	.8268	21.	-	2.244	57.	3-3/4	3.750	95.250
-	.0295	.75	53/64	.826	21.034	2-1/4	2.250	57.150	-	3.7798	96.
1/32	.03125	.794	27/32	.844	21.431	2-9/32	2.281	57.944	3-25/32	3.781	96.044
-	.0394	1.	55/64	.859	21.828	-	2.2835	58.	3-13/16	3.8125	96.838
3/64	.0469	1.191	-	.8661	22.	2-5/16	2.312	58.738	-	3.8189	97.
-	.059	1.5	7/8	.875	22.225	-	2.3228	59.	3-27/32	3.844	97.831
1/16	.062	1.568	57/64	.8906	22.622	2-11/32	2.344	59.531	-	3.8583	98.
5/64	.0781	1.984	-	.9055	23.	-	2.3622	60.	3-7/8	3.875	98.425
-	.0787	2.	29/32	.9062	23.019	2-3/8	2.375	60.325	-	3.8976	99.
3/32	.094	2.381	59/64	.922	23.416	-	2.4016	61.	3-29/32	3.9062	99.219
-	.0984	2.5	15/16	.9375	23.813	2-13/32	2.406	61.119	-	3.9370	100.
7/64	.109	2.778	-	.9449	24.	2-7/16	2.438	61.913	3-15/16	3.9375	100.013
-	.1181	3.	61/64	.953	24.209	-	2.4409	62.	3-31/32	3.969	100.806
1/8	.125	3.175	31/32	.969	24.606	2-15/16	2.469	62.706	-	3.9764	101.
-	.1378	3.5	-	.9843	25.	-	2.4803	63.	4	4.000	101.600
9/64	.141	3.572	63/64	.9844	25.003	3-1/2	2.500	63.500	4-1/16	4.062	103.188
5/32	.156	3.969	1	1.000	25.400	-	2.5197	64.	4-1/8	4.125	104.775
-	.1575	4.	-	1.0236	26.	2-17/32	2.531	64.294	-	4.1338	105.
11/64	.172	4.366	1-1/32	1.0312	26.194	-	2.559	65.	4-3/16	4.1875	106.363
-	.177	4.5	1-1/16	1.062	26.988	2-9/16	2.562	65.088	4-1/4	4.250	107.850
3/16	.1875	4.763	-	1.063	27.	2-19/32	2.594	65.881	4-5/16	4.312	109.538
-	.1969	5.	1-3/32	1.094	27.781	-	2.5984	66.	-	4.3307	110.
13/64	.203	5.159	-	1.1024	28.	2-5/8	2.625	66.675	4-3/8	4.375	111.125
-	.2185	5.5	1-1/8	1.125	28.575	-	2.638	67.	4-7/16	4.438	112.713
7/32	.219	5.556	-	1.1417	29.	2-21/32	2.656	67.469	4-1/2	4.500	114.300
15/64	.234	5.953	1-5/32	1.156	29.369	-	2.6772	68.	-	4.5275	115.
-	.2362	6.	-	1.1811	30.	2-11/16	2.6875	68.263	4-9/16	4.562	115.888
1/4	.250	6.350	1-3/16	1.1875	30.163	-	2.7165	69.	4-5/8	4.625	117.475
-	.2559	6.5	1-7/32	1.219	30.956	2-23/32	2.719	69.056	4-11/16	4.6875	119.063
17/64	.2656	6.747	-	1.2205	31.	2-3/4	2.750	69.850	-	4.7244	120.
-	.2756	7.	1-1/4	1.250	31.750	-	2.7559	70.	4-3/4	4.750	120.650
9/32	.281	7.144	-	1.2508	32.	2-25/32	2.781	70.6439	4-13/16	4.8125	122.238
-	.2953	7.5	1-9/32	1.281	32.544	-	2.7953	71.	4-7/8	4.875	123.825
19/64	.297	7.541	-	1.2992	33.	2-13/16	2.8125	71.4376	-	4.9212	125.
5/16	.312	7.938	1-5/16	1.312	33.338	-	2.8346	72.	4-15/16	4.9375	125.413
-	.315	8.	-	1.3386	34.	2-27/32	2.844	72.2314	5	5.000	127.000
21/64	.328	8.334	1-11/32	1.344	34.131	-	2.8740	73.	-	5.1181	130.
-	.335	8.5	1-3/8	1.375	34.925	2-7/8	2.875	73.025	5-1/4	5.250	133.350
11/32	.344	8.731	-	1.3779	35.	2-29/32	2.9062	73.819	5-1/2	5.500	139.700
-	.3543	9.	1-13/32	1.406	35.719	-	2.9134	74.	-	5.518	140.
23/64	.359	9.128	-	1.4173	36.	2-15/16	2.9375	74.613	5-3/4	5.750	146.050
-	.374	9.5	1-7/16	1.438	36.513	-	2.9527	75.	-	5.9055	150.
3/8	.375	9.525	-	1.4567	37.	2-31/32	2.969	75.406	6	6.000	152.400
25/64	.391	9.922	1-15/32	1.469	37.306	-	2.9921	76.	6-1/4	6.250	158.750
-	.3937	10.	-	1.4961	38.	3	3.000	76.200	-	6.2992	160.
13/32	.406	10.319	1-1/2	1.500	38.100	3-1/32	3.0312	76.994	6-1/2	6.500	165.100
-	.413	10.5	1-17/32	1.531	38.894	-	3.0315	77.	-	6.6929	170.
27/64	.422	10.716	-	1.5354	39.	3-1/16	3.062	77.788	6-3/4	6.750	171.450
-	.4331	11.	1-9/16	1.562	39.688	-	3.0709	78.	7	7.000	177.800
7/16	.438	11.113	-	1.5748	40.	3-3/32	3.094	78.581	-	7.0866	180.
29/64	.453	11.500	1-19/32	1.594	40.481	-	3.1102	79.	-	7.4803	190
15/32	.469	11.906	-	1.6142	41.	3-1/8	3.125	79.375	7-1/2	7.500	190.500
-	.4724	12.	1-5/8	1.625	41.275	-	3.1496	80.	-	7.8740	200.
31/64	.484	12.303	-	1.6535	42.	3-5/32	3.156	80.169	8	8.000	203.200
-	.492	12.5	1-21/32	1.6582	42.069	3-3/16	3.1875	80.963	-	8.2677	210.
1/2	.500	12.700	1-11/16	1.6875	42.863	-	3.1890	81.	8-1/2	8.500	215.900
-	.5116	13.	-	1.6929	43.	3-7/32	3.219	81.756	-	8.6614	220.
33/64	.5156	13.097	1-23/32	1.719	43.656	-	3.2283	82.	9	9.000	228.600
17/32	.531	13.494	-	1.7323	44.	3-1/4	3.250	82.550	-	9.0551	230.
35/64	.547	13.891	1-3/4	1.750	44.450	-	3.2677	83.	-	9.4488	240.
-	.5512	14.	-	1.7717	45.	3-9/32	3.281	83.344	9-1/2	9.500	241.300
9/16	.563	14.288	1-25/32	1.781	45.244	-	3.3071	84.	-	9.8425	250.
-	.571	14.5	-	1.8110	46.	3-5/16	3.312	84.1377	10	10.000	254.001
37/64	.578	14.884	1-13/16	1.8125	46.038	3-11/32	3.344	84.9314	-	10.2362	260.
-	.5906	15.	1-27/32	1.844	46.831	-	3.3464	85.	-	10.6299	270.
19/32	.594	15.061	-	1.8504	47.	3-1/8	3.375	85.725	11	11.000	279.401
39/64	.609	15.478	1-7/8	1.875	47.625	-	3.3858	86.	-	11.0236	280.
5/8	.625	15.875	-	1.8896	48.	3-13/32	3.406	86.519	-	11.4173	290.
-	.6299	16.	1-29/32	1.9062	48.419	-	3.4252	87.	-	11.8110	300.
41/64	.6406	16.272	-	1.9291	49.	3-7/16	3.438	87.313	12	12.000	304.801
-	.6496	16.5	1-15/16	1.9375	49.213	-	3.4646	88.	13	13.000	330.201
21/32	.656	16.669	-	1.9685	50.	3-15/32	3.469	88.106	-	13.7795	350.
-	.6693	17.	1-31/32	1.969	50.006	3-1/2	3.500	88.900	14	14.000	355.601
43/64	.672	17.066	2	2.000	50.800	-	3.5039	89.	15	15.000	381.001
11/16	.6875	17.463	-	2.0079	51.	3-17/32	3.531	89.694	-	15.7480	400.
45/64	.703	17.859	2-1/32	2.03125	51.594	-	3.5433	90.	16	16.000	406.401
-	.7067	18.	-	2.0472	52.	3-9/16	3.562	90.4877	17	17.000	431.801
23/32	.719	18.256	2-1/16	2.062	52.388	-	3.5827	91.	-	17.7185	450.
-	.7283	18.5	-	2.0868	53.	3-19/32	3.594	91.281	18	18.000	457.201
47/64	.734	18.653	2-3/32	2.094	53.181	-	3.622	92.	19	19.000	482.601
-	.7480	19.	2-1/8	2.125	53.975	3-5/8	3.625	92.075	-	19.6350	500.
3/4	.750	19.050	-	2.128	54.	3-21/32	3.656	92.869	20	20.000	508.001
49/64	.7650	19.447	2-5/32	2.150	54.769	-	3.6614	93.	-	-	-

Figura 1-26 Frações, decimais e milímetros.

No.	Square	Cube	Square Root	Cube Root	Circumference	Area
1	1	1	1.0000	1.0000	3.1416	0.7854
2	4	8	1.4142	1.2599	6.2832	3.1416
3	9	27	1.7321	1.4422	9.4248	7.0686
4	16	64	2.0000	1.5874	12.5664	12.5664
5	25	125	2.2361	1.7100	15.7080	19.635
6	36	216	2.4495	1.8171	18.850	28.274
7	49	343	2.6458	1.9129	21.991	38.485
8	64	512	2.8284	2.0000	25.133	50.266
9	81	729	3.0000	2.0801	28.274	63.617
10	100	1,000	3.1623	2.1544	31.416	78.540
11	121	1,331	3.3166	2.2240	34.558	95.033
12	144	1,728	3.4641	2.2894	37.699	113.10
13	169	2,197	3.6056	2.3513	40.841	132.73
14	196	2,744	3.7417	2.4101	43.982	153.94
15	225	3,375	3.8730	2.4662	47.124	176.71
16	256	4,096	4.0000	2.5198	50.265	201.06
17	289	4,913	4.1231	2.5713	53.407	226.98
18	324	5,832	4.2426	2.6207	56.549	254.47
19	361	6,859	4.3589	2.6684	59.690	283.53
20	400	8,000	4.4721	2.7144	62.832	314.16
21	441	9,261	4.5826	2.7589	65.973	346.36
22	484	10,648	4.6904	2.8020	69.115	380.13
23	529	12,167	4.7958	2.8439	72.257	415.48
24	576	13,824	4.8990	2.8845	75.398	452.39
25	625	15,625	5.0000	2.9240	78.540	490.87
26	676	17,576	5.0990	2.9625	81.681	530.93
27	729	19,683	5.1962	3.0000	84.823	572.56
28	784	21,952	5.2915	3.0366	87.965	615.75
29	841	24,389	5.3852	3.0723	91.106	660.52
30	900	27,000	5.4772	3.1072	94.248	706.86
31	1,961	29,791	5.5678	3.1414	97.389	754.77
32	1,024	32,768	5.6569	3.1748	100.53	804.25
33	1,089	35,937	5.7446	3.2075	103.67	855.30
34	1,156	39,304	5.8310	3.2396	106.81	907.92
35	1,225	42,875	5.9161	3.2717	109.96	962.11
36	1,296	46,656	6.0000	3.3019	113.10	1,017.88
37	1,369	50,653	6.0828	3.3322	116.24	1,075.21
38	1,444	54,872	6.1644	3.3620	119.38	1,134.11
39	1,521	59,319	6.2450	3.3912	122.52	1,194.59
40	1,600	64,000	6.3246	3.4200	125.66	1,256.64
41	1,681	68,921	6.4031	3.4482	128.81	1,320.25
42	1,764	74,088	6.4807	3.4760	131.95	1,385.44
43	1,849	79,507	6.5574	3.5034	135.09	1,452.20
44	1,936	85,184	6.6332	3.5303	138.23	1,520.53
45	2,025	91,125	6.7082	3.5569	141.37	1,590.43
46	2,116	97,336	6.7823	3.5830	144.51	1,661.90
47	2,209	103,823	6.8557	3.6088	147.65	1,734.94
48	2,304	110,592	6.9282	3.6342	150.80	1,809.56
49	2,401	117,649	7.0000	3.6593	153.94	1,885.74
50	2,500	125,000	7.0711	3.6840	157.08	1,963.50

Figura 1-27 Funções dos Números.

No.	Square	Cube	Square Root	Cube Root	Circumference	Area
51	2,601	132,651	7.1414	3.7084	160.22	2,042.82
52	2,704	140,608	7.2111	3.7325	163.36	2,123.72
53	2,809	148,877	7.2801	3.7563	166.50	2,206.18
54	2,916	157,464	7.3485	3.7798	169.65	2,290.22
55	3,025	166,375	7.4162	3.8030	172.79	2,375.83
56	3,136	175,616	7.4833	3.8259	175.93	2,463.01
57	3,249	185,193	7.5498	3.8485	179.07	2,551.76
58	3,364	195,112	7.6158	3.8709	182.21	2,642.08
59	3,481	205,379	7.6811	3.8930	185.35	2,733.97
60	3,600	216,000	7.7460	3.9149	188.50	2,827.43
61	3,721	226,981	7.8102	3.9365	191.64	2,922.47
62	3,844	238,328	7.8740	3.9579	194.78	3,019.07
63	3,969	250,047	7.9373	3.9791	197.92	3,117.25
64	4,096	262,144	8.0000	4.0000	201.06	3,126.99
65	4,225	274,625	8.0623	4.0207	204.20	3,381.31
66	4,356	287,496	8.1240	4.0412	207.34	3,421.19
67	4,489	300,763	8.1854	4.0615	210.49	3,525.65
68	4,624	314,432	8.2462	4.0817	213.63	3,631.68
69	4,761	328,509	8.3066	4.1016	216.77	3,739.28
70	4,900	343,000	8.3666	4.1213	219.91	3,848.45
71	5,041	357,911	8.4261	4.1408	223.05	3,959.19
72	5,184	373,248	8.4853	4.1602	226.19	4,071.50
73	5,329	389,017	8.5440	4.1793	229.34	4,185.39
74	5,476	405,224	8.6023	4.1983	232.48	4,300.84
75	5,625	421,875	8.6603	4.2172	235.62	4,417.86
76	5,776	438,976	8.7178	4.2358	238.76	4,536.46
77	5,929	456,533	8.7750	4.2543	241.90	4,656.63
78	6,084	474,552	8.8318	4.2727	245.05	4,778.36
79	6,241	493,039	8.8882	4.2908	248.19	4,901.67
80	6,400	512,000	8.9443	4.3089	251.33	5,026.55
81	6,561	531,441	9.0000	4.3267	254.47	5,153.00
82	6,724	551,368	9.0554	4.3445	257.61	5,281.02
83	6,889	571,787	9.1104	4.3621	260.75	5,410.61
84	7,056	592,704	9.1652	4.3795	263.89	5,541.77
85	7,225	614,125	9.2195	4.3968	267.04	5,674.50
86	7,396	636,056	9.2736	4.4140	270.18	5,808.80
87	7,569	638,503	9.3274	4.4310	273.32	5,944.68
88	7,744	681,472	9.3808	4.4480	276.46	6,082.12
89	7,921	704,969	9.4340	4.4647	279.60	6,221.14
90	8,100	729,000	9.4868	4.4814	282.74	6,361.73
91	8,281	753,571	9.5394	4.4979	285.88	6,503.88
92	8,464	778,688	9.5917	4.5144	289.03	6,647.61
93	8,649	804,357	9.6437	4.5307	292.17	6,792.91
94	8,836	830,584	9.6954	4.5468	295.31	6,939.78
95	9,025	857,375	9.7468	4.5629	298.45	7,088.22
96	9,216	884,736	9.7980	4.5789	301.59	7,238.23
97	9,409	912,673	9.8489	4.5947	304.73	7,389.81
98	9,604	941,192	9.8995	4.6104	307.88	7,542.96
99	9,801	970,299	9.9499	4.6261	311.02	7,697.69
100	10,000	1,000,000	10.0000	4.6416	314.16	7,853.98

Figura 1-28 Funções dos Números (continuação).

CAPÍTULO 2

DESENHO TÉCNICO DE AERONAVES

INTRODUÇÃO

A troca de idéias é essencial para todos, não importando sua vocação ou posição. Normalmente, essa troca é executada através da palavra falada ou escrita, mas sob algumas condições o uso dela sozinha é impraticável. A indústria descobriu que ela não poderia depender inteiramente das palavras escritas ou faladas somente para troca de idéias, pois desentendimentos e interpretações errôneas aparecem frequentemente.

Uma descrição escrita de um objeto pode ser mudada em sentido apenas pela colocação de uma vírgula em lugar errado; o significado de uma descrição oral pode ser completamente mudado pelo uso de uma palavra errada. Para evitar esses possíveis erros, a indústria usa desenhos para descrever objetos. Por esta razão, desenho é chamado de "linguagem do desenhista".

Desenho, como nós usamos, é um método de transposição de idéias que dizem respeito a construção ou montagem de objetos. Isto é feito com a ajuda de linhas, notas, abreviações e símbolos. É muito importante para o mecânico de aviação, que tenha que fazer ou montar o objeto, entender o significado das diferentes linhas, notas, abreviações e símbolos, que são usados em desenhos. (Veja especialmente "O significado das linhas" neste capítulo).

PLANTAS

As plantas são o elo entre os engenheiros, que projetam o avião; e entre os homens, que o constrói, mantém e consertam-no. Uma planta pode ser a cópia de um desenho de trabalho para uma peça de um avião, ou para um grupo de peças; ou para um modelo de um sistema, ou grupo de sistemas.

Elas são feitas pela colocação de traços de desenhos sobre uma folha de papel quimicamente tratado, expondo-o a uma intensa luz por um curto período de tempo.

Quando o papel exposto é revelado, ele fica azul onde a luz penetrou.

Como as linhas do desenho bloqueiam a luz, elas se mostram como linhas brancas sobre o fundo azul.

Outros tipos de papel sensibilizado têm sido desenvolvidos; a planta pode ter um fundo branco com linhas coloridas ou fundo colorido com linhas brancas.

Uma planta mostra os vários passos necessários em construir qualquer coisa; desde um simples componente, até um completo avião.

DESENHOS DE TRABALHO

Desenhos de trabalho têm que dar informações como: o tamanho do objeto e todas as suas partes; seu formato e todas as suas partes; especificações, como: o material a ser usado, como ele deve ser acabado, como suas partes devem ser montadas; e qualquer outra informação essencial a manufatura e montagem do objeto em particular.

Desenhos de trabalho podem ser divididos em três partes:

- (1) Desenhos de detalhes
- (2) Desenhos de conjuntos
- (3) Desenhos de montagens

Desenhos de detalhes

Um desenho de detalhe é a descrição de uma peça simples, dada de forma a descrever através de linhas, notas, símbolos, especificações como tamanho, formato, material e método de manufatura, que devem ser usados para fazer a peça. Desenhos detalhados são, normalmente, simples; e, quando peças simples são pequenas, muitos desenhos detalhados podem estar numa mesma folha ou planta.

Desenhos de conjuntos

Um desenho de conjunto é uma descrição de um objeto, feito de duas ou mais partes (veja o desenho de montagem no centro da figura 2-1). Ele descreve o objeto, dando em forma geral, o tamanho e formato.

A sua principal finalidade é mostrar o relacionamento das várias partes. Um desenho de conjunto é, normalmente, mais complexo que um desenho detalhado e, é freqüentemente, acompanhado de desenhos detalhados de várias partes.

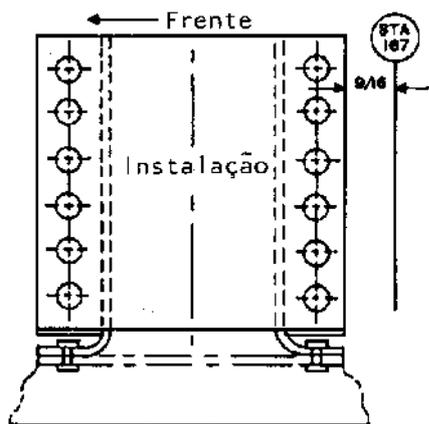
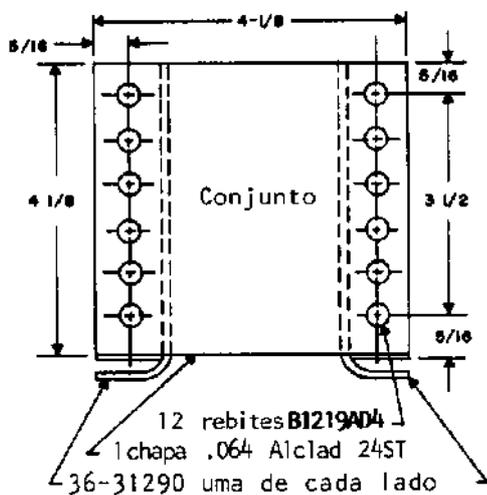
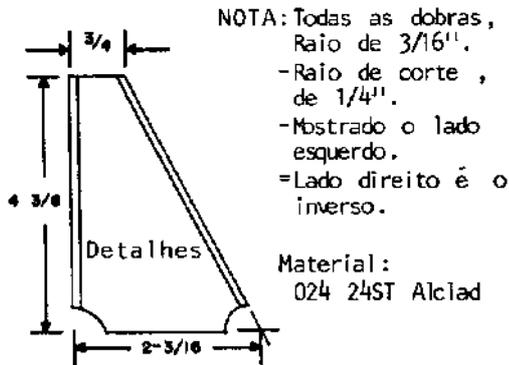


Figura 2-1 Desenho de Montagem.

Desenhos de montagem

Um desenho de montagem é aquele que inclui todas as informações necessárias para a montagem das peças em sua posição final na

aeronave. Ele mostra as medidas necessárias para a localização de peças específicas, com relação às outras peças e dimensões de referências, que são de ajuda em posterior trabalho na oficina. (Veja desenho de montagem na da figura 2-1.)

CUIDADOS E USO DE DESENHOS

Desenhos são caros e valiosos; em consequência, eles devem ser manuseados com cuidado. Abra os desenhos lenta e cuidadosamente para evitar que o papel se rasgue. Quando o desenho estiver aberto, alise as linhas das dobras, ao invés de dobrá-las para trás.

Para proteger os desenhos, nunca os espalhe no chão ou os coloque em superfícies cobertas de ferramentas ou outros objetos, que possam fazer buracos no papel. As mãos devem estar livres de óleo, graxa, ou outras substâncias que possam manchar ou borrar a planta.

Nunca faça notas ou marcas em uma planta, uma vez que elas possam confundir outras pessoas e conduzir ao trabalho incorreto. Somente pessoas autorizadas têm permissão para fazer notas ou mudanças de plantas, tendo que assinar e datar qualquer mudança que fizerem.

Quando terminar com um desenho, dobre e devolva-o ao devido lugar. As plantas são normalmente dobradas num tamanho certo para arquivamento; o cuidado deverá ser tomado para que a dobragem original seja sempre usada.

BLOCO DE TÍTULOS

Toda planta tem que ter alguns meios de identificação. Isto é provido por um bloco de título (veja figura 2-2). O bloco de título consiste do número do desenho e de algumas outras informações concernentes a ele, e ao objeto que o representa.

Esta informação é agrupada em um local proeminente na planta, normalmente no canto inferior direito.

Algumas vezes o bloco de título é na forma de uma linha que se estende por quase toda a base da folha.

Embora blocos de títulos não sigam uma forma padrão, no que diz respeito ao formato, todos irão apresentar, essencialmente, a seguinte informação:

FEDERAL AVIATION ADMIN. AERONAUTICAL CENTER		OKLAHOMA CITY, OKLA.	
Nº 1 ADF "T" ANTENNA LOCATION & DETAILS			
SCALE: FULL SIZE			
APPROVED: JOSEPH DOE		SUBMITTED: B. B. BLACK	
DR. BY: HBF	DATE	DR. AC-A-735	
CK. BY: TDY	4-8-68		

Figura 2-2. Bloco de Títulos.

1. Um número do desenho, para identificar a planta para fins de arquivo, e para evitar confusão dela com outra planta;
2. O nome da peça ou conjunto;
3. A escala;
4. A data;
5. O nome da firma; e
6. O nome do desenhista, do revisor e da pessoa que aprovou o desenho.

Números de desenhos ou de plantas

Todas as plantas são identificadas por um número, que aparece no canto inferior direito do bloco de título. Ele pode também aparecer noutros lugares; tais como o canto superior direito ou no verso da planta. Em ambas as extremidades o número aparecerá quando a planta estiver dobrada ou enrolada.

A finalidade da numeração é a rápida identificação da planta. Caso uma planta tenha mais de uma folha, e todas tenham o mesmo número, esta informação é incluída no bloco de números indicando o número da página e o número total de páginas.

Referências e extensões

Números de referências que aparecem no campo título, mostra a um indivíduo o número de outras plantas. Quando mais de um detalhe é mostrado em um desenho; extensões são usadas. Ambas as partes devem ter o mesmo número do desenho mais um número individual, como por exemplo 40267-1 e 40267-2.

Além de aparecer no campo título, números de extensão podem aparecer na face do desenho, perto das peças que o identificam.

Extensões também são utilizadas para identificar peças direitas e esquerdas.

Em uma aeronave, muitas peças do lado esquerdo se parecem com peças do lado direito, porém invertidas. As peças do lado esquerdo são sempre mostradas no desenho. As peças direitas são identificadas no campo título. Acima do campo título se encontrará uma anotação; tal como: 470204-1 LH, é o mostrado; 470204-2RH é o oposto. Estas partes têm o mesmo número, mas a peça referida é classificada pelo número de referência.

Algumas plantas têm números ímpares para peças esquerdas, e números pares para peças direitas.

Sistema de numeração universal

O sistema de numeração universal, dá os meios de identificação de desenhos do tamanho padrão. Nesse sistema cada desenho consiste de 6 ou 7 dígitos. O primeiro é sempre 1, 2, 4 ou 5 (figura 2-3), e indica o tamanho do desenho. Os demais dígitos identificam o desenho. Muitas firmas têm modificado este sistema básico para acomodá-lo às suas necessidades particulares.

As letras podem ser usadas em lugar dos números. A letra ou número representando o tamanho do desenho padrão pode prefixar o número, separando-o por um traço. Outros sistemas de numeração proporcionam um campo separado, antes do número do desenho, para identificar o tamanho do mesmo. Em outras modificações deste sistema, o PN do conjunto descrito é usado como o número do desenho.

Tamanho	1	2	4	5
Comprim.	11"	17"	22"	INDEFINIDO (ROLO)
Largura	8-1/2"	11"	17"	17, 22, 25.50, 34, e 36 pol.

Figura 2-3 Padrão de medidas de plantas.

LISTA DE MATERIAL

Uma lista de materiais e peças necessárias à fabricação ou montagem de um componente ou sistema, é, freqüentemente incluída no desenho. A lista, normalmente será em colunas em que são listados os PNs, nome da peça e material do qual deve ser construída, quantidade

de material necessário e a origem da peça ou material.

Em desenhos, que não dão lista de material, a informação pode ser observada diretamente no desenho.

Em desenhos de montagem, cada item é identificado por um número em um círculo, ou em um quadrado. Uma seta ligando o número ao item, ajuda a localização na lista de materiais.

BILL OF MATERIAL			
ITEM	PART NO.	REQUIRED	SOURCE
CONNECTOR	UG-21D/U	2	STOCK

Figura 2-4 Lista de material.

OUTRAS INFORMAÇÕES

Bloco de revisão

Revisões em um desenho são necessárias para mudança de dimensões, modelo ou materiais.

As mudanças são normalmente listadas em colunas adjacentes ao bloco de título, ou em um canto do desenho.

Todas as mudanças aprovadas para um desenho devem ser cuidadosamente anotadas, em todas as plantas existentes daquele desenho.

Quando o desenho contém correções, as mudanças são classificadas por letras ou números; e listadas, após estes símbolos, em um bloco de revisão (figura 2-5).

O bloco de revisão, contém o símbolo de identificação (letra ou número), a data, a natureza da revisão; quem autorizou a mudança, e o nome do desenhista, que efetuou a mudança.

Para diferenciar o desenho corrigido de sua versão original, muitas firmas estão incluindo, como parte do bloco de título; um espaço para colocar o símbolo apropriado, para esclarecer que o desenho foi mudado ou revisado.

2	CHANGED PART NO. 5	E.O.L	2/3/70	B.K.
1	REVISED DIMENSIONS	J.L.M.	7/1/69	E.K.P.
NO.	REVISION	AUTH.	DATE	SIGN.

Figura 2-5 Bloco de revisão.

Notas

Notas são acrescentadas aos desenhos por várias razões. Algumas dessas notas referem-se aos métodos de montagem ou de construção. Outras dão alternativas, para que o desenho possa ser usado em diferentes estilos do mesmo objeto. Ainda outras, enumeram as modificações que estão disponíveis.

As notas podem ser encontradas ao lado do item, ao qual elas se referem. Se as notas forem muito longas, podem ser colocadas em outros lugares do desenho e identificadas por letras ou números. As notas são usadas, quando a informação não pode ser transmitida, na maneira convencional, ou quando é desejável evitar o enchimento do desenho. A figura 2-1 ilustra um método de apresentação de notas.

Quando a nota se refere a uma peça específica, traça-se uma seta da nota até a peça. Se a nota se aplica a mais de uma peça, ela deve ser explícita, a fim de que não deixe dúvidas quanto as peças nas quais ela se aplica. Quando existirem muitas notas, normalmente elas deverão ser mantidas juntas e numeradas consecutivamente.

Zoneamento

O zoneamento em desenho, é semelhante aos números e letras impressos nas bordas de um mapa. Eles estão ali, para auxiliar a localização de um determinado ponto. Para encontrar um ponto, mentalmente trace uma linha horizontal e uma vertical, partindo dos números e letras especificados. O ponto de intercessão é a área procurada.

Use o mesmo método para localizar partes, seções e vistas em desenhos grandes, particularmente desenhos de conjuntos. Peças numeradas no bloco de títulos podem ser localizadas nos desenhos, procurando-se os números nos quadrados ao longo da borda inferior. Os números de zoneamento são lidos da direita para a esquerda.

Números de estação

Um sistema de numeração é usado em grandes conjuntos da aeronave para localizar estações como as cavernas da fuselagem. Caverna da estação da fuselagem 185 (Fuselage Frame - Sta 185) indica que a caverna está a 185 polegadas do ponto de referência da aeronave. A medição é normalmente tirada a partir do nariz ou estação zero; mas em alguns casos, pode ser tirada da parede de fogo, ou algum outro ponto escolhido pelo fabricante.

O mesmo sistema de numeração de estação é usado para asas e estabilizadores. A medida é tirada da linha de centro ou estação zero da aeronave.

Marcas de acabamento

Marcas de acabamento são usadas para indicar as superfícies que devem ter um acabamento por máquina. As superfícies acabadas têm uma aparência melhor e permitem um encaixe mais justo com outras peças. Durante o processo de acabamento, os limites e tolerâncias requeridos devem ser observados. Não confundir "acabamento por máquina" com aqueles "por pintura, esmalte, cromagem e coberturas semelhantes".

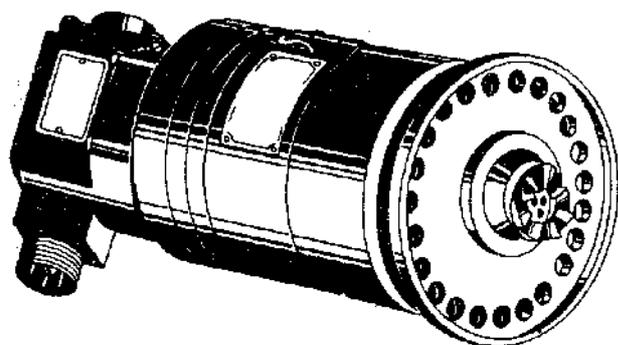


Figura 2-6 Desenho pictorial.

Tolerâncias

Quando uma dimensão dada em uma planta mostra uma variação permitida, o sinal mais (+), indica o máximo; e o sinal menos (-), indica a mínima variação permitida. A soma dos sinais indica a tolerância.

Por exemplo, usando $.225 + .0025 - .0005$; os sinais mais (+) e menos (-) indicam

que a peça será aceitável se não for $.0025$ maior do que a dimensão dada $.225$, ou não mais do que $.0005$ menor do que a dimensão $.225$. A tolerância neste exemplo, é de $.0030$ ($.0025$ max + $.0005$ min).

Se as tolerâncias a mais ou a menos forem iguais, você as encontrará assim: $.224 \pm .0025$. A tolerância seria então $.0050$. A tolerância pode ser indicada de forma fracionária ou decimal. Quando forem necessárias dimensões muito precisas, serão usados decimais. Tolerâncias em fração são suficientes quando não são necessárias dimensões precisas. Tolerâncias padrão de $-.010$ ou $-1/32$ podem ser dadas no bloco título de muitos desenhos, para aplicação nos mesmos.

MÉTODOS DE ILUSTRAÇÃO

Inúmeros métodos são usados para ilustrar objetos graficamente. Os mais comuns são desenhos, projeções ortográficas e diagramas.

Desenhos pictoriais

Um desenho pictorial (fig 2-6), é similar a uma fotografia. Mostra o objeto como ele aparece aos olhos, mas não é satisfatório para mostrar formas e formatos complexos. Desenhos pictoriais são úteis para mostrar a aparência de um objeto, e são muito usados com projeções ortográficas. Desenhos pictoriais são usados em manutenção, revisões gerais e número de partes (P/N).

Desenhos de projeção ortográfica

Para mostrar o exato tamanho e forma de todas as peças de objetos complexos, são necessárias mais de uma vista. Este é o sistema usado na projeção ortográfica.

Em projeções ortográficas, existem seis vistas possíveis de um objeto, porque todos os objetos têm seis lados (frente, cima, parte de baixo, traseira, lado direito e lado esquerdo).

A figura 2-7 (A) mostra um objeto colocado em uma caixa transparente.

As projeções, nos lados da caixa, são como se o objeto fosse visto diretamente através de cada lado.

Se as linhas do objeto forem desenhadas em cada face, e a caixa for aberta como mostrado em (B); quando completamente aberta como em (C); o resultado será uma projeção ortográfica de seis lados.

Raramente se faz necessário mostrar os seis lados para descrever um objeto; por isso, apenas aquelas vistas necessárias para ilustrar as características requeridas do objeto são desenhadas.

Os desenhos mais comuns são os de uma face, duas faces e de três faces.

Com qualquer número de faces, o padrão é o mostrado na Fig 2-7, com a vista frontal sendo a principal.

Se a face direita é mostrada, estará à direita da frontal. Se o lado esquerdo é mostrado, estará à esquerda.

As faces de cima e de baixo, se incluídas, serão mostradas nas respectivas posições em relação à posição frontal.

Desenhos de uma face são comumente usados para objetos de largura uniforme, como gaxetas, espaçadores e placas. Uma nota de dimensão dá a espessura como mostrado na figura 2-8.

Desenhos de uma face são, também, comuns para peças cilíndricas, esféricas ou quadradas, se todas as dimensões necessárias são bem representadas em uma face.

Quando o espaço é limitado, e for necessário mostrar duas faces, objetos simétricos são freqüentemente representados por meias faces, como ilustrado na fig 2-9.

Desenhos de aeronaves raramente mostram mais do que duas vistas principais, ou completas de um objeto.

Ao contrário, geralmente haverá uma vista completa e uma ou mais vistas de detalhes ou seccionadas.

Vista de detalhes

Uma vista de detalhe mostra apenas parte de um objeto, porém bem detalhado e em escala maior do que a da vista principal.

A parte mostrada do detalhe é normalmente destacada com uma linha escura na vista principal. A figura 2-10 é um exemplo do uso de vista de detalhes.

A vista principal mostra o controle completo, enquanto o detalhe é um desenho aumentado de uma parte do controle.

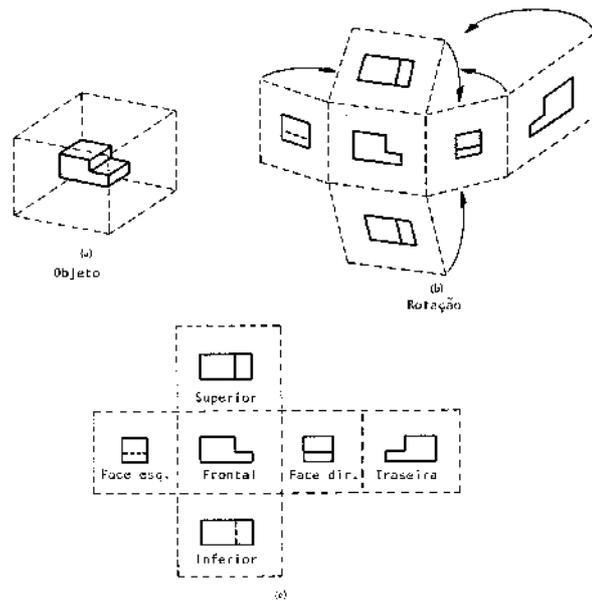


Figura 2-7 Projeção ortográfica.

Vista Seccionada

Uma secção ou vista seccionada é obtida cortando parte do objeto para mostrar a forma e a construção no plano cortado. O corte das partes são mostrados pelo uso de linhas de secção (sombreado).

Vistas seccionadas são usadas quando a construção interior, ou componentes internos de um objeto não podem ser mostrados claramente por vistas exteriores.

Por exemplo, na fig 2-11, uma vista seccionada de um cabo coaxial mostra a construção interna do conector. Isto é conhecido como secção cheia.

Outros tipos de secções são descritas nos parágrafos seguintes.

Meias Secções

Na meia secção, o plano de corte é feito somente seccionando o objeto pelo meio, - uma metade do objeto fica como vista exterior.

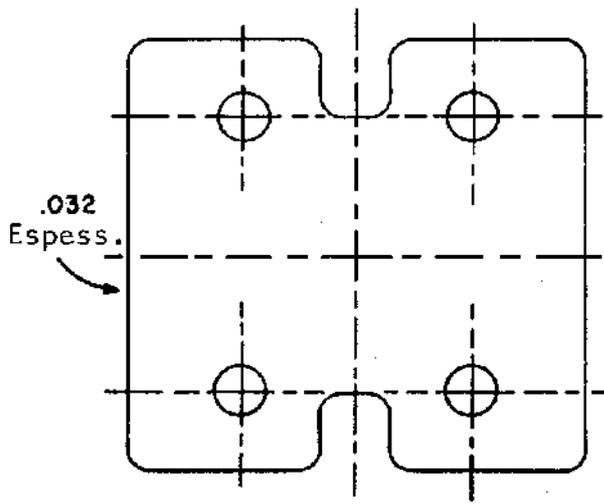


Figura 2-8 Desenho de uma face.

As meias secções são usadas com vantagem em objetos simétricos, para mostrar a parte interior e exterior.

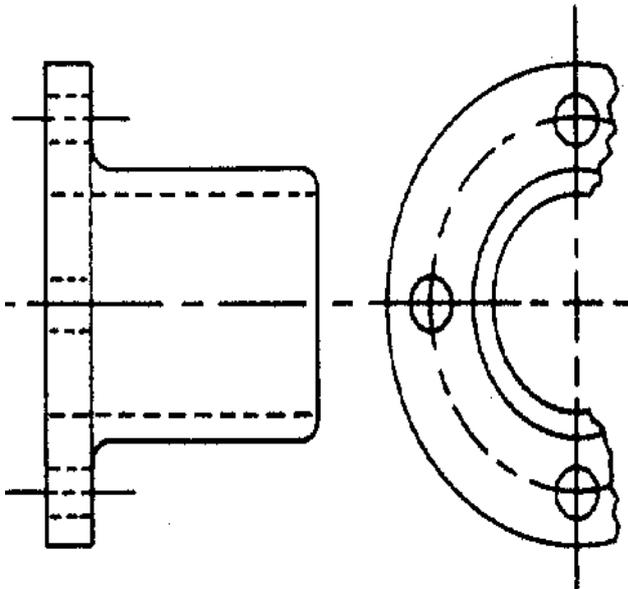


Figura 2-9 Objeto simétrico com meia face exterior.

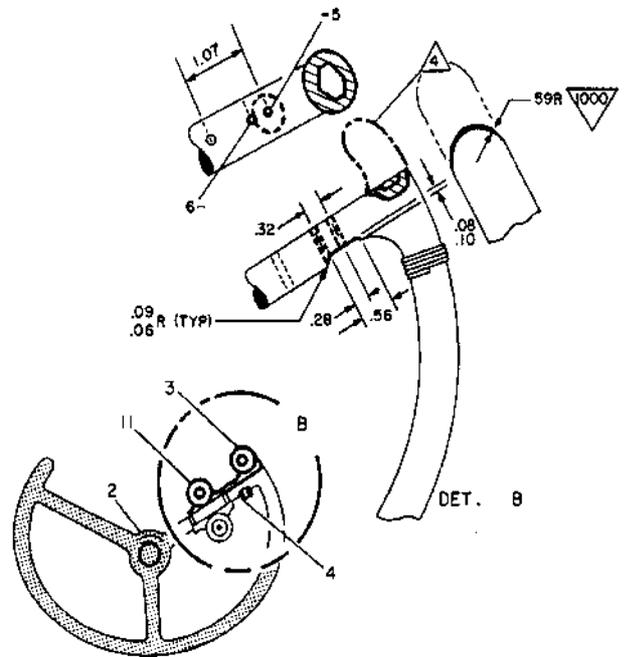


Figura 2-10 Vista de detalhe.

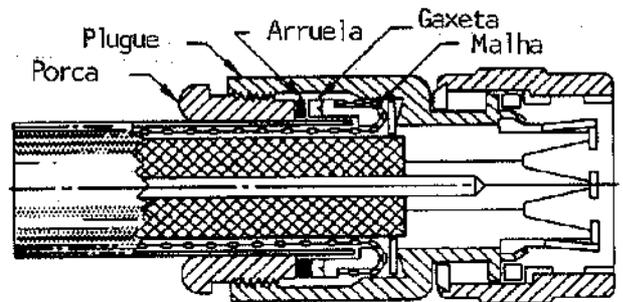


Figura 2-11 Vista seccional de um conector de cabo.

A figura 2-12 é uma vista de meia secção de uma desconexão rápida, usada num sistema de fluido de uma aeronave.

Secção rebatida

A secção rebatida, desenhada diretamente na vista exterior, mostra a forma de corte transversal da parte, como o raio da roda. Um exemplo da secção rebatida é mostrado na figura 2-13.

Secção removida

Secções removidas mostram particularidades do objeto. Elas são desenhadas como as secções rebatidas, exceto que estão colocadas de um lado e destacam detalhes pertinentes e são freqüentemente, desenhadas em uma escala maior que a vista, na qual elas são indicadas.

Figura 2-14 é uma ilustração de seção removida. A seção A.A. mostra a forma do corte transversal do objeto cortado pela linha do plano A.A. A seção B.B. mostra a forma do corte transversal cortado pela linha do plano B.B. Estas vistas seccionadas são desenhadas na mesma escala da vista principal; no entanto, como já mencionado, elas são freqüentemente desenhadas numa escala maior para destacar detalhes pertinentes.

O SIGNIFICADO DAS LINHAS

Todo desenho é composto de linhas. Linhas marcam fronteiras, bordas e intercessões de superfícies. Linhas são usadas para mostrar dimensões e superfícies ocultas, e para indicar centros. Obviamente, se a mesma espécie de linha for usada para mostrar todas essas coisas, um desenho viria a ser uma coleção de linhas. Por essa razão, várias espécies de linhas padronizadas são usadas em desenhos de aeronaves. Essas linhas estão ilustradas na figura 2-15 e, seus empregos corretos são mostrados na figura 2-16.

Muitos desenhos usam três larguras, ou intensidades de linhas: fina, média ou grossa. Estas linhas podem variar um pouco em desenhos diferentes, mas haverá sempre uma notável diferença entre uma linha fina e uma linha grossa, com a largura de uma linha média em algum lugar entre as duas.

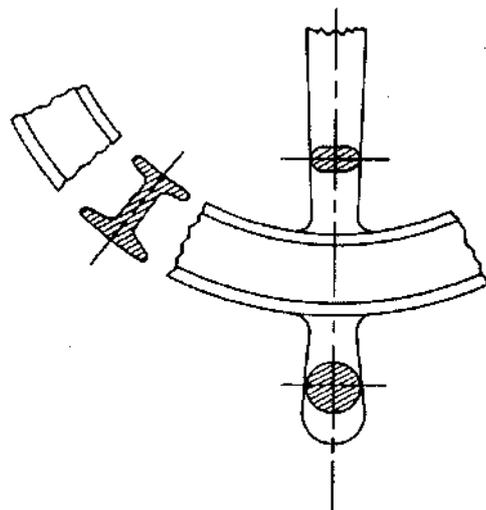


Figura 2-13 Seção rebatida.

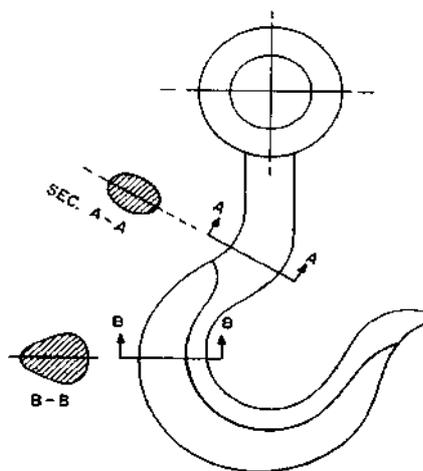


Figura 2-14 Seção removida.

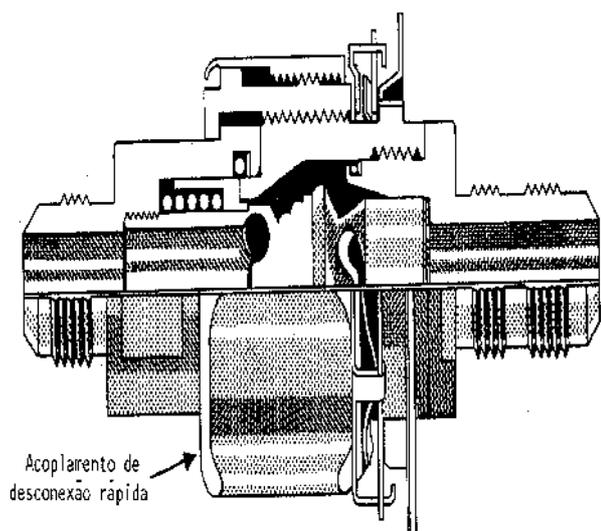


Figura 2-12 Meia seção.

Linhas de centro

Linhas de centro são constituídas de traços longos e curtos. Elas indicam o centro do objeto ou parte do objeto. Onde as linhas de centro se cruzam, os traços curtos se cortam, simetricamente. No caso de pequenos círculos, as linhas de centro podem ser mostradas inteiras (não devem ser interrompidas).

Linhas de cota

A linha de cota é uma linha sólida interrompendo no ponto médio para colocação da indicação de medidas, e tendo ponta de setas opostas a cada final, para mostrar a origem e o fim da medida. Elas são geralmente paralelas à linha em que a dimensão é dada e, são usualmente colocadas na parte externa da linha de

contorno do objeto e entre vistas, se mais que uma vista é mostrada.

Todas as dimensões e letras são colocadas de modo que elas sejam lidas da esquerda para a direita. A dimensão de um ângulo é indicada colocando o grau do ângulo em seu arco. As dimensões da parte circular são sempre dadas em termos do diâmetro do círculo e, usualmente, com a letra D ou a abreviação DIA, seguindo a dimensão.

A dimensão do arco é dada em termos de seus raios, e é marcada com a letra R após a dimensão. Linhas de cota paralelas são colocadas, de modo que, a maior dimensão esteja mais afastada da linha de contorno, e a menor dimensão esteja mais perto da linha de contorno do objeto. Num desenho mostrando diversas vistas, as linhas de cota serão colocadas sobre cada vista, para mostrar seus detalhes com um melhor aproveitamento.

No dimensionamento de distâncias entre furos no objeto, as dimensões são usualmente dadas, de centro a centro, ao invés da parte externa à parte externa.

Quando o número de furos de vários tamanhos são mostrados, os diâmetros desejados são dados em uma líder, seguida pelas notas de identificação das máquinas de operação para cada furo. Se uma parte tem três furos de igual tamanho, igualmente espaçados, esta informação é dada. Para trabalhos de precisão, os tamanhos são fornecidos em decimais. Diâmetros e As meias secções são usadas com vantagem em objetos simétricos, para mostrar a parte interior e exterior.

profundidades são fornecidos para furos escariados. Nestes, o ângulo de escariar e o diâmetro são dados. Estude os exemplos mostrados na figura 2-17.

As dimensões, dadas para encaixe significam a quantidade de folga permitida entre os pontos móveis.

Uma tolerância positiva permitida é indicada para a parte que é móvel, ou girada sobre a outra parte. Uma tolerância negativa é um dado para a força conveniente. Sempre que possível, a tolerância e as folgas desejadas devem estar conforme as estabelecidas no Padrão Americano de tolerâncias, Folgas e Medidores, para encaixes metálicos. As classes de encaixe, especificadas nos padrões, devem ser indicadas nos conjuntos de desenhos.

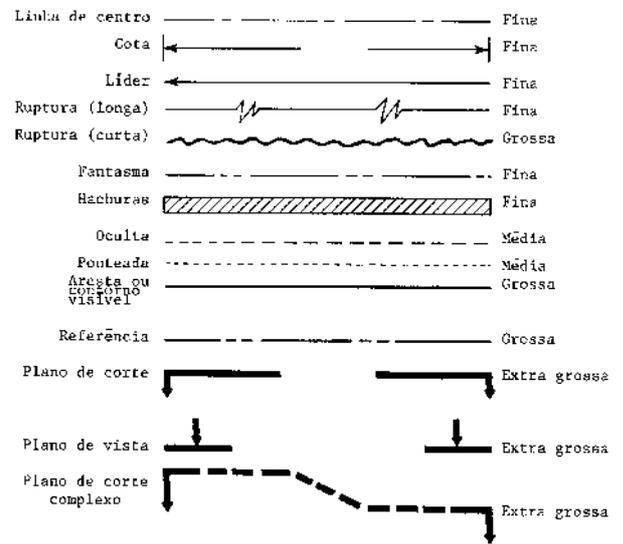


Figura 2-15 O significado das linhas.

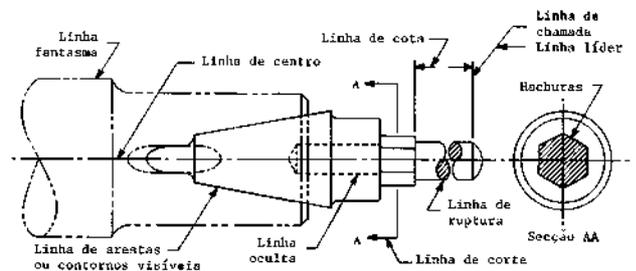


Figura 2-16 Correto uso das linhas.

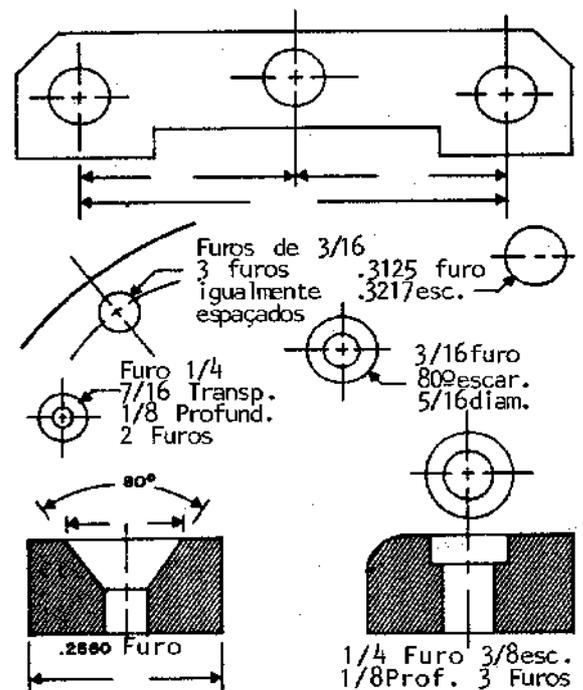


Figura 2-17 Dimensionamento de furos.

Linhas líderes

Líderes são linhas sólidas, com uma seta numa das pontas, e indicam uma parte ou porção de uma nota, número, ou uma outra referência.

Linhas de ruptura

Linhas de ruptura indicam que uma porção do objeto não é mostrada no desenho. Para pequenas rupturas as linhas são feitas sólidas, e à mão livre.

Longas rupturas são feitas com linhas sólidas, com régua e ziguezagues intercalados..

Eixos, hastes, tubos e outras partes que têm uma porção de seu comprimento interrompido, têm o final da interrupção como indica a figura 2-16.

Linhas fantasmas

Linhas fantasmas indicam a posição alternada de partes do objeto, ou da posição relativa de uma parte perdida.

Linhas fantasmas são compostas de um longo e dois curtos traços, espaçados regularmente.

Linhas de hachuras

Linhas de hachuras indicam superfícies expostas do objeto, na vista seccionada. Elas são geralmente finas, cheias, mas devem variar com a espécie de material mostrado na seção.

As meias seções são usadas com vantagem em objetos simétricos, para mostrar a parte interior e exterior.

Linhas ocultas

Linhas ocultas indicam margens invisíveis ou contornos. Linhas ocultas são feitas de traços curtos espaçados regularmente e, são frequentemente, classificadas como linhas tracejadas.

Linhas de contorno ou de arestas visíveis

Linhas de contorno ou de arestas são usadas em todas as linhas do desenho, representando as linhas visíveis do objeto.

Linhas ponteadas ou interrompidas

Linhas ponteadas (pontos de costura) ou interrompidas, ou ainda costuradas, consistem de uma série de pequenos traços, espaçados regularmente.

Linhas de corte e vista de corte

Linhas de corte indicam o plano no qual uma vista seccional do objeto é tomada. Na figura 2-16, a linha de corte A-A indica o plano no qual a seção A-A foi tomada.

Vista de corte indica o plano do qual uma superfície é vista.

INTERPRETANDO DESENHOS

Um desenho não pode ser interpretado todo de uma vez, do mesmo modo que, uma planta inteira não pode ser interpretada numa olhadela.

Ambos devem ser interpretados uma linha de cada vez. Interpretar um desenho, efetivamente, segue um procedimento sistemático.

Na abertura de um desenho, leia o número do desenho e a descrição do artigo. Depois cheque qual é o modelo, a última alteração, e o próximo conjunto listado. Tendo determinado que o desenho está correto, prossiga na leitura das ilustrações.

Na interpretação de um desenho de muitas vistas, primeiro pegue a idéia geral da forma do objeto pela discriminação de todas as vistas, então selecione uma vista para um estudo mais cuidadoso. Checando a vista adjacente várias vezes, será possível determinar o que cada linha representa.

Cada linha de uma vista representa uma troca na direção da superfície, mas outra vista deve ser consultada para determinar qual foi a troca. Por exemplo, um círculo sobre uma vista pode significar um furo ou uma saliência, como na vista superior do objeto na figura 2-18.

Olhando a vista superior, vemos dois círculos; no entanto a outra vista deve ser consultada para determinar o que cada círculo representa. Uma olhada em outra vista nos informa que o pequeno círculo representa um furo; e o grande representa uma saliência. -Do mesmo modo, a vista superior deve ser consultada para determinar a forma do furo e da saliência.

Pode ser visto neste exemplo, que uma pessoa não pode interpretar um desenho com uma simples olhada, quando mais de uma vista é dada. Duas vistas nem sempre descreverão o objeto e, quando três vistas são dadas, todas três devem ser consultadas para se ter certeza de que a forma está sendo interpretada corretamente.

Após determinar a forma de um objeto, determine seu tamanho. Informação de dimensão e tolerância são dadas para se ter certeza que o desenho correto será encontrado.

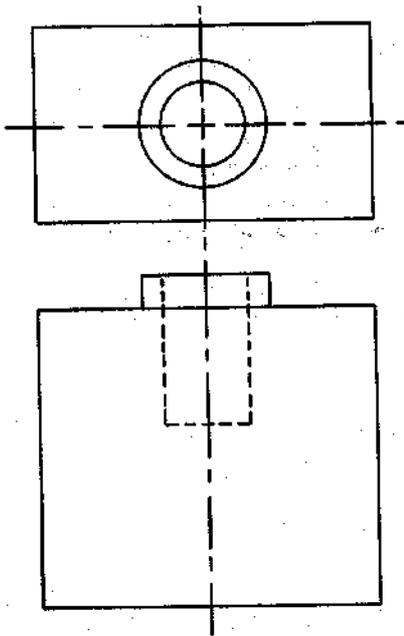


Figura 2-18 Interpretando desenhos.

As dimensões são indicadas por algarismos, com ou sem marcas de polegadas. Se as marcas de polegadas são usadas, a dimensão é em polegadas. É costume dar as dimensões das partes e a dimensão geral, que dá a maior largura da parte. Se não for apresentada a dimensão geral, ela pode ser determinada pela soma das dimensões das partes separadas.

Desenhos podem ser dimensionados em decimais ou frações. Isto é especialmente verdadeiro com referência às tolerâncias. Muitas fir-

mas, ao invés de usar sinais de mais (+) ou menos (-) para tolerância, fornecem a dimensão completa para ambas as tolerâncias.

Por exemplo, se uma dimensão é duas polegadas com um mais (+) ou menos (-) tolerância de 0.01, o desenho deveria mostrar a dimensão total como: 2.01 e 1.99. A tolerância isenta (normalmente achada no bloco de título) é uma tolerância geral que pode ser aplicada para partes onde as dimensões não são críticas. Onde a tolerância não é mostrada na linha de cota, aplica-se a tolerância da planta.

Para completar a interpretação de um desenho, lê-se as notas gerais e o conteúdo do bloco de material; cheque e ache as várias modificações incorporadas, e leia as informações especiais dadas nas, ou próximas das vistas e seções.

DIAGRAMAS

Um diagrama deve ser definido como uma representação gráfica de um conjunto ou sistema; indicando as várias partes e, expressamente, os métodos ou princípios de operação.

Há muitos tipos de diagramas; no entanto os com que os mecânicos da aviação terão de se preocupar durante o desempenho de seu trabalho podem ser agrupados em duas classes ou tipo: diagramas de instalação e diagramas esquemáticos.

Diagramas de instalação

A figura 2-19 é um exemplo de diagrama de instalação. Esse é um diagrama do sistema de travas de comando de uma aeronave. Ele identifica cada componente no sistema e mostra sua localização na aeronave.

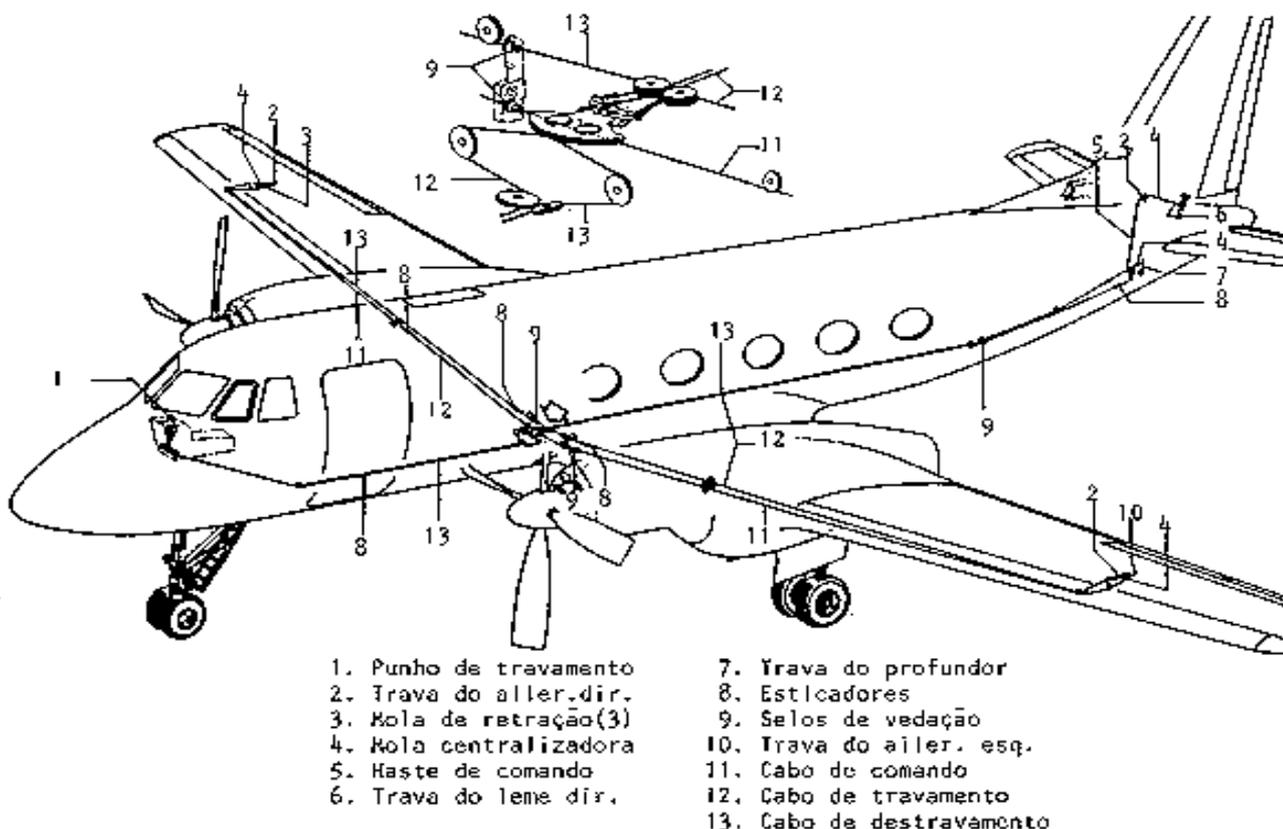


Figura 2-19 Exemplo do diagrama de uma instalação (Sistema de trava dos comandos).

Cada letra (A, B, C, etc.) na vista principal, refere-se a vista de um detalhe localizado em qualquer lugar no diagrama. Cada detalhe é um grande desenho da porção do sistema.

Os números de várias vistas são classificados como observações, e servem para identificar cada componente.

Diagramas de instalações são usados extensivamente na manutenção de aeronaves e manuais de reparos.

São de valor inestimável, na identificação e localização de componentes e compreensão da operação dos vários sistemas.

Diagramas esquemáticos

Diagramas esquemáticos não indicam a localização individual de componentes na aeronave, mas localizam os componentes com respeito a cada um dentro do sistema. A figura 2-20 ilustra um diagrama esquemático do sistema hidráulico da aeronave. O instrumento de pressão hidráulica não é necessariamente localizado abaixo da válvula seletora do trem de pouso na aeronave; no entanto ele é conectado na linha de pressão que conduz o óleo para a válvula seletora.

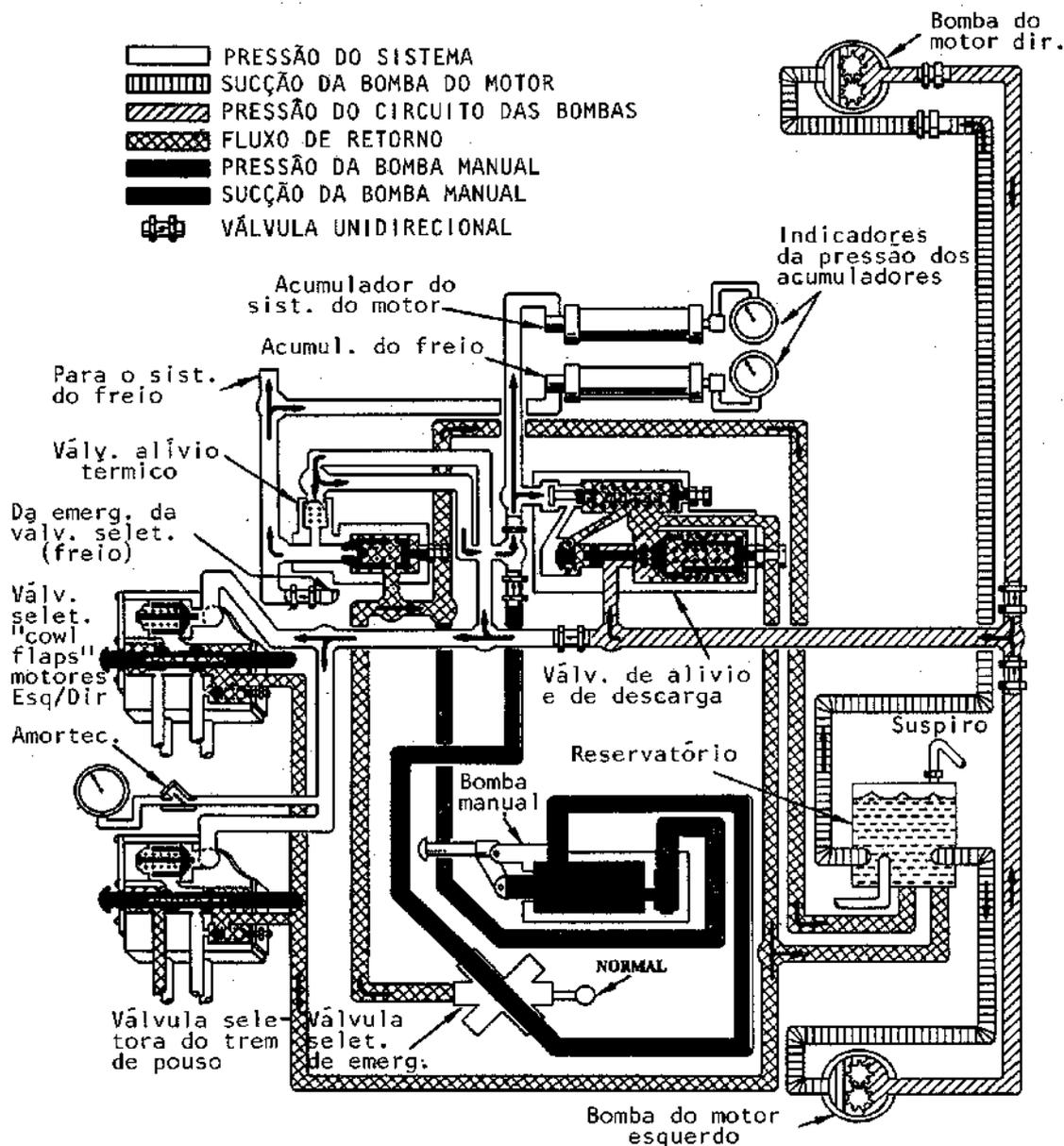


Figura 2-20 Esquema de sistema hidráulico de aeronave.

Diagramas esquemáticos desse tipo são usados, principalmente na solução de problemas. Note que cada linha é codificada para facilitar a leitura e seguir o fluxo.

Cada componente é identificado pelo nome, e sua localização no sistema pode ser verificada observando-se as linhas que entram e saem da unidade.

Ao seguir o fluxo do fluido através do sistema, pode ser visto que as bombas, impulsionadas pelo motor, recebem um suprimento de fluido vindo do reservatório. Uma válvula de cheque unidirecional é instalada em ambas as linhas de pressão das bombas direita e esquerda, de maneira que a falha de uma delas não faça com que a pressão da outra se torne ineficaz.

Os fluidos escoam para o lado aliviado do sistema, para a válvula de alívio; e, através da válvula de cheque, a qual manterá a pressão que estiver além deste ponto.

A pressão é então direcionada através de todas as linhas condutoras para cada válvula seletora, onde é checado se nenhuma unidade está sendo operada.

A pressão aumenta na linha de condução para a abertura de controle da válvula de descarga, e começa a carregar o sistema acumulador.

A pressão para carregar o acumulador do freio é conduzida, através da válvula de cheque incorporada. Na válvula de alívio térmico; isto

impede que a pressão retorne para o sistema geral.

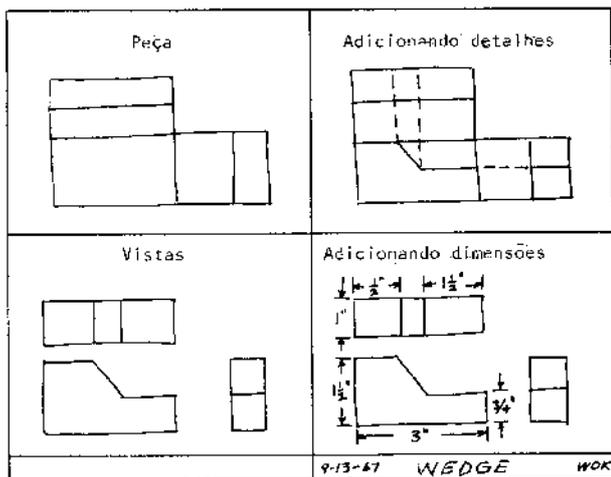


Figura 2-21 Etapas de um esboço.

Embora o acumulador do sistema geral inicie o carregamento ao mesmo tempo, ele não carregará tão rápido, porque o fluido passa através de uma válvula limitadora. A pressão do sistema geral sangrará para o sistema de freios, sempre que a pressão dos mesmos cair abaixo da do sistema.

Tão logo a pressão alcance o limite da válvula de alívio, esta abrirá ligeiramente. A pressão do sistema geral aumenta até alcançar o valor estabelecido como pressão operacional do sistema.

Neste ponto, através da linha de condução para o componente de controle da válvula de descarga, a pressão manterá a válvula de alívio e descarga completamente aberta.

A pressão armazenada no sistema pela válvula de cheque unidirecional mantém a válvula aberta para criar um circuito inativo, o qual prevalecerá até que alguma unidade do sistema hidráulico seja operada.

Diagramas esquemáticos, como diagramas de instalação, são usados extensivamente em manuais de aeronaves.

ESBOÇOS DE DESENHO

Um esboço é um simples desenho de rascunho, que é feito rapidamente e sem muito detalhe. Esboços podem ter muitas formas de uma simples apresentação fotográfica até uma projeção ortográfica com várias vistas.

Um esboço é freqüentemente desenhado para uso na fabricação de um componente substituído.

Como tal, um esboço deve prover todas as informações necessárias para aqueles que fabricarão a peça.

O mecânico não precisa ser um artista de renome. Entretanto, em muitas situações ele precisará preparar um desenho para apresentar uma idéia a um novo projeto, uma modificação ou um método de reparo. O meio termo na confecção do esboço é um excelente meio para conseguir isto.

As regras e práticas convencionais para a confecção de desenhos mecânicos são seguidas, de forma que, todas as vistas necessárias para representar um objeto com precisão são mostrados em suas devidas proporções.

Também é necessário observar as regras para o uso correto das linhas (figuras 2-15 e 2-16) e as dimensões.

Para fazer um esboço, primeiro determine quais as vistas necessárias para representar o objeto; então esboce estas vistas, usando linhas leves de construção.

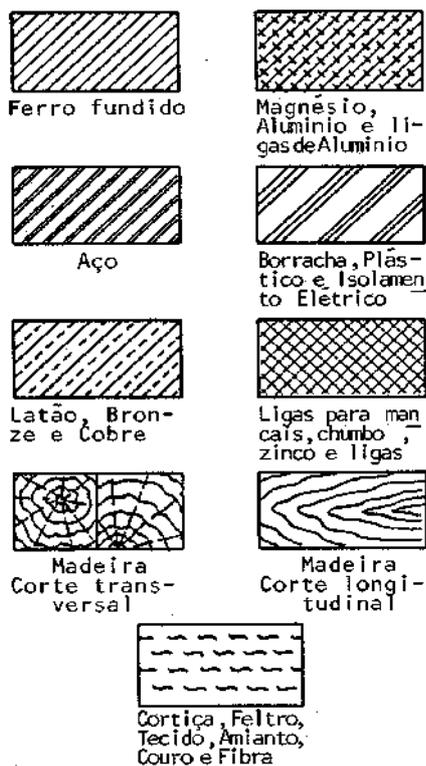


Figura 2-22 Símbolos dos materiais.

Em seguida complete os detalhes, escurecendo o contorno do objeto, e esboce as linhas de extensão e de cota.

Complete o desenho adicionando observações, dimensões, títulos, datas; e, quando necessário, o nome de quem fez o esboço. Os passos na confecção do esboço de um objeto são ilustrados na figura 2-21.

O grau de detalhamento do esboço dependerá do uso pretendido. Obviamente, um esboço usado somente para representar um objeto pictorialmente não necessita ser dimensionado.

Se um componente é para ser fabricado a partir do esboço, deve-se mostrar todos os detalhes necessários da construção.

SÍMBOLOS DE DESENHO

Os desenhos para um componente contêm uma grande quantidade de símbolos e convenções, representando sua forma e tipo de material. Os símbolos são a taquigrafia do desenho. Eles, graficamente representam as características do componente com uma quantidade mínima do desenho.

Símbolos de material

Símbolos de linhas de hachuras mostram o tipo de material do qual o componente deverá ser construído.

O material pode não ser indicado simbolicamente quando, sua exata especificação, precisar ser mostrada em outro lugar no desenho.

Neste caso, o símbolo mais fácil para representar ferro fundido é usado para a secção. A especificação do material é listada na nota de materiais ou indicada em uma nota.

A figura 2-22 ilustra alguns símbolos padronizados de materiais.

Símbolos das formas

Os símbolos podem ser usados com excelente vantagem, quando se deseja mostrar a forma de um objeto. Símbolos de formas típicas, usados em desenhos de aeronaves, são mostrados na figura 2-23. Símbolos de formas são, usualmente, mostrados em um desenho como uma seção rebatida ou removida.

Símbolos elétricos

Símbolos elétricos (figura 2-24), representam vários mecanismos elétricos, ao invés de um desenho real das unidades. Após ter-se aprendido os vários símbolos indicados, torna-se relativamente simples olhar um diagrama elétrico e determinar o que é cada unidade, qual sua função, e como é ligada ao sistema.

CUIDADOS COM INSTRUMENTOS DE DESENHO

Bons instrumentos de desenho são ferramentas de precisão caras. Um razoável cuidado dispensado a elas durante seu uso e armazenagem, prolongarão sua vida útil.

Régua "T", esquadros e régua graduadas, não devem ser usadas ou colocadas onde suas superfícies ou quinas possam ser danificadas.

Use a prancha de desenho somente para os propósitos pretendidos, e não de uma maneira que danifique a superfície de trabalho.

Compassos e canetas proporcionarão melhores resultados com menos aborrecimentos se possuírem forma correta, estiverem afiados e não forem danificados por manuseio descuidado. Guarde os instrumentos de desenho num lugar, onde, provavelmente, não serão danificados pelo contato com outras ferramentas ou equipamentos. Proteja as pontas do compasso, inserindo-os num pedaço de borracha macia ou material similar. Nunca guarde as canetas tinteiro sem primeiro limpá-las ou secá-las por completo.

MICROFILME

A prática de gravação de desenhos, de catálogos de peças e manutenção de revisão em microfilmes, foi introduzida nos últimos anos.

O microfilme, é um filme regular de 16 ou 35 mm. Uma vez que o filme de 35 mm é mais largo, ele proporciona uma melhor reprodução do desenho.

Dependendo do tamanho do desenho a ser reproduzido, um número variado de desenhos pode ser fotografado num rolo de filme de 35 mm. Para ler ou ver desenhos, ou manuais num rolo de filme, você precisa de um projetor portátil de 35 mm, uma leitora ou visor de microfilmes.

A vantagem do microfilme, é que diversos rolos, os quais representam talvez centenas de desenhos, requerem somente um pequeno espaço para armazenagem.

Também, alguém trabalhando numa aeronave, pode precisar se referir a uma área específica.

Ele pode colocar o rolo do microfilme no projetor, localizar o desenho ou informação desejada, e pesquisar a referida área.

Se ele tiver que estudar um detalhe do desenho, ou trabalhar com ele por um longo tempo, uma reprodução fotográfica ampliada pode ser feita usando-se o microfilme como um negativo.

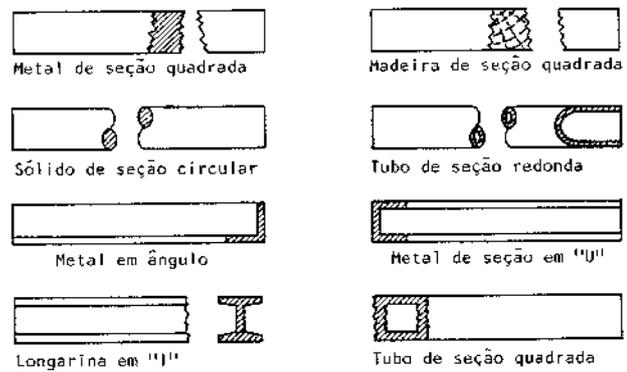


Figura 2-23 Símbolos das formas.

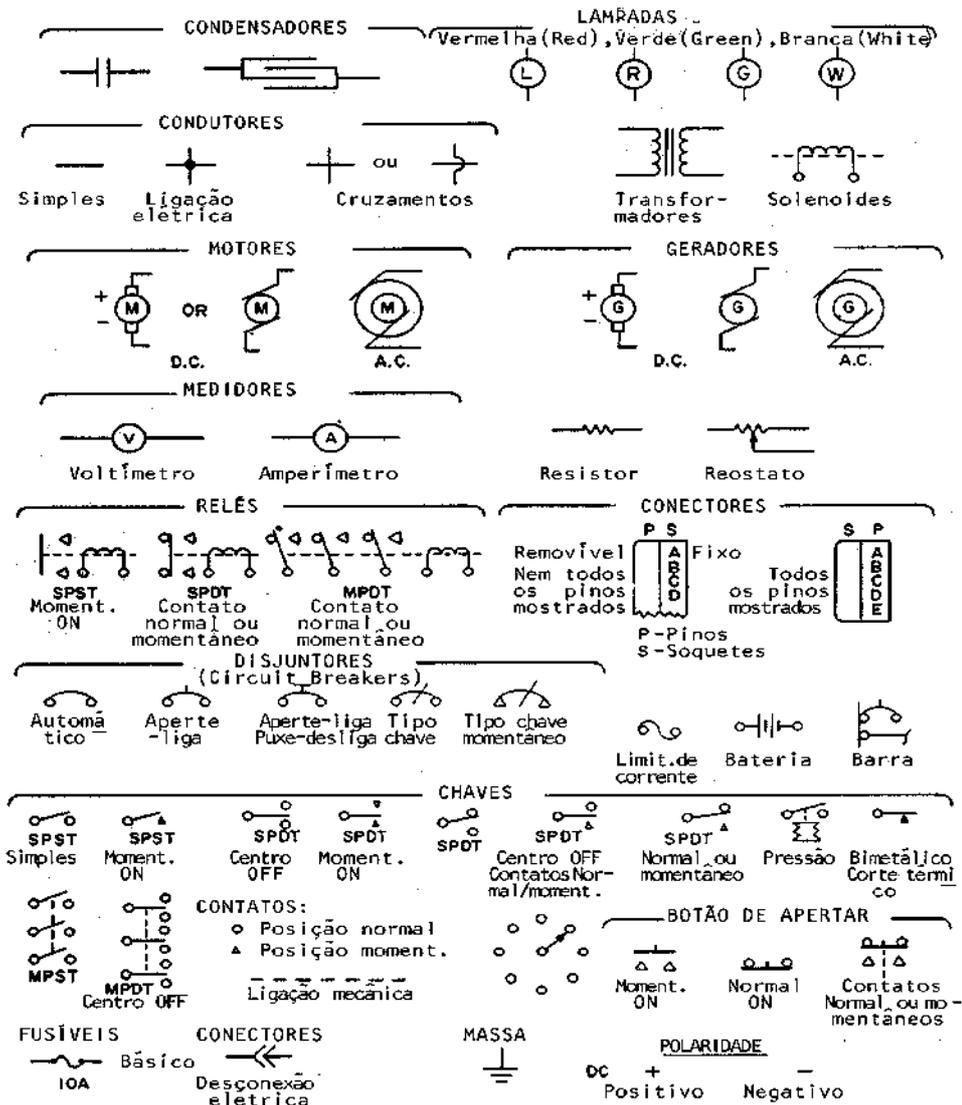


Figura 2-24 Símbolos elétricos.

O microfilme de desenho tem muitas outras utilidades e vantagens. No entanto, o microfilme não pode substituir o desenho original, especificamente onde os originais estão modificados e mantidos, atualizados por um longo tempo. Quando os desenhos são filmados em

rolos contínuos, correções podem ser feitas, cortando os desenhos a serem substituídos e emendando os revisados em seu lugar. Quando estas correções tornam-se numerosas, este procedimento torna-se impraticável e descartado,

em favor de uma nova filmagem de todos os desenhos relacionados.

Um método, o qual permite que as correções sejam feitas facilmente, é fotografar os desenhos, cortar o filme em slides, colocando-os dentro de envelopes e protetores transparentes e, arrumá-los em sequências, para que os desenhos desejados possam ser localizados rapidamente.

Com isto, desenhos de grande tamanho podem ser reproduzidos em moldes individuais ou slides, e guardados em envelopes de papel regular mantidos em arquivo comum. Quando colocado contra a luz, este largo microfilme pode ser lido a olho nu.

CAPÍTULO 3

PESO E BALANCEAMENTO DE AERONAVES

INTRODUÇÃO

A finalidade principal do controle do peso e balanceamento das aeronaves, é a segurança. Como finalidade secundária, podemos citar a maior eficiência durante o voo.

Um carregamento inadequado reduz a eficiência da aeronave com respeito ao teto, manobrabilidade, razão de subida, velocidade, e consumo de combustível; podendo ser motivo para interrupção de um voo, ou mesmo de seu cancelamento. Uma possível perda de vida e destruição de equipamento de valor, pode ser o resultado de uma estrutura sobrecarregada ou de uma modificação súbita na carga, com a consequente modificação nas características de voo.

O peso vazio e o correspondente centro de gravidade (c.g) de uma aeronave civil, deve ser determinado na época da homologação. O fabricante pode pesar a aeronave, ou pode preencher o registro de peso e balanceamento. O fabricante pode pesar apenas uma aeronave de cada dez que forem fabricadas; atribuindo às outras nove a média do peso e balanceamento, computado nas aeronaves efetivamente pesadas. A condição da aeronave no momento da determinação do peso vazio, deve ser tal, que possa ser facilmente repetida.

As aeronaves têm uma tendência de ganhar peso devido ao acúmulo de sujeira, graxa, etc., em áreas que não são facilmente acessíveis para lavagem e limpeza.

O peso ganho em dado período de tempo depende do funcionamento da aeronave, horas de voo, condições atmosféricas e o tipo de aeroporto em que ela opera. Por estes motivos é que se faz necessário refazer a pesagem da aeronave periodicamente. Nos casos de aeronaves usadas para transportes aéreos e taxi aéreo, este procedimento é exigido pelos regulamentos aeronáuticos. Esses regulamentos não exigem a pesagem periódica de aeronaves privadas. Normalmente elas são pesadas na época da homologação, ou depois de sofrerem qualquer alteração de grande porte, que possa afetar seu peso e balanceamento.

Embora a aeronave não precise ser pesada, ela deve ser carregada, de modo que os

limites máximos de peso e c.g. não sejam ultrapassados durante a operação.

As aeronaves de empresas aéreas (regulares ou não) que transportam passageiros ou carga, estão sujeitas a certos regulamentos, que exigem que seus proprietários apresentem provas de que elas estão sendo carregadas adequadamente, e que os limites de peso e balanceamento não estão sendo excedidos.

TEORIA DO PESO E BALANCEAMENTO

A teoria do peso e balanceamento é extremamente simples. Ela é a teoria da alavanca, que está em equilíbrio ou balanceada quando está em repouso sobre o fulcro, em posição nivelada.

A influência do peso depende diretamente de sua distância do fulcro. Para balancear a alavanca, o peso deve ser distribuído a fim de que o efeito de rotação seja o mesmo em ambos os lados do fulcro. De modo geral, o peso menor mais distante do fulcro tem o mesmo efeito que um peso maior mais próximo do fulcro. A distância entre o fulcro e qualquer objeto é chamado de braço da alavanca. O braço da alavanca multiplicado pelo peso do objeto nos dá o efeito de rotação em torno do fulcro. Este efeito de rotação é chamado de momento.

Similarmente, uma aeronave está balanceada se ela permanecer nivelada, suspensa por um ponto imaginário. Este ponto é a localização ideal de seu c.g. Uma aeronave balanceada não precisa permanecer perfeitamente nivelada, mas sua posição deve permanecer relativamente próxima desta. A obtenção deste balanceamento é apenas uma questão de se colocar as cargas, de modo que, o braço médio da aeronave carregada fique dentro da faixa do c.g.

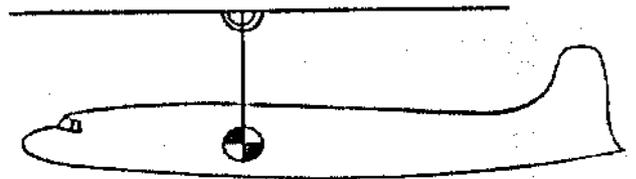


Figura 3-1 Aeronave Suspensa pelo seu Centro de Gravidade.

Comprovação matemática

O controle do peso e balanceamento consiste em comprovar matematicamente o peso, balanceamento e carregamento corretos dos limites especificados. Estes limites são apresentados nas especificações da aeronave. A instalação ou remoção de equipamentos modifica o peso vazio e o c.g. da aeronave; afetando, conseqüentemente, a carga útil na mesma proporção.

Os efeitos que tais modificações produzem no balanceamento de uma aeronave devem ser investigados, para que se possa determinar o efeito sobre as características de vôo de tal aeronave.

DADOS DE PESO E BALANCEAMENTO

Os dados de peso e balanceamento podem ser obtidos das fontes seguintes:

- a. especificações da aeronave;
- b. limitações operacionais da aeronave;
- c. manual de vôo da aeronave; e
- d. registro de peso e balanceamento da aeronave.

Em caso de perda dos registros de peso e balanceamento, e na impossibilidade de se obter uma cópia, a aeronave deve ser repesada. Novos registros de peso e balanceamento devem, então, ser computados e compilados.

TERMINOLOGIA

Ao se estudar o cômputo, controle e princípios de peso e balanceamento, é necessário conhecer o significado de alguns termos. A terminologia seguinte é usada na aplicação prática do controle de peso e balanceamento, devendo, portanto, ser estudada completamente.

Plano de Referência

O plano de referência é um plano vertical imaginário, a partir do qual, todas as medidas são tomadas horizontalmente para fins de balanceamento com a aeronave em atitude de vôo nivelado. Este plano está em ângulo reto em relação ao eixo longitudinal da aeronave.

Todas as localizações de equipamentos, tanques, compartimento de bagagem, assentos, motores, hélices, etc., estão incluídas nas especificações técnicas da aeronave, ou nas folhas de dados de certificação de tipo, com as respectivas distâncias em relação ao plano de referência.

Não existe uma regra fixa para a localização do plano de referência.

Na maioria dos casos ele está localizado no nariz da aeronave, ou em algum ponto da estrutura, estando em outros casos um pouco adiante do nariz da aeronave.

O fabricante pode localizar o plano de referência onde for melhor conveniente para a localização de equipamentos, medição, e computação do peso e balanceamento. A localização do plano de referência é indicada na maioria das especificações das aeronaves.

Em algumas aeronaves antigas, em que o plano de referência não é indicado, pode-se selecionar qualquer plano de referência que seja conveniente.

Entretanto, uma vez selecionado um plano de referência, ele deve ser adequadamente identificado, para que qualquer pessoa que leia os números não tenha dúvida quanto a sua localização. A figura 3-2 mostra algumas localizações de plano de referência usadas pelos fabricantes.

Braço

O Braço é a distância horizontal entre um equipamento e o plano de referência. O comprimento do braço é sempre dado ou medido em polegadas; e, exceto nos casos em que a localização seja exatamente sobre o plano de referência (0), ele é precedido do sinal positivo (+) ou negativo (-).

O sinal positivo indica uma posição para trás do plano de referência, e o sinal negativo indica uma posição adiante do plano de referência.

Se o fabricante escolher um plano de referência que esteja na posição mais dianteira da aeronave (ou alguma distância adiante da aeronave), todos os braços serão positivos.

A localização do plano de referência em qualquer outro ponto da aeronave resultará em alguns braços positivos (ou para trás do plano de referência), e outros braços negativos (ou adiante do plano de referência).

O braço de um item, normalmente é apresentado entre parênteses, imediatamente depois do nome ou peso do item, nas especificações da aeronave. Por exemplo: assento (+23). Quando tal informação não é fornecida, ela deve ser obtida, fazendo-se a medição.

A figura 3-3 apresenta uma ilustração do plano de referência, braço, c.g. e os limites dianteiro e traseiro do c.g.

Momento

O momento é o resultado da multiplicação de um peso pelo seu braço. O momento de um item em torno do plano de referência é obtido pela multiplicação do peso deste item, pela distância horizontal, entre este item e o plano de referência.

Da mesma forma, o momento de um item em torno do c.g. pode ser computado pela multiplicação de seu peso, e pela distância horizontal entre este item e o c.g.

Um peso de 20 libras localizado a 30 polegadas de distância do plano de referência teria um momento de 20×30 ou 600/lb.pol.

O sinal positivo ou negativo, que precede o valor de 600/lb.pol., vai depender de sua localização em relação ao plano de referência, ou de se tratar de remoção ao plano de referência, ou de se tratar de remoção ou instalação de item.

Qualquer peso adicionado à aeronave, em qualquer lado do plano de referência será positivo.

Qualquer peso removido será negativo. Ao se fazer a multiplicação de um peso por um braço, o momento resultante será positivo se os sinais forem iguais, ou negativo se os sinais forem desiguais.

Centro de Gravidade

O c.g. de uma aeronave é o ponto sobre o qual os momentos de nariz pesado, ou de cauda pesada, são exatamente iguais em magnitude.

Uma aeronave suspensa por este ponto, não deve ter tendência de rotação para qualquer dos lados do nariz ou da cauda. Este é o ponto no qual o peso da aeronave ou de qualquer objeto está concentrado.

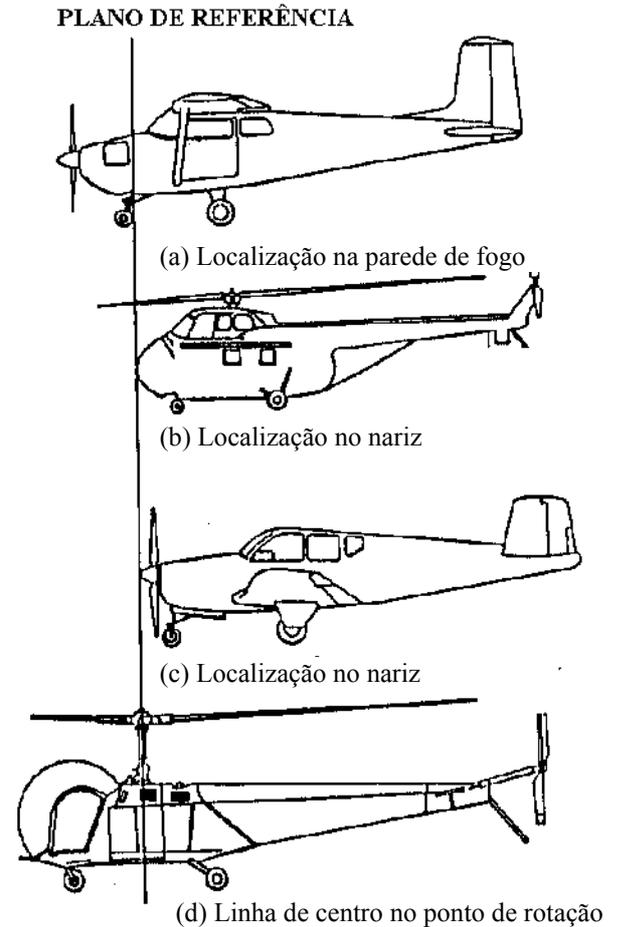


Figura 3-2 Várias localizações do Plano de Referência

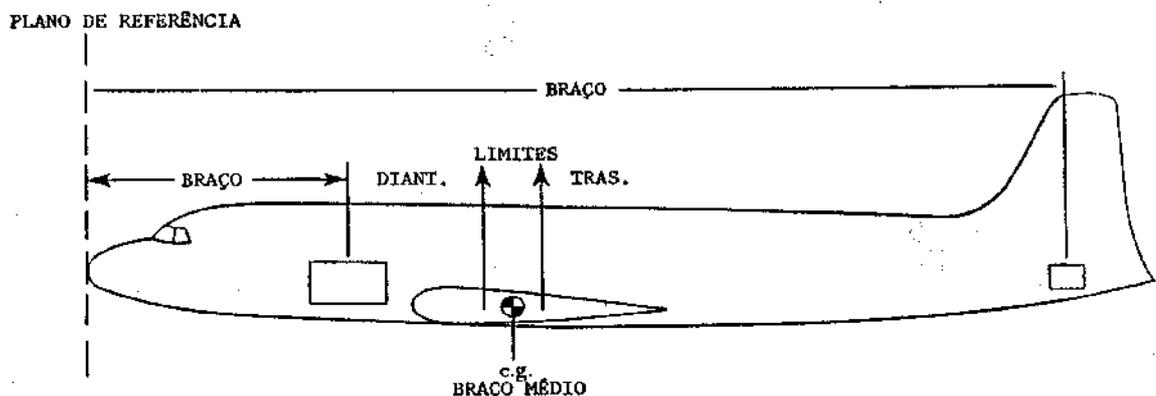


Figura 3-3 Plano de Referência, Braço, c.g. e Limites do c.g.

Peso Máximo

O peso máximo é o permitido de uma aeronave e seu conteúdo, e está indicado nas especificações. Para muitas aeronaves, existem variações no peso máximo permissível, dependendo da finalidade e condições em que deve ser operada.

Por exemplo, uma certa aeronave pode ter um peso bruto máximo permissível de 2750 lbs, quando voando em categoria normal; mas quando voando na categoria de utilitária, a mesma aeronave poderá ter um peso bruto máximo permissível de 2175 libras.

Peso Vazio

O peso vazio de uma aeronave inclui todos os equipamentos operacionais que possuem localização fixa e, que estejam realmente instalados na aeronave. Este peso inclui o peso da célula, grupo motopropulsor, equipamentos necessários, lastro fixo, fluido hidráulico, óleo e combustível residuais.

Óleo e combustível residuais são os fluidos que não são normalmente drenados, devido à sua localização nas linhas ou nos tanques e reservatórios. As informações referentes aos fluidos residuais nos sistemas da aeronave e, que devem ser incluídas no peso vazio, serão indicadas na Especificação da Aeronave.

Carga Útil

A carga útil da aeronave é determinada pela subtração do peso vazio do peso bruto máximo permissível. Para as aeronaves homologadas nas categorias normal e utilitária, deve haver duas cargas úteis nos registros de peso e balanceamento.

Uma aeronave com um peso vazio de 900 libras, terá uma carga útil de 850 libras se o peso máximo permissível para a categoria normal for de 1750 libras. Quando a aeronave for operada na categoria de utilitária, o peso bruto máximo pode ser reduzido para 1500 libras, com um decréscimo correspondente na carga útil para 600 libras. Algumas aeronaves possuem a mesma carga útil, independentemente da categoria em que foram homologadas.

A carga útil consiste do máximo de óleo, combustível, bagagem, piloto, co-piloto e membros da tripulação. A redução no peso de um

item, quando possível, poderá ser necessária para que a aeronave permaneça dentro do peso máximo permitido para a categoria em que estiver operando. A determinação destes pesos é chamada de verificação do peso.

Centro de Gravidade do Peso Vazio

O centro de gravidade do peso vazio, abreviado por CGPV, é o c.g. de uma aeronave em sua condição de peso vazio. Ele é parte essencial do registro de peso e balanceamento da aeronave. Por si, ele não tem qualquer utilidade, mas serve como base para outras computações, e não, como uma indicação do que será o c.g. carregado.

O CGPV é computado quando da pesagem da aeronave, utilizando-se fórmulas específicas para aeronaves com trem de nariz e para aeronaves com bequilha.

Passeio do Centro de Gravidade do Peso Vazio

O passeio do CGPV é uma variação permissível dentro dos limites do c.g. Quando o CGPV da aeronave cai dentro desta faixa, fica impossível exceder os limites do CGPV utilizando-se os arranjos de carregamento da especificação padrão. Nem todas as aeronaves possuem estas faixas especificadas em suas Folhas de Dados de Certificação de Tipo. Quando indicada, a faixa somente é válida se a aeronave for carregada conforme a especificação padrão. A instalação de itens não listados na especificação padrão não permite a utilização desta faixa.

Passeio do Centro de Gravidade Operacional

O passeio do c.g. operacional é a distância compreendida entre os limites dianteiro e traseiro do c.g., indicado na Especificação da Aeronave ou nas Folhas de Dados de Certificação de Tipo. Estes limites, determinados durante as fases de projeto e fabricação, são posições extremas do c.g. carregado permissíveis, aplicáveis dentro dos regulamentos que controlam o projeto da aeronave. Estes limites são apresentados em porcentagem da CAM (Corda Aerodinâmica Média) ou em polegadas de distância do plano de referência.

A localização do c.g. da aeronave carregada deve permanecer dentro destes limites em

qualquer tempo. A aeronave apresenta instruções detalhadas para a determinação da distribuição de carga através de letreiros, inscrições, cartas de carregamento e reguladores de carga.

Corda Aerodinâmica Média - CAM

CAM é a corda média da asa. A secção transversal da asa, (do bordo de ataque ao bordo de fuga é uma secção de aerofólio).

Uma corda é uma linha imaginária traçada paralela ao aerofólio, do bordo de ataque ao bordo de fuga da secção, a CAM de uma asa de corda constante seria o mesmo que a corda real da asa.

Qualquer desvio do plano retangular da asa afetará o comprimento da CAM e a distância resultante entre o bordo de ataque da CAM e o bordo de ataque da asa da aeronave.

A figura 3-4 mostra a CAM para uma aeronave com asa enflechada.

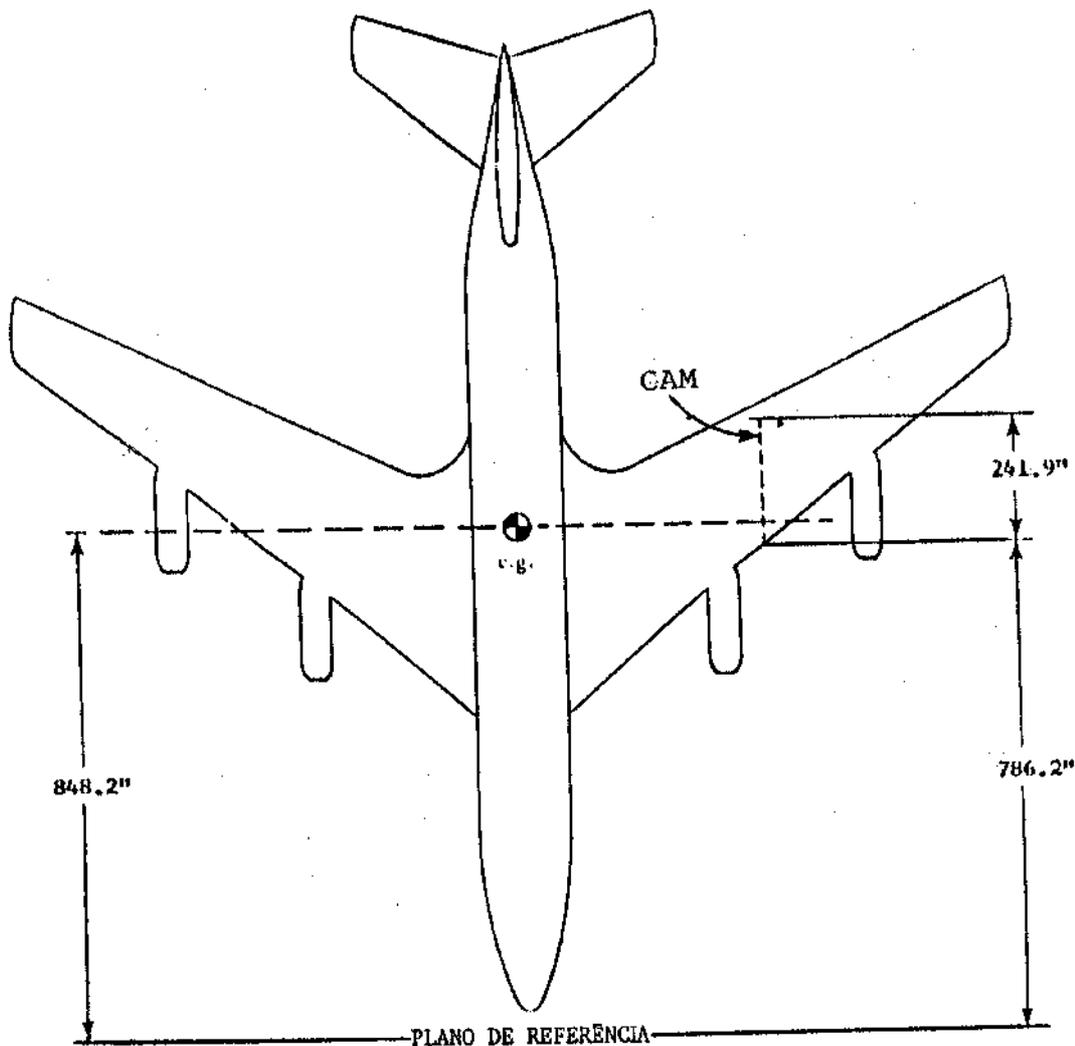


Figura 3-4 O c.g. mostrado em relação à corda aerodinâmica média.

O c.g. da aeronave normalmente é colocado na posição dianteira máxima do centro de pressão da CAM, para que se obtenha a estabilidade desejada. Devido à relação existente entre a localização do c.g. e os momentos produzidos pelas forças aerodinâmicas, sendo a sus-

tentação o maior deles, a localização do c.g. normalmente é expresso em relação à asa. Isto é feito especificando-se o c.g. em porcentagem da CAM da asa.

A localização da CAM, em relação ao plano de referência, é fornecida nas Especifica-

ções da Aeronave ou nas Folhas de Dados de Certificação de Tipo; no Registro de Peso e Balanceamento; ou no Manual de Vôo da Aeronave.

Computa-se a localização do c.g. em porcentagem da CAM como segue:

- (1) Encontra-se a diferença existente na distância entre o ponto de localização do c.g. do peso vazio e o plano de referência; e a distância entre o bordo de ataque da CAM e o plano de referência.
- (2) Divide-se a diferença pelo comprimento da CAM.
- (3) Multiplica-se o resultado por 100.
- (4) O resultado final é então expresso em porcentagem.

A figura 3-5 apresenta um exemplo de problema que utiliza a equação para o cômputo da porcentagem da CAM.

Meios de Nivelamento da Aeronave

Existem pontos de referência para o nivelamento da aeronave no solo. Estes pontos são determinados pelo fabricante e são indicados nas Especificações da Aeronave.

O procedimento mais comum de nivelamento é executado, colocando-se um nível de bolha em pontos determinados na estrutura da aeronave.

Algumas aeronaves possuem escalas especiais de nivelamento, construídas na estrutura da célula.

Essas escalas são usadas com um prumo para nivelar a aeronave longitudinal e lateralmente.

Pontos de Pesagem

Ao se fazer a pesagem de uma aeronave, o ponto sobre a balança, na qual o peso está concentrado, é chamado de ponto de pesagem.

Ao se fazer a pesagem de aeronaves leves e médias, as rodas são normalmente colocadas sobre as balanças.

Isto significa que o ponto de pesagem é de fato o mesmo ponto obtido ao se esticar uma linha verticalmente ao longo da linha de centro do eixo, até atingir a balança.

Outros pontos estruturais, capazes de suportar a aeronave, tais como os pontos de apoio dos macacos na longarina principal, também podem ser usados se o peso da aeronave estiver apoiado nos pontos de apoio dos macacos.

Os pontos de pesagem devem ser indicados com clareza nos registros de peso e balanceamento da aeronave.

Peso de Combustível Zero

O peso de Combustível Zero é o peso máximo permissível de uma aeronave carregada sem combustível. No peso de combustível está incluído o peso da carga, dos passageiros e da tripulação. Todos os pesos que excederem o peso de combustível zero, devem consistir de combustível utilizável.

Combustível Mínimo

O termo combustível mínimo, não deve ser interpretado como a quantidade mínima de combustível necessária para voar uma aeronave. Combustível mínimo, tal como aplicado em peso e balanceamento, é a quantidade que deve ser apresentada no relatório de peso e balanceamento, quando a aeronave é carregada para uma verificação de condição extrema.

Carga de combustível mínimo, para uma aeronave pequena, com motor convencional, para fins de balanceamento, é baseada na potência do motor. Ela é calculada em termos de potência máxima, exceto para decolagem, e é utilizada quando a carga de combustível tem que ser reduzida para a obtenção do carregamento mais crítico, no limite do c.g., que estiver sendo investigado. Duas fórmulas podem ser utilizadas:
Fórmula 1:

Combustível mínimo = 1/12 galões por cavalo de potência.

$hp \times 1/12 \times 6 \text{ lbs.}$

$1200 \times 1/12 \times 6 = 600 \text{ libras de combustível.}$

Fórmula 2:

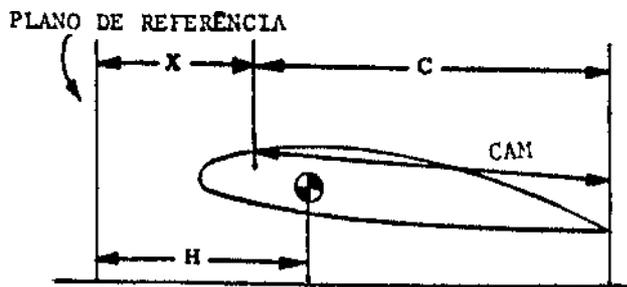
Combustível mínimo = 1/2 lb. por cavalo de potência do motor.

$hp \times 1/2 = \text{combustível mínimo.}$

$1200 \times 1/2 = 600 \text{ libras de combustível.}$

Essa será a menor quantidade de libras de combustível, necessária para a verificação do peso dianteiro ou traseiro.

Para as aeronaves com motor a turbina, a carga de combustível mínimo é especificada pelo fabricante da aeronave.



H = Distância entre o plano de referência e o CGPV = 170 polegadas

X = Distância entre o plano de referência e o bordo de ataque da CAM = 150 polegadas.

C = Comprimento da CAM = 80 polegadas.

c.g. em porcentagem da CAM:

$$\frac{H-X}{C} \times 100\% \text{ da CAM} = \frac{170-150}{80} \times 100 =$$

$$\frac{20}{80} \times 100 = 25\%$$

Figura 3-5 Cálculo da Porcentagem da CAM.

A localização do tanque de combustível, em relação ao limite do c.g. afetado pela computação, determina a utilização do combustível mínimo.

Por exemplo, ao se fazer uma verificação do peso dianteiro, se os tanques de combustíveis estiverem localizados adiante do limite dianteiro do c.g., eles são considerados como se estivessem cheios.

Se eles estiverem localizados para trás do limite dianteiro do c.g., eles devem ser considerados como se estivessem vazios.

Se a quantidade mínima de combustível necessária para uma certa aeronave exceder a capacidade dos tanques localizados, adiante do limite dianteiro do c.g., o excesso de combustível deverá ser colocado nos tanques que estiverem para trás do limite dianteiro do c.g.

Ao se fazer a verificação de um peso dianteiro, as condições de carregamento de combustível são opostas àquelas usadas para a verificação dianteira.

Óleo Total

O óleo total é a quantidade de óleo, apresentada como a capacidade de óleo nas Especificações da Aeronave.

Ao se fazer a pesagem de uma aeronave, o tanque de óleo poderá conter a quantidade de galões de óleo especificada, ou pode ser drenado.

Ao se fazer a pesagem de uma aeronave com o tanque de óleo cheio, o peso do óleo deve ser subtraído da leitura obtida para se chegar ao peso vazio real.

O relatório de peso e balanceamento deve indicar se os pesos incluem o óleo ou se o óleo foi drenado.

Tara

A tara inclui os pesos de todos os itens extras; tais como macacos e calços, sobre a plataforma da balança de pesagem; exceto o peso do item que estiver sendo pesado.

O peso desses itens, quando incluídos na leitura da balança, deve ser deduzido para se obter o peso real da aeronave.

PROCEDIMENTOS DE PESAGEM DA AERONAVE

Antes de iniciar o estudo do procedimento de pesagem da aeronave, ou antes de tentar fazer a pesagem real de uma aeronave, é necessário familiarizar-se com as informações de peso e balanceamento existentes nas Especificação da Aeronave ou nas folhas de Dados de Certificação de Tipo.

A especificação para aeronave EMB-200 (IPANEMA), foi reproduzida integralmente na figura 3-6.

Alguns itens precisam de explicação; outros são auto-explicativos.

A designação "L1P" é lida como "Avião Monomotor Convencional", conforme classificação baseada na tabela abaixo:

A - Anfíbio
L - Avião
S - Hidroavião
H - Helicóptero
LO e LOD - Planador

1 - Monomotor
2 - Bimotor
3 - Trimotor
4 - Quadrimotor

P - Convencional
T - Turboélice
J - Jato

Uma vez que o plano de referência e os meios de nivelamento estão diretamente ligados ao peso e balanceamento, eles devem ficar entre os primeiros itens consultados ao se fazer o planejamento da operação de balanceamento.

Embora a localização e o tipo de trem de pouso não sejam mostrados na figura 3-6, estas informações são apresentadas na Especificação da Aeronave, nas Folhas de Dados de Certificação de Tipo e no Manual de Manutenção.

A localização das rodas tem um significado importante, uma vez que possa ser usado como uma duplicação da verificação das medidas realmente tomadas, ao se fazer a pesagem.

Pesagem da Aeronave

A pesagem de uma aeronave é uma fase muito importante de sua manutenção e, portanto, deve ser executada com precisão. Uma preparação bem feita economiza tempo e evita erros.

Para começar, monte todos os equipamentos tais como:

1. Balanças, equipamentos de içamento, macacos e equipamentos de nivelamento.
2. Calços e sacos de areia para manutenção da aeronave sobre as balanças.
3. Régua, nível de bolha, prumos, giz e uma trena.

4. Especificações aplicáveis da aeronave; e os formulários de computação de peso e balanceamento.

Se possível, a aeronave deve ser pesada em um hangar fechado, onde não haja corrente de ar que possa causar leituras incorretas das balanças.

A pesagem ao ar livre é permissível, se o vento e a umidade estiverem em níveis negligenciáveis.

Preparação da Aeronave para Pesagem

Devemos drenar o sistema de combustível até que a indicação de quantidade seja zero, com a aeronave em atitude nivelada.

Se for deixada qualquer quantidade de combustível nos tanques, o peso da aeronave será maior e todos os demais cálculos de carga útil e de balanceamento serão afetados.

Somente o combustível não utilizável (combustível residual) é considerado como sendo parte do peso vazio da aeronave.

As tampas dos tanques de combustível devem estar colocadas em seus lugares, ou tão próximo quanto possível deles, de modo que a distribuição de peso seja correta.

Em casos especiais a aeronave pode ser pesada com os tanques cheios de combustível, desde que se disponha de meios a determinar o peso exato do combustível.

Sempre é bom consultar as instruções do fabricante da aeronave para saber se ela deve ser pesada com os tanques de combustível cheios ou vazios.

Se possível, drenar todo o óleo do reservatório.

O sistema deve ser drenado com todas as válvulas de dreno abertas. Nestas condições, a quantidade de óleo que permanecer nos tanques, nas linhas ou no motor, será considerada como óleo residual e, será incluída no peso vazio.

Se a drenagem for impraticável, os tanques de óleo devem ser completamente cheios.

A posição de itens, tais como spoilers, slats, flapes e sistemas de rotor de helicópteros é um fator importante na pesagem das aeronaves.

Não esquecer de consultar sempre as instruções do fabricante para se determinar a posição correta desses itens

**MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA
DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL**

ESPECIFICAÇÃO DE AERONAVE Nº EA - 7104

Detentor do CHT:

INSTRUTOR AERONÁUTICA NEIVA S/A

Rua Nossa Senhora de Fátima, 360 - Caixa Postal 10 - 18600 - BOTUCATU – SP

<p>EA - 7104 -5 FOLHA 1 NEIVA</p> <p>EMB-200 EMB-200A EMB-201 EMB-201A EMB-202 NOVEMBRO 1992</p>
--

MODELO EMB-200 (IPANEMA), HOMOLOGADO EM DEZEMBRO DE 1971.

MOTOR - 1 Lycoming 0-540-H2B5d

COMBUSTÍVEL - Gasolina de aviação, mínimo de 100/130 octanas.

LIMITES DO MOTOR - 260 BHP a 2700 RPM (N.M.) para todas as operações.

HÉLICES E SEUS LIMITES - 1 Mc Cauley 1A-200/FA8452. Diâmetro: 2130mm (não é permitida redução no diâmetro).

PASSEIO DO C.G. VAZIO - Não há.

PESO MÁXIMO - 1550 kgf

NÚMERO DE ASSENTOS - 1 (entre + 1400mm e + 1600 mm).

CARGA MÁXIMA NO TANQUE DE PRODUTOS - 550 kgf a + 252mm.

LIMITES DE OPERAÇÃO - (Velocidades calibradas). Velocidade nunca exceder (Vne): 360 km/h (165 nós) (190 mph). Velocidade cruzeiro estrutural máxima (Vno): 241 km/h (130 nós) (150 mph). Velocidade máxima de manobra (VA): 225 km/h (121 nós) (140 mph). Velocidade máxima com flapes abaixados (Vfe): 160 km/h (87 nós) (99 mph).

PASSEIO DO C.G. - + 272mm a + 328 mm para 1550kgf. + 272mm a + 352mm para 950 kgf. Variação linear os pontos considerados.

CAPACIDADE DE COMBUSTÍVEL - 230 litros (2 tanques de 115 litros a + 284mm).

CAPACIDADE DE ÓLEO - 11,35 litros no reservatório do motor (- 1380 mm).

ALTITUDE MÁXIMA DE OPERAÇÃO - 3500 M

NÚMERO DE SÉRIE DO FABRICANTE - 200001 até 200049.

Figura 3-6 Exemplo de Especificação de Aeronave.

A menos que seja especificado de outra forma, nas Especificações da Aeronave ou nas instruções do Fabricante, os reservatórios e sistemas hidráulicos devem estar cheios.

Os reservatórios de água potável e os tanques dos lavatórios devem ser drenados; e os tanques de óleo dos dispositivos de acionamento de velocidade constante devem ser enchidos. A verificação da aeronave deve ser feita a fim de nos certificarmos de que todos os itens incluídos

no peso vazio homologado foram instalados no lugar correto. Também devemos remover os itens que não são normalmente levados em vôo, e verificar o compartimento de bagagem para que nenhum objeto permaneça em seu interior.

Reinstalar todas as portas de acesso, tampas dos reservatórios de óleo e dos tanques de combustível, tampas da caixa de junção, capôs, portas, saídas de emergência e outras peças que tenham sido removidas.

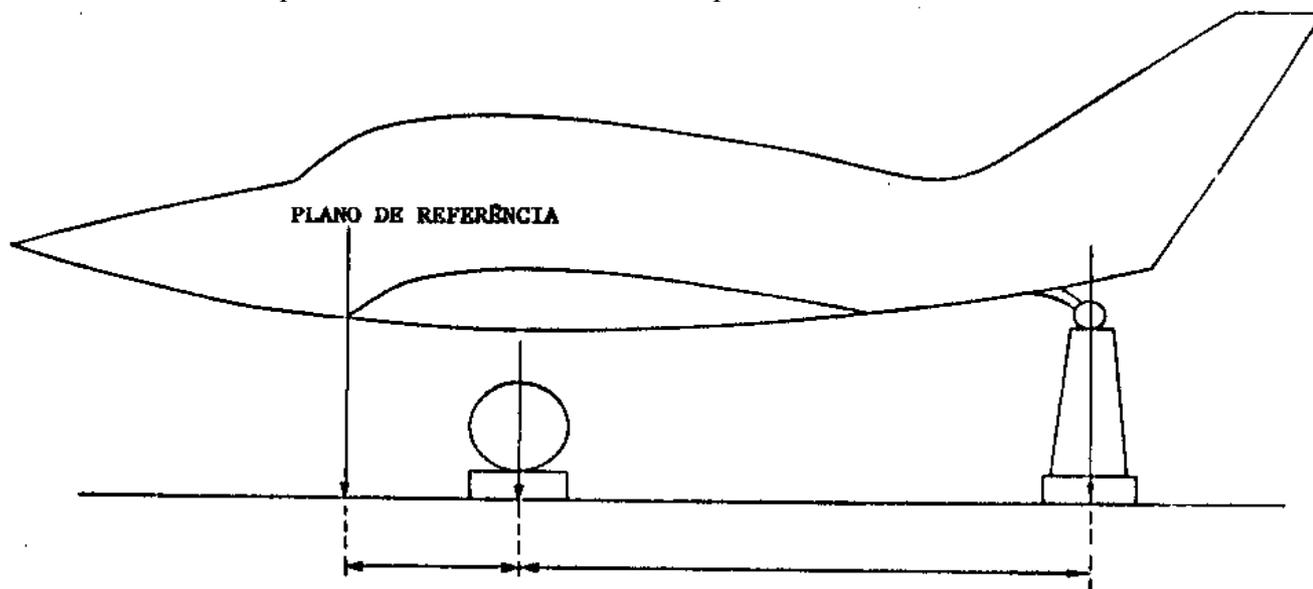


Figura 3-7 Distância entre o Ponto de Pesagem Principal, Plano de Referência e o Ponto de Pesagem Traseiro.

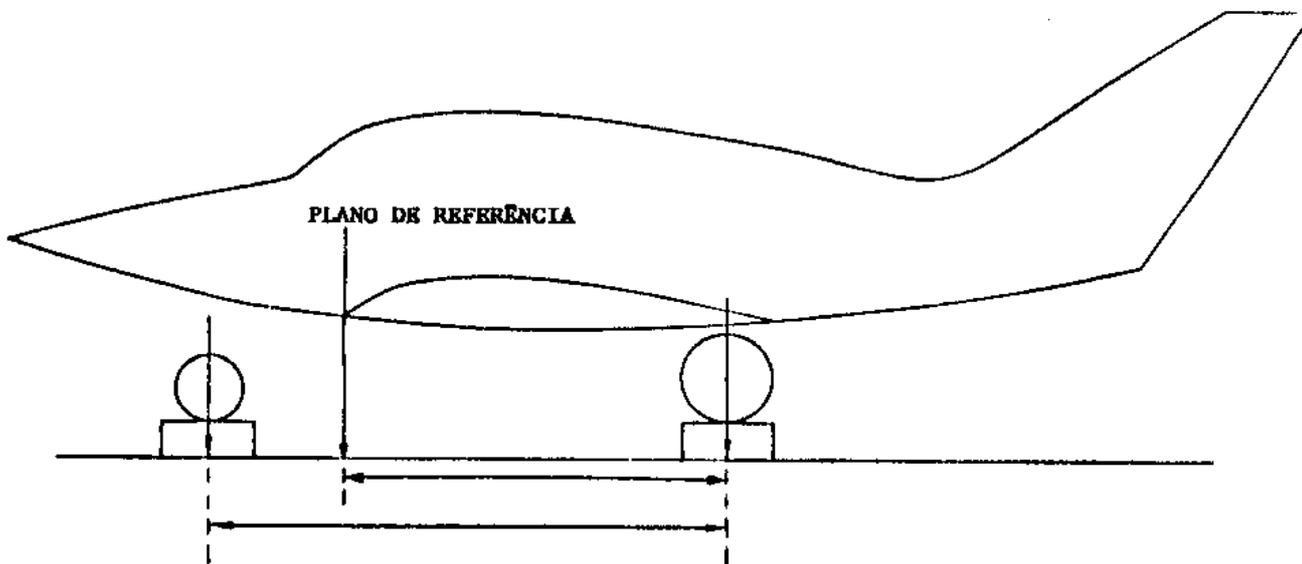


Figura 3-8 Distância entre o Ponto de Pesagem Principal, Plano de Referência e o Ponto de Pesagem Localizado no Nariz

Todas as portas, janelas e capotas corre-danças devem estar em sua posição normal de vôo. Remova da aeronave qualquer excesso de sujeira, óleo, graxa e umidade.

Calibre adequadamente zere e utilize as balanças de pesagem conforme as instruções do fabricante. Algumas aeronaves são pesadas com as rodas fora das balanças, mas com as balanças

colocadas nos pontos de colocação dos macacos, ou em pontos especiais de pesagem.

Independentemente das previsões existentes para colocação da aeronave sobre macacos ou sobre balanças, todo cuidado para que ela não caia, é imprescindível, senão assim a aeronave ou o equipamento ficarão danificados.

Ao se fazer a pesagem da aeronave com as rodas colocadas sobre as balanças, freios soltos para reduzir a possibilidade de uma leitura incorreta provocada por cargas laterais sobre as balanças.

Todas as aeronaves possuem pontos ou alças de nivelamento, e todo cuidado deve ser tomado para se fazer o nivelamento da aeronave, especialmente ao longo de seu eixo longitudinal.

Nas aeronaves leves de asa fixa, o nivelamento lateral não é tão crítico quanto nas aeronaves mais pesadas. Entretanto, deve-se fazer um esforço para nivelar os aviões leves em torno de seu eixo lateral. A precisão do nivelamento longitudinal é de suma importância.

Medições

A distância entre o plano de referência e a linha de centro do ponto de pesagem principal; e a distância entre o ponto de pesagem principal; e a linha de centro do ponto de pesagem da cauda (ou do nariz), devem ser conhecidas para que se possa determinar o c.g., relativo ao ponto de pesagem principal e o plano de referência.

Um exemplo de medição da distância entre o ponto de pesagem principal e o plano de referência; e da distância entre o ponto de pesagem principal e o ponto de pesagem da cauda; é apresentado na figura 3-7. A figura 3-8 apresenta um exemplo de medição das distâncias entre o ponto de pesagem principal e o plano de referência; e o ponto de pesagem principal e o trem de nariz.

Essas distâncias podem ser calculadas, usando-se as informações fornecidas nas Especificações da Aeronave ou nas Folhas de Dados de Certificação de Tipo, entretanto sempre será necessário determiná-las através de medições.

Depois que a aeronave for colocada sobre as balanças, e nivelada (Fig. 3-9), coloca-se os prumos no plano de referência no ponto da pesagem principal e no ponto de pesagem de cauda, ou no nariz, de modo que as pontas dos prumos toquem o piso.

Uma marca de giz no piso, no ponto de contato deve ser feita. Se desejável, pode-se traçar uma linha com giz, unindo as marcas que foram feitas. Isto fornecerá um padrão claro das distâncias dos pontos de pesagem e suas localizações em relação ao plano de referência.

Registramos os pesos indicados em cada balança, e fazemos as medições necessárias com a aeronave nivelada. Depois que todos os pesos e distâncias forem medidos e registrados, a aeronave pode ser removida das balanças.

Pesar a tara, e deduzir seu peso da leitura da balança em cada ponto de pesagem, onde ela esteja envolvida.

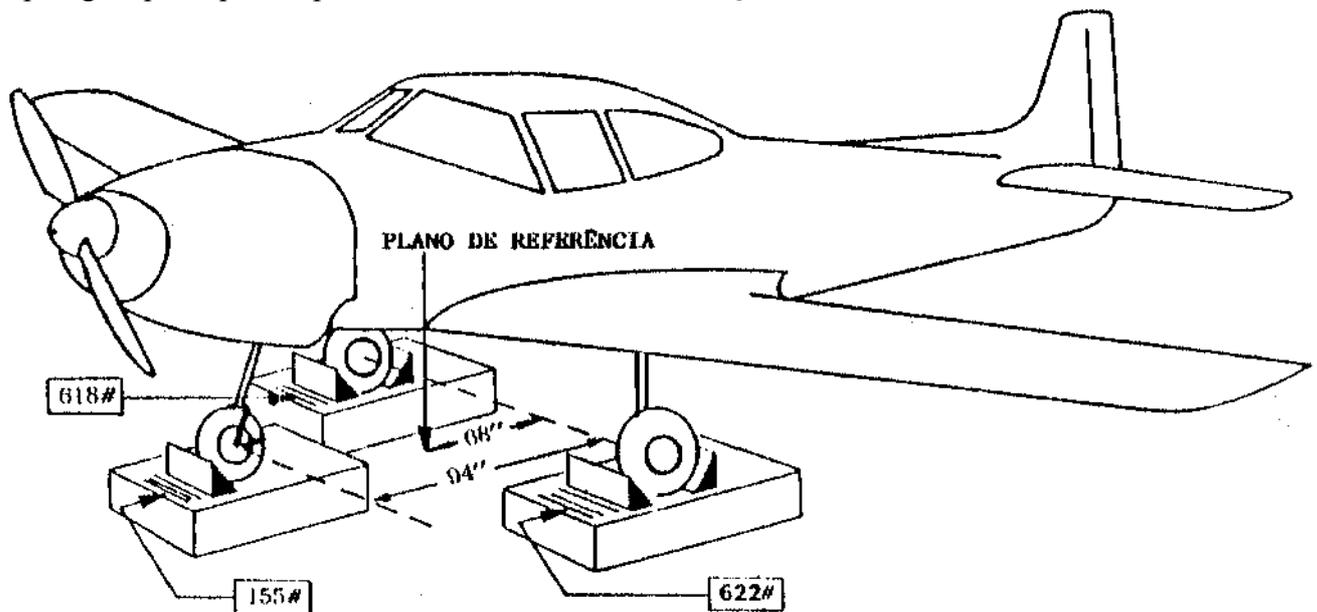


Figura 3-9 Pesagem de uma aeronave com a utilização de Balanças de Plataforma.

Cômputo do Balanceamento

Para se obter o peso bruto e a localização do c.g. de uma aeronave carregada, primeiramente determinamos o peso vazio e a localização do CGPV.

Depois que estes dados são conhecidos, fica mais fácil o cômputo do efeito do; combustível, passageiros, carga e dos pesos consumíveis; na medida em que eles forem adicionados. Isto é feito, somando todos os pesos e momentos destes itens adicionais, e refazendo o cálculo do c.g. para a aeronave carregada.

As leituras das balanças e as medidas registradas no formulário de exemplo apresentado na figura 3-10 fornecem uma base para os exemplos de cômputo de peso vazio e c.g. do peso vazio.

Peso Vazio

O peso vazio de uma aeronave é determinado, adicionando-se o peso líquido em cada ponto de pesagem. O peso líquido é a leitura real da balança menos a tara.

Ponto de Balança de Pesagem	Leitura da Balança	Tara (lbs)	Peso Líquido (lbs)
Trem Principal Esquerdo	622,00	-5,00	617,00
Trem Principal Direito	618,00	-4,00	614,00
Trem de Nariz	155,00	-3,00	152,00
Total			1.383,00

Isto nos dá o peso da aeronave, tal como pesado.

C.G. do Peso Vazio

A localização do C.G. é determinada através do uso progressivo de fórmulas. Primeiramente calculamos os momentos totais através da fórmula seguinte:

$$\text{Momento} = \text{Braço} \times \text{Peso}$$

Ponto de Pesagem	Peso Líquido (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lb.pol.)
Trem Principal Esquerdo	617,00	68"	41956,0
Trem Principal Direito	614,00	68"	41752,0
Trem de Nariz	152,00	-26"	-3592,0
Total	1383,0		79756,0

Depois dividimos a soma dos momentos pelo total de pesos envolvidos:

$$c.g. = \frac{\text{Momento total}}{\text{Peso total}} = \frac{79756,0}{1383} = 57,67 \text{ pol.}$$

Conseqüentemente, o c.g., tal como pesado, está a 57,67 polegadas do plano de referência.

Uma vez que a aeronave foi pesada com os tanques de óleo cheios, será necessário remover o óleo para se obter o peso vazio e c.g. do peso vazio.

ITEM	Peso Líquido	Braço	Momento
Aeronave total como pesada, menos 8 galões de óleo a 7,5 libras por galão.	1383,0 -60,0	57,67 -30,0	79756,0 1800,0
Peso vazio e momento da aeronave	1323,0		81556,0

Usando novamente a fórmula:

$$c.g. = \frac{\text{Momento total}}{\text{Peso total}} = \frac{81556,0}{1323} = 61,64 \text{ pol.}$$

O CGPV está localizado a 61,64 polegadas para trás do plano de referência

FORMULÁRIO DE PESAGEM

FABRICANTE: ROTARY MODELO: A SÉRIE: 0242 Nº 411

LOCALIZAÇÃO DO PLANO DE REFERÊNCIA - Bordo de Ataque da Asa na raiz.

Aeronave pesada com total de óleo.

1. O ponto de pesagem principal está localizado (-..." adiante) (+68" para trás) do plano de referência.
2. O ponto de pesagem da cauda ou do nariz está localizado a (-26" adiante) (+..." para trás) do plano de referência.

	Ponto de Pesagem	Leitura da Balança	- Tara	= Peso Líquido	+ Braço	= Momento
3.	Trem de Pouso Principal Esquerdo	622,00	- 5,00	617,00	68"	41.956
4.	Trem de Pouso Principal Direito	618,00	- 4,00	614,00	68"	41.752
5.	Sub-Total	1.240,00	- 9,00	1.231,00	68"	83.708
6.	Bequilha ou Trem de Nariz	155,00	- 3,00	152,00	26"	- 3.952
7.	Total como Pesado	1.395,00	- 12,00	1.383,00	57,67	79.756

Espaço reservado para a listagem de itens quando a aeronave não é pesada vazia.

	ITEM	Peso Líquido	Braço	Momento
8.	óleo - 8 galões a 7,5 libras por galão	- 60	- 30	1.800
9.	Peso Vazio e C.G. da Aeronave	1.323	61.64"	81.556

Peso Bruto: 1773 libras

Carga útil: 450 libras

Computado por: Frank Stein

Nº da Carteira do DAC: CAT I 171

Figura 3-10 Exemplo de Formulário de Pesagem.

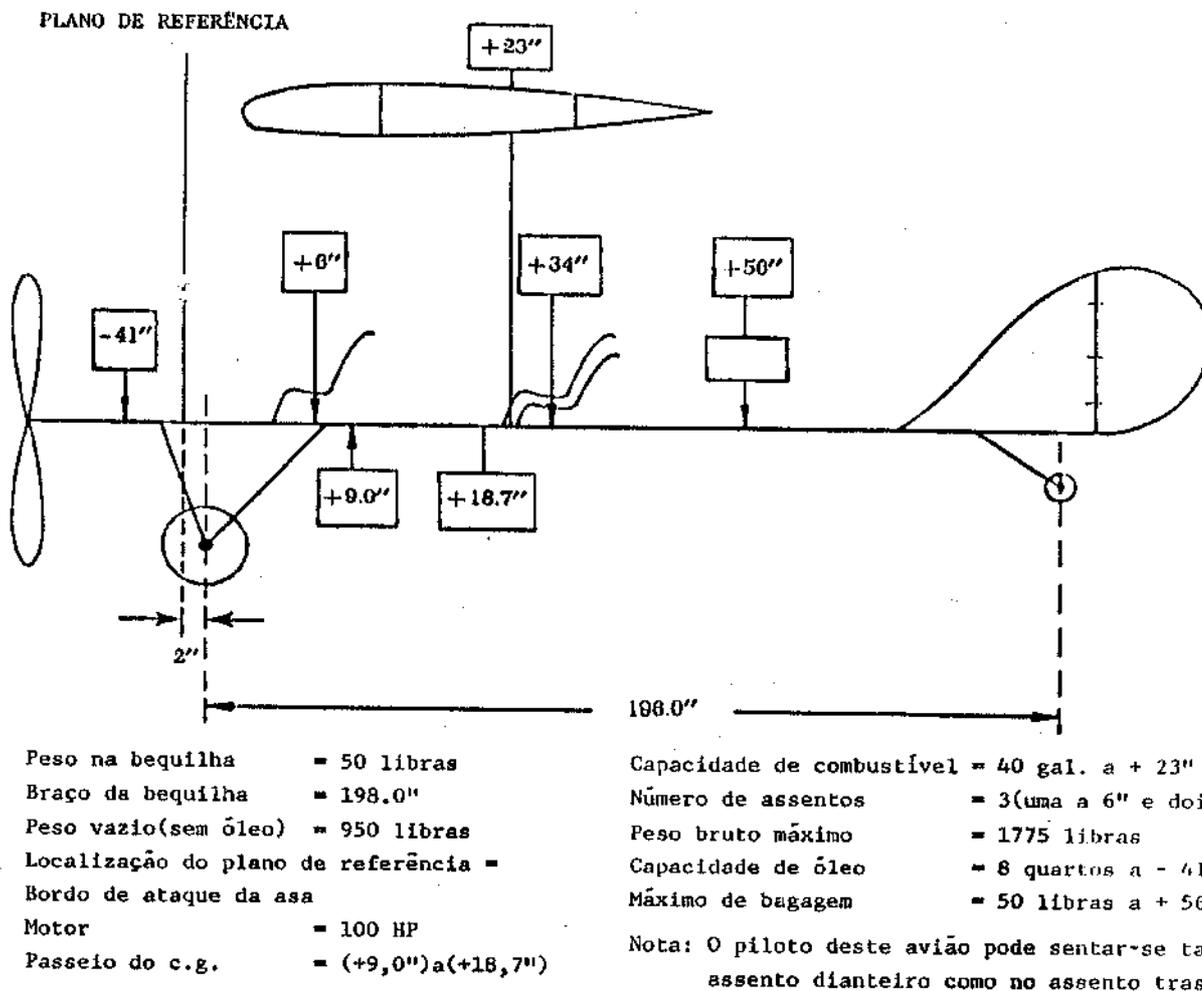


Figura 3-11 Diagrama Esquemático para a Verificação de Peso e Balanceamento Dianteiro.

Conforme mostrado nas Especificações da Aeronave, o peso bruto máximo permissível é de 1773 lbs.

Subtraindo o peso vazio da aeronave deste número, determina-se a carga útil como sendo de 450 libras.

CONDIÇÕES EXTREMAS DE PESO E BALANCEAMENTO

As condições extremas do peso e balanceamento, representam as posições dianteira e traseira máximas do c.g. da aeronave.

Uma aeronave tem certos pontos fixos, dianteiro e traseiro, além dos quais o c.g. não deve passar em nenhum momento durante o voo.

Deve-se fazer uma verificação para certificar-se de que o c.g. não ultrapassará os limites quando a tripulação, passageiros, carga e pesos consumíveis são adicionados ou removidos. Se estes limites, forem ultrapassados e a

aeronave for voada nesta condição, ela poderá sofrer estabilidade insuficiente com a consequente dificuldade de controlá-la.

As verificações de carregamento são uma tentativa de carregar uma aeronave, de modo a criar a condição de balanceamento mais crítica, e ainda mantê-la dentro dos limites do c.g. do projeto da aeronave.

Deve-se notar que, quando o CGPV cai dentro da faixa de CGPV, não é necessário executar uma verificação de peso e balanceamento dianteiro ou traseiro.

Em outras palavras; é impossível carregar uma aeronave, de modo a exceder os limites do c.g., desde que o carregamento padrão e arranjo dos assentos sejam utilizados.

Verificação de Peso e Balanceamento Dianteiro

Para a execução desta verificação, serão necessárias as informações seguintes:

1. O peso, braço e momento da aeronave vazia.
2. Os pesos, braços e momentos máximos dos itens de carga útil que estejam localizados adiante do limite dianteiro do c.g.
3. Pesos, braços e momentos máximos dos itens de carga útil que estejam localizados para trás do limite dianteiro do c.g.

O exemplo, apresentado na figura 3-11, introduz um método de condução da verificação de condição extrema. Esse método facilita visualizar exatamente onde os pesos dos vários arranjos de carregamento estão distribuídos, e como eles afetam a localização do c.g.

Utilizando os dados apresentados na figura 3-11, determine se a aeronave pode ser carregada, de modo a fazer com o que o c.g. ultrapasse os limites.

Passo 1: Carregue o avião da seguinte forma:

Óleo - 8 quartos a -41 pol. = (15 lbs) (41 pol.)
 Piloto - 170 lbs a +6 pol. = (170 lbs) (+6 pol.)
 Mínimo de combustível - 50 lbs. a +23 pol. = (50,0 lbs) (+23 pol.)

Sem passageiros
 Sem bagagem

Encha os tanques de combustível que estiverem adiante do limite dianteiro. Se os tanques de combustível estiverem para trás do limite dianteiro, use o mínimo necessário de combustível.

Passo 2: Totalize todos os pesos e momentos

ITEM	Peso (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lbs.Pol.)
Peso vazio da aeronave	950,00	+12,3	+11685,0
Óleo	15,0	-41,0	-615,00
Piloto	170,0	+6,0	+1020,0
Combustível (Mínimo)	50,0	+23,0	+1150,0
Total	1185,00		13240,0

Os números acima exigem uma consideração cuidadosa.

Observe que cada peso é multiplicado por seu braço, para obter seu momento. Todos os pesos são adicionados, de modo a obter o peso total de 1185 lbs. Entretanto, ao se fazer o

somatório dos momentos, todos os momentos positivos são somados:

$$\begin{array}{r} 11685,0 \\ 1020,0 \\ \underline{1150,0} \\ 13855,0 \end{array}$$

O momento negativo de -615,0 é subtraído da soma dos momentos positivos.

$$\begin{array}{r} 13855,0 \\ \underline{-615,0} \\ 13240,0 \end{array}$$

Passo 3 : Encontre a posição mais dianteira do c.g., dividindo os momentos totais pelo peso total

$$- \frac{13240,0}{1185,0} = 11,17 \text{ pol.}$$

Uma vez que o momento total é positivo, a resposta deve ser positiva. Portanto, a posição dianteira extrema do c.g. está localizada a 11,17 polegadas para trás do plano de referência.

Para essa aeronave, o limite dianteiro do c.g. está a 9,0 polegadas para trás do plano de referência; portanto é fácil observar que ela pode voar com este arranjo de carga.

Verificação do Peso e Balanceamento Traseiro

Para nos certificarmos de que o peso máximo e o limite traseiro do c.g. não estejam excedidos, as informações seguintes são necessárias:

1. Peso, braço e momento da aeronave vazia.
2. Pesos, braços e momentos máximos dos itens de carga útil que estejam localizados para trás do limite traseiro do c.g.
3. Pesos, braços e momentos mínimos dos itens de carga útil que estejam localizados adiante do limite traseiro do c.g.

A posição mais traseira do c.g. é encontrada repetindo-se os três passos seguidos ao se fazer a verificação do c.g. mais dianteiro. Exceto que, desta vez a aeronave será carregada de modo a ficar com a cauda pesada.

Passo 1: Carregue o avião de modo a ficar com a cauda pesada

Óleo - 8 quartos a -41 pol. = (15 lbs) (-41 pol.)

Piloto - 170 lbs a +6 pol. = (170 lbs) (+6 pol.)

Combustível (máximo) -40 galões a +23 pol. = (240 lbs) (+23 pol.)

Passageiros - Dois a 170 lbs cada = 340 lbs a +34 pol. = (340 lbs) (+34 pol.)

Bagagem (máximo) - 50 lbs a +56 pol. = (50 lbs) (+56 pol.)

Encher todos os tanques de combustível que estiverem para trás do limite traseiro. Se os tanques de combustível estiverem adiante do limite traseiro, usamos a quantidade mínima de combustível necessária.

Passo 2: Totalize todos os pesos e momentos conforme mostrado aqui:

ITEM	Peso (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lbs.Pol.)
Peso vazio da aeronave	950,00	+12,3	+11685,0
Óleo	15,0	-41,0	-615,00
Piloto	170,0	+6,0	+1020,0
Combustível (máximo)	240,0	+23,0	+5520,0
Passageiros (dois)	340,0	+34,0	+11560,0
Bagagem (máximo)	50,0	+56,0	+2800,0
Total	1765,00		31970,0

Passo 3: Encontre a posição mais traseira do c.g., dividindo os momentos totais pelo peso total. O c.g. mais traseiro quando carregado conforme mostra a figura 3-11:

$$\frac{31970,0}{1765} = 18,11 \text{ pol.}$$

O limite traseiro do c.g., para esta aeronave, é de +18,7 polegadas para trás do plano de referência; portanto ela pode voar com segurança neste arranjo de carga.

INSTALAÇÃO DE LASTRO

O lastro é usado para se obter o balanceamento do c.g. desejado. Normalmente ele fica localizado, tanto para trás como para a frente, para manter o c.g. dentro dos limites usando-se uma quantidade mínima de peso.

O lastro que é instalado para compensar a remoção ou instalação de equipamentos, e que deve permanecer na aeronave por períodos longos de tempo, é chamado de lastro permanente.

Eles podem ser pintados de vermelho, com a seguinte inscrição: **LASTRO PERMANENTE - NÃO REMOVA.**

Na maioria dos casos, a instalação de lastro permanente resulta em um aumento no peso vazio da aeronave.

Os lastros removíveis ou temporários são usados para satisfazer certas condições de carregamento, que podem variar de tempos em tempos.

Normalmente, eles possuem a forma de sacos de esferas de chumbo, sacos de areia, ou outro material, e não são instalados de maneira permanente.

Os lastros temporários devem ter a inscrição: **LASTRO _____ LIBRAS. SUA REMOÇÃO EXIGE UMA VERIFICAÇÃO DO PESO E BALANCEAMENTO.**

O compartimento de bagagem é, normalmente, o lugar mais conveniente para a instalação de lastros temporários.

Os lugares designados para transporte de lastro devem ser adequadamente projetados, instalados e marcados.

O manual de operação da aeronave deve conter as instruções referentes à colocação correta de lastros removíveis, sob todas as condições de carregamento, para as quais, tal lastro seja necessário.

Controle da Posição do c.g. com Lastro

A figura 3-12 apresenta um exemplo de aeronave, cujo c.g. excede o limite dianteiro do c.g. sob certas condições de carregamento. A verificação de peso e balanceamento dianteiro, prova que somente com o piloto e o mínimo de combustível, o c.g. dianteiro é excedido.

Verificação do c.g. mais dianteiro

ITEM	Peso (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lbs.Pol.)
Peso vazio da aeronave	1600,0	+15,6	+24960,0
Óleo	22,5	-22,0	-495,00
Piloto	170,0	+10,0	+1700,0
Combustível (Mínimo)	115,0	+18,0	+2070,0
Total	1907,5		28235,0

$$c.g. \text{ mais diant.} = \frac{\text{Momento Total}}{\text{Peso Total}} = \frac{28235}{1907,5} = 14,8 \text{ polegadas}$$

Sem um lastro colocado em algum lugar da parte traseira, para trazer o c.g. para dentro dos limites de +16,5 pol a +20,0 pol., a aeronave não oferece segurança para vôo, com o piloto e com o mínimo de combustível. O problema de determinar, a quantidade de libras necessárias, para deslocar o c.g. para dentro dos limites aprovados, pode ser resolvido com a utilização da fórmula seguinte:

Peso do lastro necessário:

Peso da aeronave como pesada, multiplicado pela Distância que excedeu os limites, dividido pelo Braço entre a localização do peso variável e o limite afetado.

Inserindo os valores aplicáveis na fórmula:

Peso da aeronave como pesada = 1907,5

Distância em excesso do limite = 1,7 pol.

Braço entre a localização do peso variável e o limite afetado = 53,5 pol.

Obtemos o seguinte:

$$\frac{(1907,5)(1,7)}{53,5} = 60,6 \text{ libras é o peso do lastro necessário no compartimento de bagagem.}$$

Quando o resultado do cálculo matemático for uma fração de libra, usamos o valor inteiro, imediatamente superior, como o real peso do lastro. Consequentemente, colocamos um lastro de 61,0 libras no compartimento de bagagem para que o c.g. fique dentro dos limites com segurança.

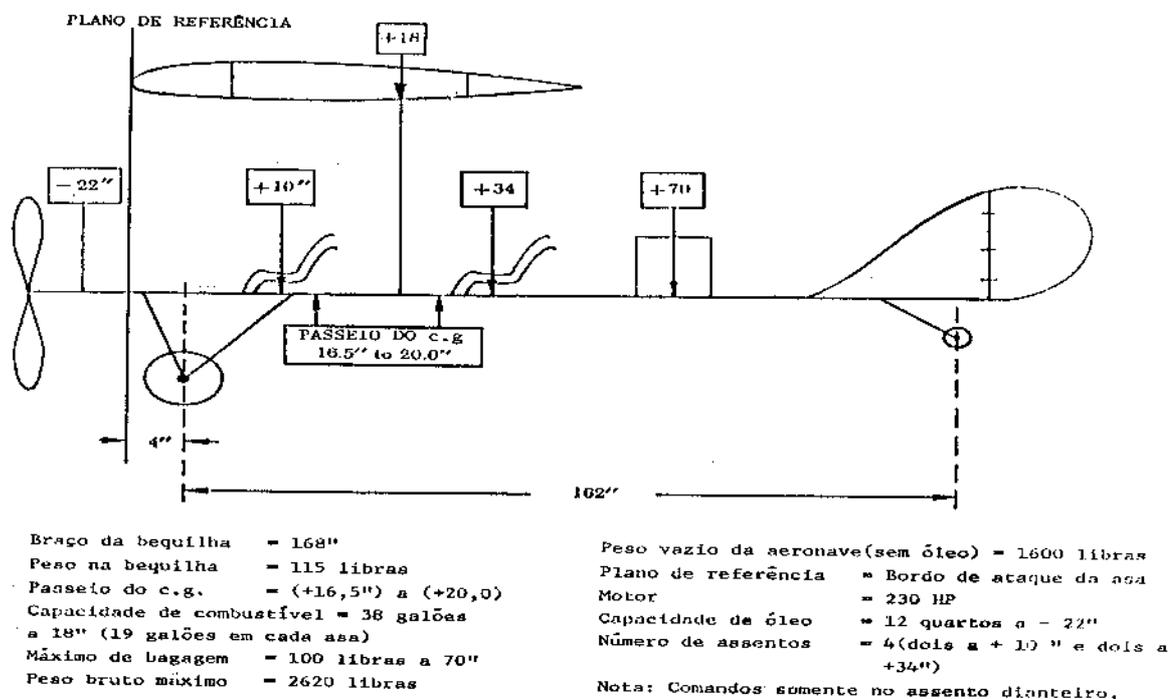


Figura 3-12 Exemplo de Aeronave cujo c.g. excede o Limite Dianteiro do c.g.

Deve-se fazer uma verificação final do peso e balanceamento dianteiro, para provar que a aeronave pode voar com segurança depois da colocação do lastro de 61,0 libras, no compartimento de bagagem. Colocamos um letreiro de modo que fique bem evidente na cabine, para que possa ser visto pelo piloto ou quem de direito. Esse letreiro deve indicar: PARA VÔO SOLO, CARREGUE PELO MENOS 61,0

LIBRAS NO COMPARTIMENTO DE BAGAGEM.

Condições de carregamento máximo

Uma verificação do peso e balanceamento traseiro, determinará se a aeronave apresentada na figura 3-12 pode voar com segurança, quando totalmente carregada, sem exceder o limite traseiro do c.g. ou seu peso máximo.

ITEM	Peso (Lbs)	Braço (Pol.)	Momento (Lbs.Pol.)
Peso vazio da aeronave	1600,0	+15,6	+24960,0
Óleo	22,5	-22,0	-495,0
Piloto	170,0	+10,0	+1700,0
Combustível (máximo)	228,0	+18,0	+4140,0
Passageiro	170,0	+10,0	+1700,0

Passageiros (dois)	340,0	+34,0	+11560,0
Bagagem (máximo)	100,0	+10,0	+7000,0
Total	2630,5		50529,0

$$c.g. \text{ mais traseiro} = \frac{\text{Momento total}}{\text{Peso total}} = \frac{50529,0}{2630,0} = 19,21 \text{ polegadas.}$$

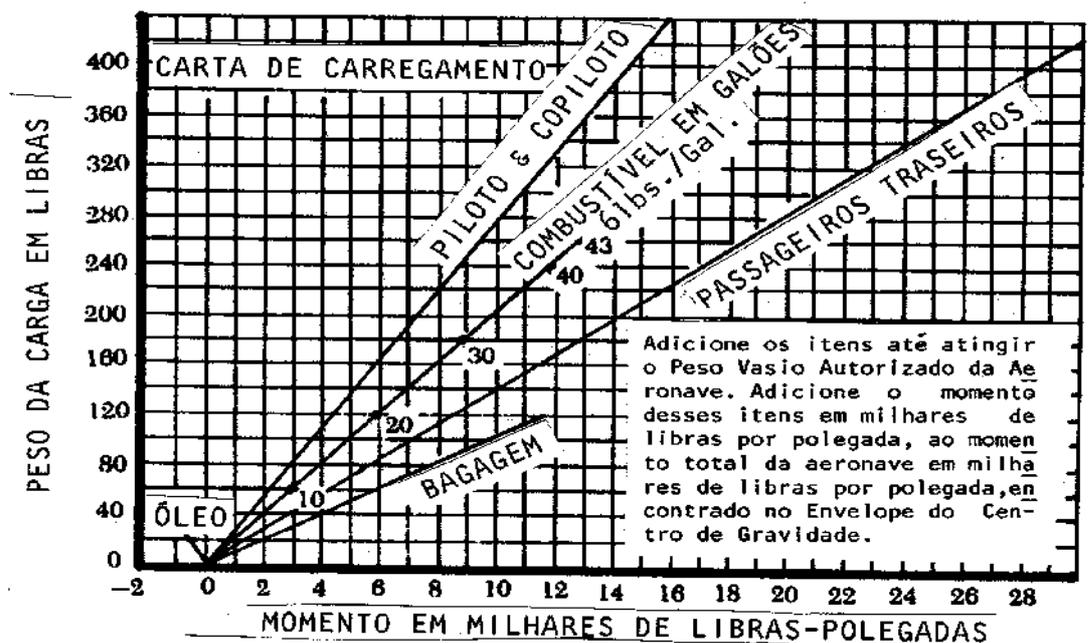


Figura 3-13 Carta de Carregamento Típica.

Quando a aeronave está totalmente carregada, o c.g. está bem dentro do passeio do c.g.; entretanto o peso bruto máximo permitido está com um excesso de 10,5 libras.

Neste caso, há várias alternativas que podem ser usadas para resolver esta condição de sobrecarga, sem reduzir, consideravelmente, a carga paga ou o alcance assim:

Alternativa nº 1 - Reduzir a bagagem em 10,5 libras.

Alternativa nº 2 - Reduzir o combustível em 10,5 libras ou 1,75 galões.

Alternativa nº 3 - Reduzir a carga de passageiros por um passageiro.

Cada alternativa apresentada acima, necessitará de uma marcação que indique o arranjo

de carga, que assegure o peso bruto e o c.g. dentro dos limites especificados.

Compute a nova posição do c.g. para cada arranjo de carregamento alternativo.

CARTAS DE CARREGAMENTO E ENVELOPES DO C.G.

O sistema de computação de peso e balanceamento, comumente chamado de sistema de envelope do c.g. e carta de carregamento, é um método excelente e rápido para se determinar a localização do c.g. para os vários arranjos de carregamento.

Esse método pode ser aplicado à aeronave de qualquer fabricação e modelo.

Os fabricantes de aeronaves, usam esse método de computação, de peso e balanceamen-

to, para preparar cartas similares àquelas apresentadas (figuras 3-13 e 3-14) para cada modelo e fabricação de aeronave; quando da homologação original. As cartas tornam-se uma parte permanente dos registros da aeronave.

Juntamente com as cartas, são fornecidos os dados para o braço e momento do peso vazio (número índice), para aeronaves de determinada fabricação e modelo.

A carta de carregamento ilustrada na figura 3-13, é usada para determinar o número índice de qualquer item ou peso, que possa ser envolvido durante o carregamento da aeronave.

Para usar essa carta, encontramos o ponto na escala vertical que representa o peso conhecido. Devemos projetar uma linha horizontal, até interceptar a linha diagonal do peso em questão (isto é, piloto, copiloto, bagagem, etc.). A partir deste ponto, exatamente em baixo, na escala horizontal, o momento ou número índice é lido.

Depois de determinar o momento para cada item de peso, todos os pesos e todos os

momentos são somados. Conhecendo o total de pesos e momentos, projetamos uma linha a partir do ponto correspondente no envelope do c.g. apresentado na figura 3-14, e colocamos um ponto na intersecção das duas linhas. Se o ponto estiver dentro das linhas em diagonal, o arranjo do carregamento satisfaz todos os requisitos de balanceamento.

Apresentamos a seguir um cálculo real de peso e balanceamento, usando as cartas das (figuras 3-13 e 3-14). Para este exemplo, suponha que o peso vazio da aeronave seja de 1386,0 libras e o momento seja de 52772,0 libras-polegada. O número índice para o peso vazio da aeronave é desenvolvido, dividindo-se o momento do peso vazio por 1000. Este cálculo nos dá um número índice igual a 52,8 para o momento do peso vazio da aeronave.

Ao carregar a aeronave, determinamos se o c.g. cairá dentro das linhas em diagonal da figura 3-14. Coloque os pesos dos itens e os números índices são colocados de forma ordenada para facilitar a soma.

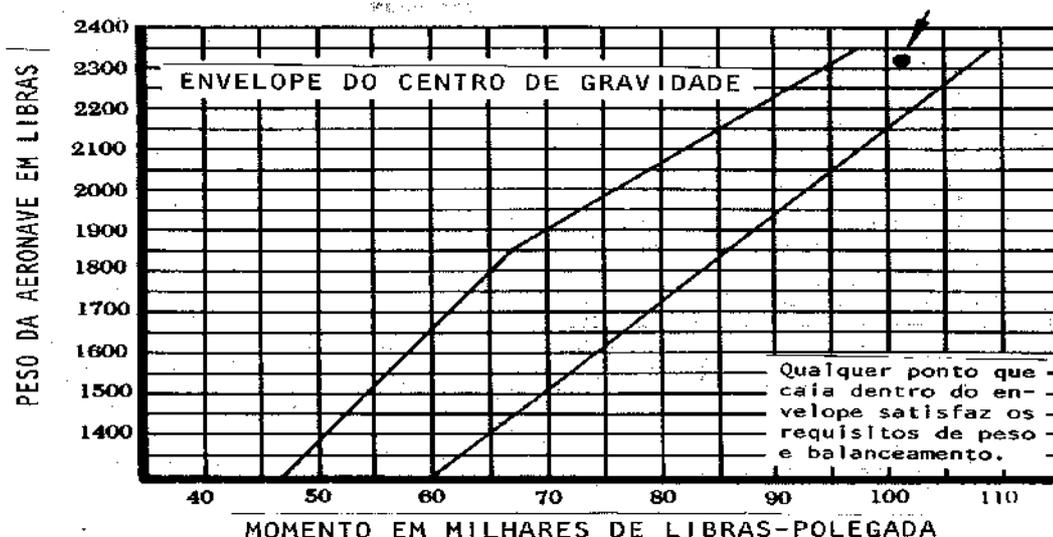


Figura 3-14 Envelope do Centro de Gravidade.

ITEM	Peso (Lbs)	Momento (Milhares Lbs-Pol)
Peso vazio da aeronave	1386,0	52,8
Óleo	19,0	-0,4
Piloto e Copiloto	340,0	12,2
Combustível	245,0	11,8
Passageiro traseiro (dois)	340,0	24,1

Bagagem	20,0	1,9
Total	2350,0	102,4

O peso total da aeronave é de 2350,0 libras, e o momento é de 102,4. Localize este ponto (2350 a 102,4) no envelope do c.g. ilustrado na figura 3-14. Uma vez que o ponto cai dentro das linhas em diagonal, o arranjo de carregamento satisfaz todos os requisitos de peso e balanceamento.

EQUIPAMENTO ELETRÔNICO DE PESAGEM

O equipamento eletrônico de pesagem simplificou muito o procedimento de pesagem de aeronaves grandes e pesadas. A figura 3-15 apresenta um tipo de balança eletrônica. O "Kit" de pesagem completo está contido em uma maleta portátil. Esse "Kit" contém uma trena, prumos, níveis de bolha, escalas, hidrômetros (para especificação da gravidade específica do combustível) e as células de carga.

As células de carga, em verdade, são indicadores de tensão que refletem a carga imposta sobre elas pela aeronave, em termos de variação de voltagem. Esta variação é indicada em uma escala, que é calibrada para apresentar a leitura em libras.

Cada célula de carga é colocada entre o macaco e seu ponto de apoio (ponto de pesagem). Cada célula de carga deve ser balanceada ou "zerada", antes de se aplicar qualquer peso sobre ela.

Depois de completa a operação de pesagem, removemos todo o peso das células, e verificamos se a leitura que elas apresentam é zero. Qualquer desvio deve ser considerado como "desvio do zero da escala" e constitui a tara, quando da utilização de balanças eletrônicas para pesagem. O sentido da variação determina se a tara é adicionada ou subtraída da leitura da balança. Siga sempre as instruções do fabricante da balança que você estiver utilizando.

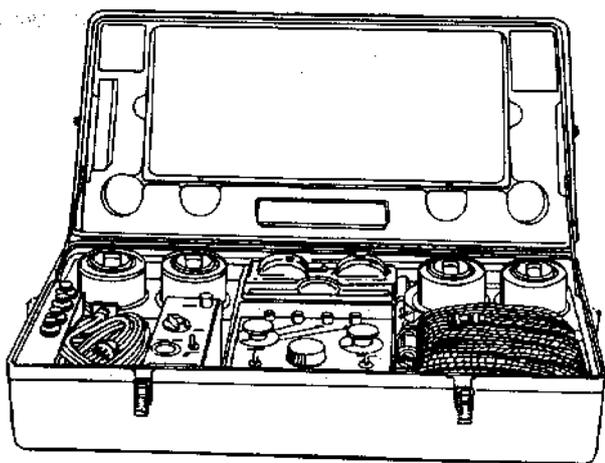


Figura 3-15 Equipamento Eletrônico de Pesagem de Aeronaves.

PESO E BALANCEAMENTO DE HELICÓPTEROS

Os princípios e procedimentos de peso e balanceamento que foram descritos, aplicam-se, de modo geral, aos helicópteros. Cada modelo de helicóptero é homologado para um peso bruto máximo específico. Entretanto, ele não pode ser operado neste máximo em todas as condições

As combinações de grande altitude, temperatura alta e umidade alta, determinam a "altitude de densidade" para um determinado local. Por outro lado, isto afeta de maneira crítica, a flutuação, decolagem, subida, auto-rotação e pouso dos helicópteros.

Um helicóptero pesado suporta menos os choques e cargas adicionais causadas pelo ar turbulento. Quanto maior a carga, menor será a margem de segurança das estruturas, tais como o rotor principal, fuselagem, trem de pouso, etc.

A maioria dos helicópteros tem o passeio do c.g. mais restrito que os aviões. Em alguns casos, esse passeio está dentro de três polegadas. A localização e o comprimento exato do passeio do c.g. é determinado para cada helicóptero; e, normalmente, ele se estende a uma distância curta para a frente e para trás do rotor principal, ou do centróide de um sistema de rotor duplo.

De maneira ideal, o helicóptero deve ter um balanceamento; com tal perfeição que, a fuselagem permaneça na posição horizontal durante uma flutuação, sendo necessário fazer correções somente para compensar o vento. A fuselagem funciona como um pêndulo suspenso por um rotor.

Qualquer variação, no centro de gravidade, provoca uma variação no ângulo em que o helicóptero está suspenso por este ponto.

Os helicópteros projetados mais recentemente, tem os compartimentos de carga e os tanques de combustível localizados no ponto de balanceamento ou perto deste.

Se o helicóptero não estiver carregado adequadamente, e o c.g. não estiver bem próximo do ponto de balanceamento, a fuselagem não ficará pendurada horizontalmente durante a flutuação.

Se o c.g. estiver muito para trás, o nariz tende a subir, e será necessário um controle cíclico excessivo para frente, para manter uma flutuação estacionária. Por outro lado, se o c.g.

estiver muito para frente, o nariz tenderá a cair, requerendo um controle excessivo para trás. Em condições extremas de desbalanceamento, mesmo um controle cíclico total para frente ou para trás, ainda será insuficiente para manter o controle. Em caso de transporte de cargas externas, pode-se ter problemas parecidos de balanceamento lateral.

Quando o fabricante entrega o helicóptero, o peso vazio, o c.g. do peso vazio e a carga útil, elas são anotadas, nas folhas de dados de

peso e balanceamento no manual de vôo do helicóptero.

Se depois que o helicóptero for entregue, houver um adicionamento, remoção de equipamento ou em caso de execução de um reparo ou alteração maior que possa afetar o peso vazio, o c.g. de peso vazio, ou a carga útil; as folhas de dados de peso e balanceamento devem ser revistas. Todas as variações de peso e balanceamento, devem ser inseridas nos registros apropriados da aeronave

O.T. 1C95-B

SEÇÃO II
INSTRUÇÕES PARA O USO
DE FORMULÁRIOS E CARTAS

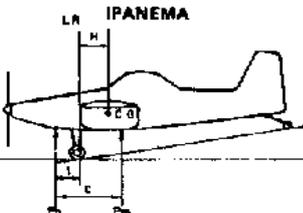
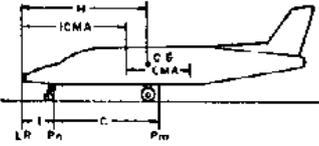
		FICHA DE PESAGEM DE AVIÕES		AVIÃO - TIPO EMB - 110			
		AVIÃO - PREFIXO EXEMPLO	NÚMERO DE SÉRIE EXEMPLO	CATEGORIA NORMAL	DATA DA MODIFICAÇÃO		
DATA DA PESAGEM 20-3-73		LOCAL DA PESAGEM EMBRAER (F-40)		SITUAÇÃO NIVELADO			
CONFIGURAÇÃO NA PESAGEM			CONFIGURAÇÃO APÓS MODIFICAÇÃO				
Trip. 2	PER. 16	Trip. —	PER. —				
CONDIÇÃO NA PESAGEM: AVIÃO BÁSICO CONFORME CARTA "A", COM COMBUSTÍVEL SEM PILOTO AUTOMÁTICO							
		CONSTANTES E MEDIÇÕES l = 2,521 m α = 0 B = Cos α = 1 CMA = 1,950 m 180° = 0 ICMA = 5,454 m B = C = 4,422 m A =					
APOIOS		PESOS		BRACO (m)	MOMENTO (kgxm)	% CMA	ÍNDICE
Esquerda (Pe)		(Lb)	(Kg)				
Direita (Pd)							
Sub-total (Pm)							
Danteiro (Pn) ou Traseiro (Pt)							
Total Registrado (P)							
MODIFICAÇÕES		PESO (Kg)		BRACO (m)	MOMENTO (kgxm)	% CMA	ÍNDICE
Total Registrado (P)							
Total dos itens pesados que não fazem parte do Peso Vazio (Coluna I)							
Total dos itens básicos que não fizeram parte do avião ao ser pesado (Coluna III)							
Peso Vazio (Pv)							
VALORES BÁSICOS NAS CONDIÇÕES PADRONIZADAS PELA EMPRESA						FÓRMULAS UTILIZADAS	
DESCRIÇÃO	PESO (kg)	BRACO (m)	MOMENTO (kgxm)	% CMA	ÍNDICE	$H = \frac{P_m \cdot C}{P} + l$ $\% CMA = \frac{H - 5,454}{CMA} \times 100$ $INDICE = \frac{M}{100}$	
Peso Vazio	3317,3	5,894	19556,28				
CMA RESIDUAL	23,6	6,410	151,28				
ÓLEO HIDRÁULICO	10,5	9,564	100,42				
ÓLEO RESIDUAL	0,5	5,300	2,7				
PESO BÁSICO	3352,5	5,909	19870,68	23,93	198,1		
Anotações no verso de ficha							

Figura 3-16 Exemplo do Preenchimento da "Ficha de Pesagem de Aviões".

CAPÍTULO 4

COMBUSTÍVEIS E SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL

INTRODUÇÃO

O combustível é uma substância que, quando combinado com o oxigênio, queima e produz calor. Os combustíveis devem ser classificados de acordo com seu estado físico, como: sólidos, gasosos ou líquidos.

Combustíveis sólidos

Combustíveis sólidos são extensivamente usados para motores de combustão externa; como os motores à vapor, onde a queima toma lugar sob as caldeiras ou em fornos. Eles incluem tais combustíveis, como madeira e carvão.

Os combustíveis sólidos não são usados em motores convencionais (recíprocos) onde a combustão se processa no interior dos cilindros por causa de sua baixa razão de queima, baixo valor calorífico e numerosas outras desvantagens.

Combustíveis gasosos

Combustíveis gasosos são usados, até certo ponto, para motores de combustão interna, onde um grande suprimento de combustível está prontamente disponível.

Gás natural e gás liquefeito de petróleo, são dois dos tipos mais comuns. Os combustíveis gasosos poderão ser desconsiderados, para o uso, em motores de aviões. O grande espaço, ocupado por eles, restringe o suprimento de combustível que pode transportar.

Combustíveis líquidos

Os combustíveis líquidos, em muitos aspectos, são os combustíveis ideais para o uso em motores de combustão interna. Os combustíveis líquidos são classificados como voláteis ou não voláteis.

Os combustíveis não voláteis são os óleos pesados, usados em motores Diesel. A classe volátil inclui aqueles combustíveis que são comumente usados com um dispositivo de medição e são levados ao cilindro do motor ou

câmara de combustão, em uma condição vaporizada ou parcialmente vaporizada. Entre eles estão o álcool, o benzol, o querosene e a gasolina.

O combustível de aviação é um líquido contendo energia química; que, através da combustão, é desprendida como energia térmica e, então, convertida em energia mecânica pelo motor. A energia mecânica é usada para produzir o empuxo que movimenta o avião.

Gasolina e querosene são os dois combustíveis mais amplamente usados na aviação.

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DA GASOLINA DE AVIAÇÃO

A gasolina de aviação consiste quase que, inteiramente, de hidrocarbonos (compondo-se de hidrogênio e carbono). Algumas impurezas na forma de enxofre e água dissolvida estarão presentes.

A água não pode ser evitada, uma vez que a gasolina é exposta a umidade na atmosfera. Uma pequena quantidade de enxofre, sempre presente no petróleo cru, é deixado em seu processo de fabricação.

O chumbo tetraetil (TEL) é adicionado à gasolina para melhorar sua performance no motor.

Os brometos orgânicos e os cloretos são misturados com o TEL, de forma que, durante a combustão, partículas voláteis de chumbo são formadas. Estas são expelidas com os produtos de combustão.

O TEL, se adicionado separadamente, queimará formando óxido sólido de chumbo, que permanece no interior do cilindro. Inibidores são adicionados à gasolina para suprimir a formação de substância, que seriam deixadas como sólidas, quando a gasolina se evapora.

Certas propriedades do combustível afetam a performance do motor. A volatilidade (maneira na qual o combustível queima durante o procedimento de combustão), e o valor de aquecimento do combustível.

Também é importante a corrosividade da gasolina, bem como a tendência de formar depósitos no motor durante o uso.

Esses últimos fatores são importantes por causa de seus efeitos na limpeza geral, que tem uma relação no tempo entre revisões gerais.

Volatilidade

Volatilidade é a medida da tendência, de uma substância líquida, em vaporizar-se sob uma dada condição.

A gasolina é uma mistura (blend) de compostos de hidrocarbono volátil; que tem uma ampla gama de pontos de ebulição e pressões de vapor. Ela é misturada, de tal forma, que uma cadeia estreita de pontos de ebulição é obtida.

Isto é necessário para que sejam obtidas as características requeridas, de partida, aceleração, potência e mistura de combustível para o motor.

Se a gasolina vaporizar muito rapidamente, as linhas de combustível poderão ficar cheias de vapor, e causar um decréscimo de fluxo de combustível.

Se o combustível não vaporizar suficientemente rápido, poderá resultar em uma partida difícil, aquecimento lento e uma aceleração pobre, distribuição desigual de combustível para os cilindros, e uma diluição excessiva no carter.

Os combustíveis de baixo grau para automóveis não são mantidos dentro das tolerâncias requeridas para a gasolina de aviação; e, normalmente, possuem uma considerável quantidade de gasolina misturada (cracked), que poderão formar depósitos excessivos de goma.

Por esta razão, os combustíveis para automóveis não deverão ser usados em motores de avião; especialmente aqueles refrigerados a ar e operando em altas temperaturas de cilindro.

Calço de vapor

A vaporização da gasolina, nas linhas de combustível, resulta em um suprimento reduzido de gasolina para o motor. E em casos severos, poderá resultar na parada do motor. Este fenômeno é conhecido como calço de vapor.

Uma medida da tendência da gasolina, para o calço de vapor, é obtida do teste de pressão de vapor "REID". Neste teste, uma amostra do combustível é selada dentro de uma "bomba", equipada com um manômetro de pressão.

Este aparato (figura 4-1), é imerso em um banho de temperatura constante, e a pressão indicada é anotada.

Quanto mais alta for a pressão corrigida da amostra em teste, maior suscetibilidade haverá para o calço de vapor. As gasolinas de aviação são limitadas a um máximo de 7 psi; por causa de sua tendência de aumentar o calço de vapor em grandes altitudes.

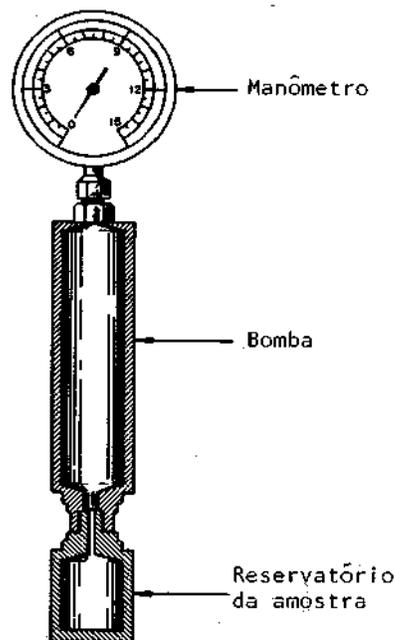


Figura 4-1 Equipamento de teste de pressão do vapor.

Formação de gelo no carburador

A formação de gelo no carburador também é relacionada com a volatilidade. Quando a gasolina passa do estado líquido para o vapor ela extrai calor das redondezas para efetuar a mudança.

Quanto mais volátil for o combustível, mais rápida será a extração do calor. A medida que a gasolina sai do bico de descarga (discharge nozzle), do carburador e vaporiza-se, ela poderá congelar o vapor de água contido no ar que está sendo admitido. A umidade congela-se nas paredes do sistema de indução, garganta do venturi e válvulas de aceleração. Este tipo de

formação de gelo restringe a passagem de combustível e ar no carburador. Ela causa a perda de potência; e, se não eliminada, a eventual parada do motor.

Uma condição extrema de formação de gelo poderá tornar impossível a operação das manetes de aceleração. As condições de formação de gelo, são mais severas na faixa de -1° a 4°C de temperatura do ar exterior.

Combustíveis aromáticos

Alguns combustíveis poderão conter consideráveis quantidades de hidrocarbonos aromáticos, que são adicionados para aumentar a gama de performance de mistura rica. Tais combustíveis, conhecidos como combustíveis aromáticos, têm um solvente forte e uma ação deformadora sobre alguns tipos de mangueiras e outras partes de borracha do sistema de combustível.

Por esta razão, foram desenvolvidas mangueiras e partes de borracha, para uso com combustíveis aromáticos.

Detonação

Em um motor, operando de maneira normal, a chama frontal atravessa a carga a uma velocidade constante de cerca de 100 pés por segundo, até que a carga seja consumida.

Quando a detonação ocorre, a primeira porção da carga queima de forma normal; porém, a última porção queima quase que instantaneamente, criando uma pressão momentânea excessiva e desbalanceada na câmara de combustão.

Este tipo anormal de combustão é chamado detonação. O aumento excessivo na velocidade de queima causa a elevação da temperatura na cabeça do cilindro.

Em condições severas, o aumento da velocidade de queima diminuirá a eficiência do motor, e poderá causar dano estrutural à cabeça do cilindro ou pistão.

Durante a combustão normal, a expansão dos gases em queima comprime a cabeça do pistão para baixo, firme e suavemente sem um choque excessivo. A pressão aumentada da detonação exercida, em um curto período de tempo, produz uma pesada carga de impacto nas paredes da câmara de combustão e cabeça do pistão. É esse impacto, na câmara de

combustão, que aparece como um golpe audível em um motor de automóvel.

Se outros sons fossem eliminados, essa batida seria igualmente audível em um motor de avião. Geralmente, é necessário depender de instrumentos para detectar a detonação em um motor de avião.

-Ignição de superfície

A ignição da mistura combustível/ar, causada por pontos quentes ou superfícies na câmara de combustão, é chamada de ignição de superfície. Entretanto, se ocorrer antes do evento de uma ignição normal, o fenômeno é chamado de “pré-ignição”.

Quando a ignição está ocorrendo, o resultado é a perda de potência e aspereza no funcionamento do motor. A pré-ignição é geralmente atribuída ao super aquecimento de tais partes; como eletrodos das velas, válvulas de escapamento, depósitos de carbono, etc. Quando a pré-ignição está presente, um motor poderá continuar a operar, mesmo que a ignição seja desligada.

Informações sobre esta manifestação indicam que a gasolina, contendo elevado hidrocarbono aromático, é mais suscetível a causar ignição de superfície do que os combustíveis de baixo teor.

Avaliação de octana e performance

Número de octanas e composição, designam o valor anti-detonante da mistura de combustível, no cilindro de um motor.

Motores de aviação, de elevada entrega de potência têm sido feitos, principalmente pelo resultado de misturas, para produzir combustíveis de alta classificação de octanagem.

O uso de tais combustíveis tem permitido aumentos, na razão de compressão e pressão de admissão, resultando em melhora de potência e eficiência do motor. Entretanto, mesmo os combustíveis de alta octanagem detonarão e, também, sob condições severas de operação quando os controles do motor são operados indevidamente.

As qualidades anti-detonantes do combustível de aviação são designadas por graus. Quanto mais alto o grau, maior compressão o combustível poderá suportar sem detonar. Para os combustíveis que possuem dois

números; o primeiro indica o grau para mistura pobre, e o segundo para a mistura rica. Desta forma, o combustível 100/130 tem o grau 100 para mistura pobre e o grau 130 para a mistura rica.

Duas escalas diferentes são usadas para designar o grau do combustível. Para os combustíveis abaixo de 100 graus, os números de octanas são usados para designar o grau do combustível. O sistema de números de octanas é baseado na comparação de qualquer combustível, com mistura de iso-octana e heptana normal.

O número de octana de um combustível é a porcentagem de iso-octana, na mistura que duplica as características de detonação de um combustível, em particular, que está sendo classificado.

Assim, um combustível de grau 91, tem as mesmas características de detonação que a de uma mistura de 91 por cento de iso-octana, e 9 por cento de heptana normal.

Com o advento dos combustíveis, tendo características anti-detonantes superior a iso-octana, uma outra escala foi adaptada para designar o grau de combustíveis acima do número de 100 octanas. Essa escala representa a classificação do grau de combustível e sua disponibilidade de potência, livre de detonação igualmente comparado com a iso-octana pura disponível.

É suposto, arbitrariamente, que somente 100 por cento de potência é obtida da iso-octana. Um motor que tenha uma potência de 1000 HP, limitada pela detonação com combustível de 100 octanas, terá uma potência limitada de detonação 1.3 vezes maior (1300 cavalos) do que com um combustível classificado com número 130.

O grau de gasolina de aviação não é a indicação de sua possibilidade de fogo. A gasolina de grau 91/96 é tão fácil de inflamar, como a de grau 115/145, e explode igualmente com muita força. O grau indica somente a classificação da gasolina, para motores de avião. Um meio conveniente de melhorar as características anti-detonantes de um combustível, é adicionar um inibidor de detonação.

Tal fluido deverá ter o mínimo de corrosividade ou outras qualidades indesejáveis; e, provavelmente, o melhor inibidor disponível para usos em geral, no momento, é o “TEL”.

As poucas dificuldades encontradas, por causa das tendências à corrosão da gasolina “etilizada”, são insignificantes quando comparadas com os resultados obtidos do valor elevado anti-detonante do combustível.

Para a maior parte dos combustíveis de aviação, a adição de mais de 6 ml. por galão não é permitido. Quantidades em excesso sobre esse valor tem um pequeno efeito no valor anti-detonante; porém aumenta a corrosão e os problemas com as velas.

Existem dois tipos distintos de corrosão causados pelo uso de gasolina “etilica”. O primeiro é causado pela reação do brometo de chumbo com superfícies metálicas quentes, e ocorre quando o motor está em operação; o segundo é causado pelos produtos condensados da combustão; principalmente o ácido “hydrobromico”, quando o motor não está girando.

Pureza

Os combustíveis de aviação devem estar livre de impurezas que possam interferir na operação do motor; ou nas unidades dos sistemas de combustível e de admissão de ar ao carburador.

Mesmo que todas as precauções sejam tomadas no armazenamento e serviços da gasolina, é comum encontrar uma pequena quantidade de água e sedimentos no sistema de combustível de uma aeronave.

Uma pequena quantidade de tal contaminação, é, normalmente retida nos filtros do sistema de combustível.

Geralmente, isto não é considerado como uma fonte de grande perigo, desde que os filtros sejam drenados e limpos em intervalos freqüentes. Entretanto, a água poderá apresentar sérios problemas, porque ela se assenta no fundo do tanque; e, poderá então, circular através do sistema de combustível.

Uma pequena quantidade de água fluirá com a gasolina através das passagens medidoras do carburador, e não será especialmente prejudicial. Uma excessiva quantidade de água deslocará o combustível, que está passando através dos medidores e restritores do fluxo de combustível, o que causará a perda de potência e poderá resultar na parada do motor.

Sob certas condições de temperatura e umidade, a condensação da umidade relativa do

ar ocorre nas superfícies internas dos tanques de combustível. Uma vez que esta condensação ocorra na parte acima do nível de combustível, é óbvio que a prática de reabastecer uma aeronave, imediatamente após o voo, em muito reduzirá esta deficiência.

Identificação

As gasolinas contendo TEL deverão ser coloridas de acordo com as normas, ou seja, a gasolina poderá ser colorida para efeito de identificação. Por exemplo, a gasolina de aviação de grau 115/145 é púrpura; a de grau 100/130 é verde; e a de grau 91/96 é azul (figura 4-2).

A mudança de cor de uma gasolina de aviação; usualmente indica a contaminação com um outro produto, ou a perda da qualidade de combustível.

A mudança de cor também poderá ser causada por uma reação química, que tenha enfraquecido para mais leve, o componente de coloração. Essa mudança de cor, por si mesma, poderá não afetar a qualidade do combustível.

A mudança de cor também poderá ser causada pelo preservativo, usado em uma mangueira nova. A gasolina de grau 115/145 que tenha sido bloqueada, durante um curto período de tempo, em uma mangueira nova, poderá aparecer de cor verde. Fluindo uma pequena quantidade de gasolina, através da mangueira, normalmente todos os traços de mudança da coloração serão removidos.

Marcas de identificação

O método mais positivo de identificação do tipo e do grau do combustível, é o seguinte:

1. Marcação nas tubulações - Uma faixa colorida, nunca menor do que 30 cm (1 pé) de largura, é pintada próximo à conexão em cada extremidade da mangueira, usada para abastecimento de combustível. As faixas devem circundar o tubo; e, o nome e o grau do produto devem ser escritos longitudinalmente, em letras de 2,5 cm (1 polegada), de uma cor contrastante com a da mangueira.
2. Marcação dos carros - tanque, e pontos de abastecimento - Placas, identificando o nome e o grau do produto, devem estar

permanentemente fixadas em cada medidor e cada bico de abastecimento. Placas de porcelana (de 10cm x 15cm - 4" x 6"), contendo as mesmas informações, devem estar permanentemente aparafusadas na parte externa; na traseira do equipamento de abastecimento. As mangueiras dos carros-tanques são enfaixadas com as mesmas cores utilizadas no equipamento fornecedor.

COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES A TURBINA

As aeronaves com turbinas a gás, são projetadas para operar com um combustível destilado, comumente chamado de combustível de jato.

Os combustíveis de jato também são compostos de hidrocarbonos, com um pouco mais de carbono; e, normalmente, contendo mais enxofre do que a gasolina. Inibidores também poderão ser adicionados, para reduzir a corrosão e oxidação. Aditivos anti-gelo também estão sendo misturados, para evitar o congelamento do combustível.

Dois tipos de combustíveis de jato estão em uso comum atualmente, sendo: (1) Querosene de grau de combustível para turbina, agora designada como "Jet-A"; e (2) uma mistura de gasolina e frações de querosene, designado "Jet-B". Existe um terceiro tipo, chamado de "Jet-A-1", o qual é produzido para operação em temperaturas extremamente baixas (Ver a figura 4-3).

Existe uma diferença física muito pequena entre o combustível Jet-A (JP-5) e o querosene comercial.

O Jet-A foi desenvolvido como um querosene pesado, tendo um ponto de fulgor mais alto e um ponto de congelamento mais baixo, do que a maioria dos querosenes. Ele tem uma pressão de vapor muito baixa, de forma que existe pouca perda de combustível por vaporização ou ebulição em grande altitude. Ele contém maior energia térmica por galão do que o "Jet-B (JP-4).

O "Jet-B" é similar ao "Jet-A". É uma mistura da fração de gasolina e querosene. A maioria dos motores de turbinas comerciais operam tanto com o Jet-A como com o Jet-B. Entretanto, a diferença na gravidade específica

dos combustíveis poderá requerer ajustes de controle de combustível. Portanto os combustíveis não poderão ser sempre considerados intercambiáveis.

Os combustíveis Jet-A e Jet-B são misturas de destilados pesados, e tendem a absorver água.

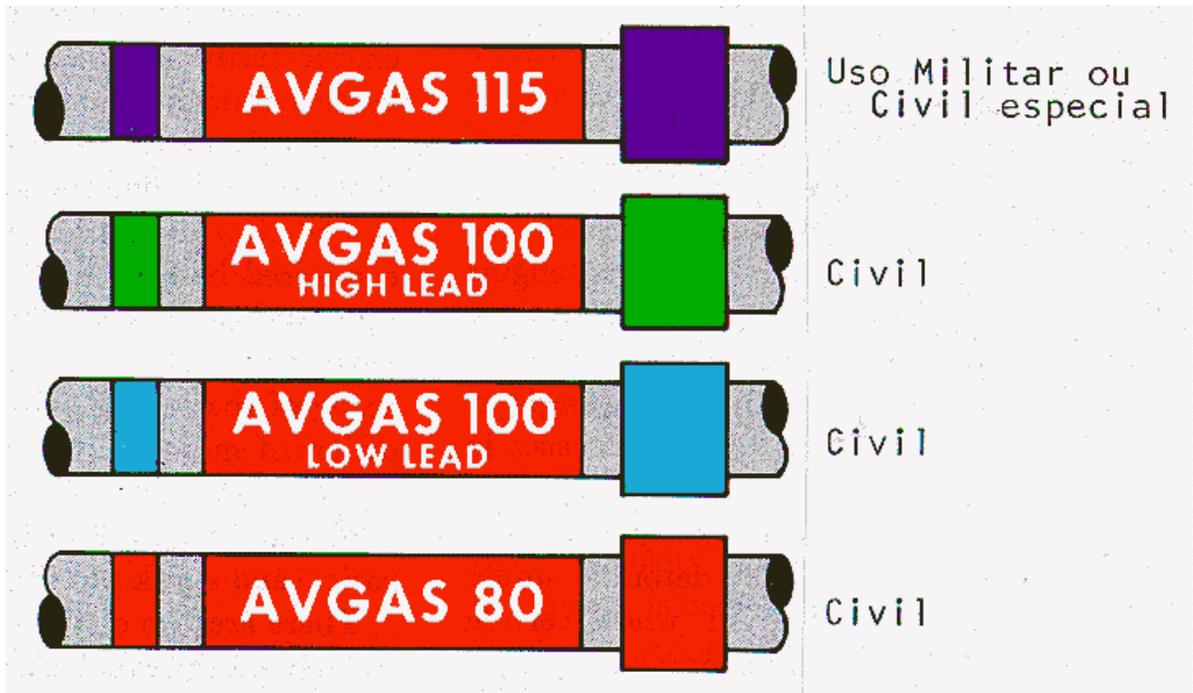


Figura 4-2 Identificação de avgas.

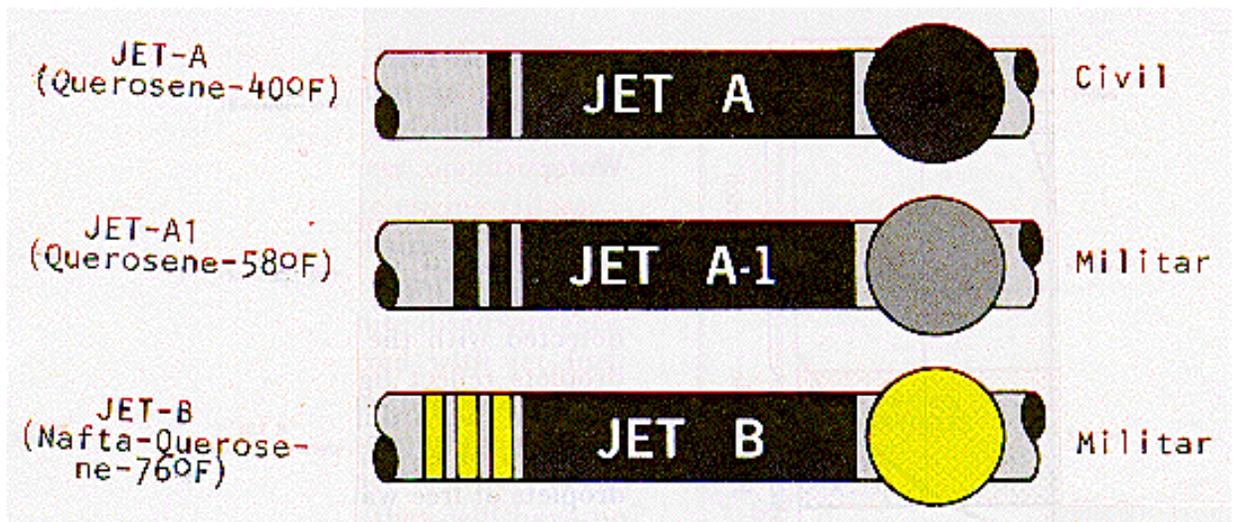


Figura 4-3 Identificação de combustível para motores a turbina

A gravidade específica dos combustíveis de jato, especialmente o querosene, é mais próxima à água do que a gasolina de aviação; desta forma, qualquer água introduzida ao combustível, tanto através do reabastecimento como da condensação, tomará um tempo apreciável para assentar-se. Em grandes altitudes, onde baixas temperaturas são encontradas, gotículas de água combinam com o combustível para formar uma substância congelante chamada “gel”. A massa de “gel” ou gelo; que pode ser gerada pela umidade mantida em suspensão no combustível de jato, poderá ser muito maior do que na gasolina.

Volatilidade

Uma das características mais importantes dos combustíveis de jato, é a volatilidade. Ela deverá, por necessidade, ter um compromisso entre vários fatores de oposição.

Um combustível altamente volátil, é preferível para facilitar a partida em tempo frio e tornar as partidas em vôo mais fáceis e seguras. A baixa volatilidade é preferível para reduzir a possibilidade do calço de vapor, e reduzir as perdas de combustível por evaporação.

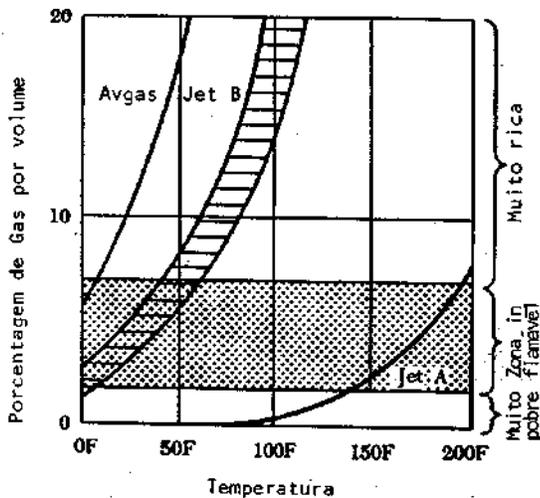


Figura 4-4 Vaporização dos combustíveis de aviação sob pressão atmosférica.

Em temperaturas normais, a gasolina em um recipiente fechado ou em um tanque, poderá produzir tanto vapor que, a mistura combustível/ar, poderá ser rica demais para queimar. Sob as mesmas condições, o vapor

produzido pelo combustível Jet-B poderá estar na faixa inflamável ou explosiva.

O combustível Jet-A é de uma volatilidade muito baixa; de modo que, em temperaturas normais produz tão pouco vapor, que não forma uma mistura combustível/ar inflamável ou explosiva.

A figura 4-4, mostra a vaporização dos combustíveis de aviação com relação a pressão atmosférica.

Identificação

Pelo fato dos combustíveis de jato não serem coloridos, não há identificação visual para os mesmos. Eles variam de um líquido incolor a uma cor de palha (âmbar), dependendo da idade ou da origem do petróleo cru.

Os números dos combustíveis de jato são números de tipos e não tem relação com a classificação de combustível para motor de aviação.

CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

Existem diversas formas de contaminação em combustível de aviação. Quanto mais alta for a viscosidade do combustível, maior será sua capacidade em manter contaminantes em suspensão. Por esta razão, os combustíveis de jato, tendo uma alta viscosidade, são mais suscetíveis à contaminação do que a gasolina de aviação.

O principal contaminante que reduz, principalmente, a qualidade da gasolina e do combustível para turbina são outros produtos de petróleo, como: água, oxidação ou ferrugem e sujeira.

Água

A água pode estar presente no combustível, em duas formas: (1) dissolvida no combustível; (2) entranhada ou em suspensão no combustível. A água entranhada (em suspensão) poderá ser detectada a olho nu.

As gotículas, finamente divididas, refletem a luz, e em altas concentrações dão ao combustível uma aparência nublada; pouco transparente.

As partículas entranhadas poderão unirse, formando gotículas de água livre. O combustível poderá estar nublado por um número de razões. Se o combustível estiver nublado e a nuvem desaparecer na parte inferior, indica presença de ar; se a nuvem desaparece na parte superior, indica presença de água.

A nuvem normalmente indica água em suspensão no combustível. A água livre poderá causar a formação de gelo no sistema de combustível da aeronave, normalmente nos filtros das bombas de reforço (boost pumps), e nos filtros de baixa pressão. A leitura dos indicadores de combustível poderá se tornar errônea devido a um curto-circuito, nos sensores elétricos de quantidade de combustível.

Grandes quantidades de água poderão causar a parada do motor. Se a água livre for salina, ela poderá causar corrosão nos componentes do sistema de combustível.

Partículas estranhas

Muitas partículas estranhas são encontradas como sedimentos no combustível. Elas são constituídas de qualquer material, com o qual o combustível entra em contato. Os tipos mais comuns são: Ferrugem, areia, compostos de alumínio e magnésio, partículas de latão e borracha.

A ferrugem é encontrada em duas formas: (1) Ferrugem vermelha, que não é magnética; e (2) Ferrugem preta, que é magnética. Elas aparecerão no combustível como um pó vermelho ou preto (que poderão assemelhar-se ao corante), ou granulação.

Areia ou poeira no combustível aparecem na forma cristalina, granular ou semelhante ao vidro.

Compostos de alumínio ou magnésio aparecem no combustível na forma de pó ou pasta branca ou cinza. Esse pó ou pasta torna-se muito pegajoso ou gelatinoso quando a água estiver presente.

O latão é encontrado no combustível na forma de partículas, ou pó de cor dourada brilhante.

A borracha aparece no combustível, em pedaços razoavelmente grandes e irregulares. Todas essas formas de contaminação poderão causar o engripamento ou mau funcionamento

dos dispositivos de medição do combustível, divisores de fluxo, bombas e injetores.

Contaminação com outros tipos ou graus de combustível

A mistura não intencional de produtos de petróleo, poderá resultar em combustíveis que dão uma performance inaceitável na aeronave. Um motor de avião é projetado para operar com o máximo de eficiência, com combustíveis de especificações definidas. O uso de combustíveis que diferem daquelas especificações reduz a eficiência operacional, e podem levar a uma falha completa de motor.

Operadores de aviões com motores à turbina são, algumas vezes, forçados por circunstâncias, a misturar combustíveis. Tais misturas, entretanto, têm muitas desvantagens definidas.

Quando a gasolina de aviação é misturada com o combustível de jato, o TEL na gasolina forma depósitos nas lâminas e aletas da turbina. O contínuo uso de combustíveis misturados poderão causar a perda na eficiência do motor. Entretanto, em bases de uso limitado, eles não trarão efeitos prejudiciais ao motor.

Gasolina de aviação, contendo por volume mais do que 0,5% de combustível para jato, poderá reduzir abaixo dos limites permitidos a razão de detonação. A gasolina contaminada com combustível para turbina é insegura para o uso em motores convencionais.

Desenvolvimento microbial

O desenvolvimento microbial é produzido por várias formas de microorganismos, que vivem e se multiplicam nas interfaces de água dos combustíveis para jato.

Esses organismos poderão formar um “Fungo”, similar em aparência aos depósitos encontrados em água estagnada. A cor deste fungo em desenvolvimento poderá ser vermelha, marrom, cinza ou preta. Se não for devidamente controlada pela remoção freqüente da água livre, o desenvolvimento destes organismos poderá tornar-se extensivo.

Os organismos alimentam-se dos hidrocarbonos, que são encontrados nos combustíveis, porém eles precisam de água livre, a fim de se multiplicarem.

Os micro organismos têm uma tendência a se combinarem, geralmente aparecendo com

uma camada marrom, que age como um absorvedor, para maior quantidade de umidade.

Essa mistura de combinação, acelera o desenvolvimento dos micro organismos. O desenvolvimento de micro organismos poderá não interferir somente com a indicação do fluxo e de quantidade de combustível; porém, mais importante, poderá iniciar uma ação eletrolítica corrosiva.

Sedimentos

Os sedimentos se apresentam como poeira, material fibroso, grãos, flocos ou ferrugem. Partículas ou grãos de sedimento para serem visíveis, indicam ter aproximadamente 40 microns ou mais em tamanho (ver a figura 4-5). A presença de um número apreciável daquelas partículas indicam um mau funcionamento do filtro/separador, ou uma fonte de contaminação ao longo da linha do filtro/separador, ou ainda um reservatório inadequadamente limpo. Mesmo com o mais eficiente filtro/separador e um cuidadoso manuseio do combustível, uma partícula pode ser ocasionalmente encontrada. Esses procedimentos dispersos, normalmente são devidos a migração através do filtro, e não apresentam um problema para o motor ou para o controle do combustível. Os sedimentos, ordinariamente são encontrados como um pó fino ou lama. Os dois principais componentes desse sedimento fino são, normalmente, areia e ferrugem.

Os sedimentos podem ser tanto orgânicos como inorgânicos. A presença de apreciável quantidade de material fibroso (visível a olho nu), é usualmente indicação de um elemento de filtro quebrado pela ruptura do próprio elemento ou pela desintegração mecânica de um componente do sistema.

Usualmente, grande volume de partículas metálicas, sugere uma falha mecânica em algum lugar do sistema, a qual não se limita necessariamente à falha do filtro metálico.

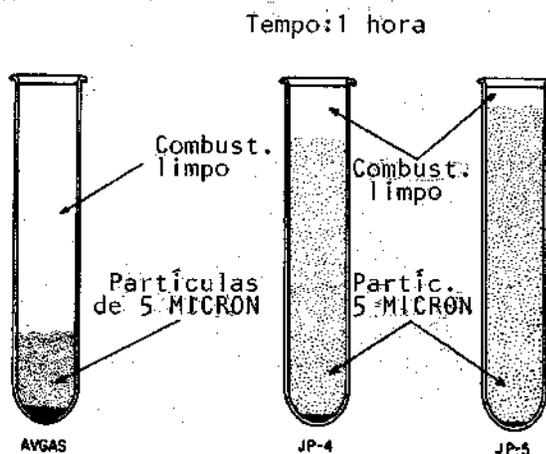


Figura 4-5 Comparação da razão das partículas.

Em uma amostra limpa de combustível, os sedimentos não serão visíveis a não ser sob uma meticulosa inspeção. A presença persistente de sedimentos, é sempre suspeita, requerendo apropriados testes de supervisão e medidas corretivas aplicadas ao sistema de combustível.

Sedimentos ou contaminação sólida podem ser divididos em duas categorias: (1) sedimento grosseiro e (2) sedimento fino.

Sedimento grosseiro

O sedimento que pode ser visto e separado do combustível, ou que pode ser filtrado, é um sedimento grosseiro. Ordinariamente, as partículas de 10 microns de tamanho, e maiores, são consideradas sedimentos grosseiros (ver a figura 4-6).

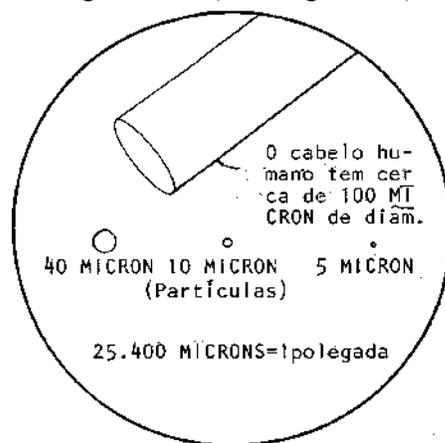


Figura 4-6 Comparação das pequenas partículas com o cabelo humano.

Partículas grossas bloqueiam orifícios e obstruem as folgas e ressaltos das válvulas deslizantes, causando problemas e desgaste dos controles do combustível e do equipamento de medição. Elas afetam também as telas dos bicos ejetores, obstruindo-os, bem como outras telas finas através do sistema de combustível da aeronave.

Sedimento fino

Partículas menores do que 10 microns podem ser definidas como sedimentos finos (ver a figura 4 - 6). Noventa e oito por cento dos sedimentos finos podem ser removidos por assentamento, filtragem ou centrifugação.

As partículas desse padrão, acumuladas por todas as partes dos controles do combustível, aparecem como uma camada de verniz escuro na superfície das válvulas deslizantes, e podem também ser centrifugadas nas câmaras rotativas como uma substância com a aparência de barro, causando a operação lenta do equipamento de medição do combustível.

As partículas finas não são visíveis a olho nu como partículas separadas ou distintas; elas, no entanto, dispersas na claridade, podem aparecer como pontos luminosos ou como uma leve nebulosidade no combustível.

O máximo de tempo possível deve ser permitido ao combustível nos tanques após o reabastecimento, para que haja um razoável assentamento da água e dos sedimentos.

Deteção de contaminação

A contaminação grosseira pode ser detectada visualmente. O melhor critério para a deteção de contaminação, é a de que o combustível esteja limpo e brilhante; e que não contenha água livre perceptível.

Limpo significa ausência de qualquer sedimento realmente visível; ou água misturada. Brilhante refere-se a aparência de brilho dos combustíveis limpos e sem água.

Água livre é indicada por uma nuvem opaca ou um sedimento de água. A nuvem poderá estar ou não presente quando o combustível estiver saturado de água.

O combustível perfeitamente claro, poderá conter três vezes o volume de água, considerado tolerável.

Vários métodos para verificação em pista do conteúdo de água têm sido desenvolvidos.

Um é o de adicionar um elemento corante, que é solúvel na água; porém, não no combustível. Amostras de combustível incolor adquirem uma coloração definida se a água estiver presente.

Um outro método utiliza pó químico cinza, que muda para a cor rosa passando por púrpura, no caso de 30 ou mais p.p.m. (partes por milhão) de água estiverem presentes na amostra de combustível.

Num terceiro método, uma agulha hipodérmica é usada para tirar o combustível através de um filtro quimicamente tratado. Se a amostra mudar a cor do filtro, de amarelo para azul, o combustível terá pelo menos 30 p.p.m. de água.

Desde que o combustível drenado dos decantadores dos tanques possam estar saturados, devemos levar em conta que nenhum método de deteção de água deverá ser usado enquanto a água entranhada no combustível estiver congelada, formando cristais de gelo.

Existe uma boa possibilidade de que a água não seja drenada ou detectada se os decantadores forem drenados, enquanto o combustível estiver a uma temperatura abaixo de 32° F (0° c), após ter sido esfriado no vôo.

A razão para isto, é que, os drenos decantadores poderão não estar no ponto mais baixo no tanque de combustível enquanto o avião estiver em uma altitude de vôo; e a água poderá acumular e congelar em outras áreas do tanque, que permanecerá, sem ser detectada, até que ela se degele.

A drenagem será mais efetiva, se for feita depois do combustível ter ficado em repouso por um período de tempo durante o qual a água possa precipitar-se e alojar-se no ponto de dreno.

As vantagens do período de decantação se perderão a não ser que a água acumulada seja removida dos drenos, antes que o combustível seja agitado pelas bombas internas.

Controle de contaminação

O sistema de combustível da aeronave pode ser considerado como dividido em três partes, quando se refere a pureza do combustível.

O fabricante produz um combustível limpo. A contaminação pode ocorrer a qualquer tempo, após o combustível ter sido produzido.

A primeira parte do sistema de combustível, é o sistema de entrega e estocagem, entre a refinaria e o carro-tanque de abastecimento no aeroporto.

Embora este sistema não seja fisicamente uma parte da aeronave, ele é de igual importância no controle da contaminação.

A qualquer tempo em que o combustível esteja sendo transportado, ele estará sujeito a contaminação. Por esta razão, todo o pessoal de manutenção da aviação deverá estar familiarizado com os métodos de controle da contaminação.

Fundamental no controle de contaminação dos combustíveis para turbina, são os métodos seguidos pela indústria, no recebimento e na estocagem de qualquer carga de produtos de petróleo.

Esses métodos têm sido estabelecidos como corretos e, são tão conhecidos, que se torna desnecessário repeti-los aqui.

Os procedimentos de reabastecimento, usados pelos operadores de aeronaves com turbina deverão incorporar os seguintes requisitos:

1. O combustível bombeado nos depósitos do aeroporto deverão passar através de um filtro-separador. O filtro deverá estar dentro das normas previstas na especificação MIL-F-8508A.
2. Aos combustíveis para turbina, deverá ser permitido um período de assentamento, correspondente a uma hora para cada pé de profundidade do combustível estocado, antes de ser removido para uso. Isto significa que deve ser providenciado mais de um depósito para cada tipo de produto.
3. Os tanques de estocagem devem ser checados com papel de tornassol, após o recebimento de cada carga nova de combustível e o seu devido assentamento. O papel de tornassol deverá permanecer submerso por 15 segundos, no mínimo. Durante os períodos de chuva forte, os tanques subterrâneos deverão ser checados com o papel de tornassol com maior frequência.

4. As linhas de sucção deverão estar, no mínimo, a 6 polegadas do fundo do tanque. Os tanques de estocagem de querosene deverão estar equipados com linhas de sucção do tipo flutuante. Estas linhas flutuantes não removem o produto da parte inferior do tanque, o qual pode não ter sido assentado suficientemente. Isto também evita a reintegração de alguma contaminação do fundo do tanque, no combustível. A linha de sucção flutuante é o único e lógico meio de tirar total vantagem da força da gravidade, em remover a água e a contaminação por partículas estranhas. Esta importância não deve ser minimizada.
5. O combustível sendo removido do tanque de estocagem, deverá passar através de um filtro-separador que tenha a especificação MIL-F-8508A.
6. Grande cuidado deve ser tomado, durante o carregamento de veículos abastecedores, para evitar pó, sujeira, chuva ou outros materiais estranhos, transportados pelo ar.
7. Para reduzir as probabilidades de formação de ferrugem e escamas, os tanques dos carros abastecedores devem ser construídos de aço inoxidável, de material não ferroso ou de aço revestido de matéria neutra.
8. O combustível para turbinas, quando colocado nas aeronaves por caminhões-tanques ou hidrantes, deverão ser filtrados para um grau de 5 microns para partículas sólidas, e conter menos de 0,0015% de água livre ou entranhada. Válvulas de desvio para o filtro não deverão ser permitidas.
9. Todas os procedimentos de controle de qualidade, normalmente seguidos no manuseio da gasolina de aviação, deverão ser empregados. Isto inclui uma regular checagem do filtro-separador do tipo teste de "claro e brilhante"; e contínua ênfases na limpeza. Exemplos: Não deixar o bico de abastecimento arrastar-se no avental de proteção. Manter tampado o bico de abastecimento, durante todo o tempo em que não estiver sendo utilizado.

SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL

Um sistema de combustível de avião armazena e distribui uma quantidade apropriada de combustível limpo a uma pressão correta, para satisfazer a demanda do motor. Um sistema de combustível bem projetado assegura um fluxo positivo e eficiente através de todas as fases do voo, que inclui mudanças de altitude, manobras violentas, acelerações e desacelerações súbitas.

Além do mais, o sistema deverá estar razoavelmente livre da tendência de travamento por vapor, o que poderá resultar das mudanças climáticas no solo e em voo. Indicadores tais, como: os manômetros de pressão, de combustível, sinais de advertência e indicadores de quantidade, são instalados para dar uma contínua indicação de como o sistema está funcionando.

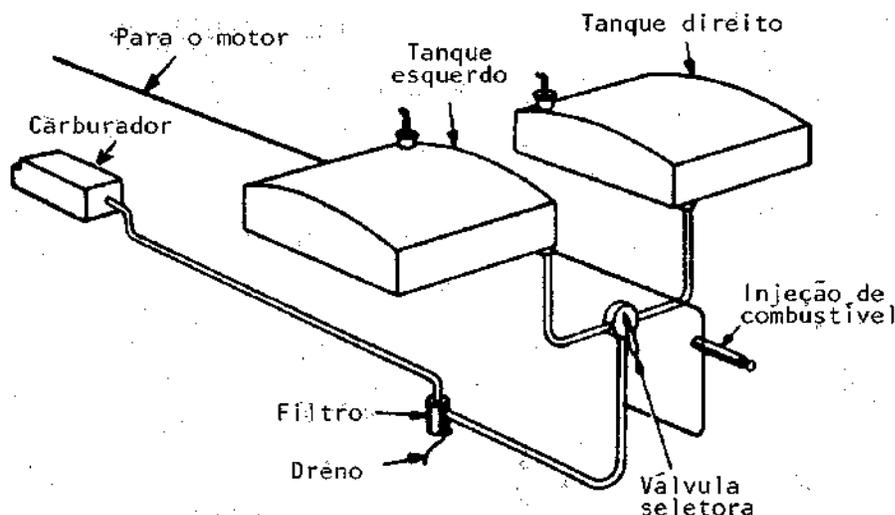


Figura 4-7 Sistema de alimentação por gravidade.

O tipo mais simples de sistema de combustível é o de alimentação por gravidade, o qual está ainda em uso em muitos aviões de baixa potência. Um sistema de alimentação por gravidade é mostrado na figura 4-7. Os tanques de combustível são montados acima dos carburadores, com a gravidade fazendo com que o combustível flua do tanque para o carburador. Uma válvula seletora é provida para interromper o fluxo de combustível ou selecionar um tanque em particular no sistema, do qual o combustível deverá ser usado. Um filtro limpa o combustível antes que o mesmo atinja o carburador. Um dreno é instalado para remover a água e sedimentos presos no filtro. Uma bomba injetora manual (primer) fornece uma quantidade adicional de combustível requerido para a partida do motor.

Aeronaves equipadas com motores de alta potência, requerem um sistema de combustível que forneça o combustível ao carburador a uma pressão positiva.

A fonte básica para esta pressão é uma bomba de combustível acionada pelo motor,

porém bombas auxiliares ou bombas de reforço são necessárias em cada sistema de alimentação por pressão, para vários propósitos:

- (1) suprir a pressão de combustível para a partida do motor;
- (2) suprir combustível para o sistema de injetor, e (3) para servir como uma bomba de emergência no caso de falha da bomba acionada pelo motor.

COMPONENTES DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

Os componentes básicos de um sistema de combustível, incluem tanques (reservatórios), linhas, válvulas, bombas, unidades de filtragem, indicadores, sinais de advertência, e escorva.

Alguns sistemas incluirão provisões para reabastecimento central, válvulas de alijamento de combustível e meios para a transferência de combustível.

No sentido de esclarecer os princípios de operação de um complexo sistema de combustível de aeronaves, as várias unidades são discutidas nos parágrafos seguintes.

Tanques de combustível

A localização, o tamanho, a forma e a construção dos tanques de combustível variam com o tipo e a utilização da aeronave. Em alguns aviões, os tanques de combustível são integrais com a asa ou outras partes estruturais da aeronave.

Os tanques de combustível são feitos de material que não reage quimicamente com qualquer combustível de aviação. A liga de alumínio é amplamente usada, e a borracha sintética é para o tipo de células de combustível, que são usadas em algumas instalações.

Usualmente, um decantador e um dreno são providos no ponto mais baixo do tanque, conforme é indicado na figura 4-8. Quando um decantador ou ponto baixo é provido no tanque, a alimentação principal de combustível não é retirada da parte inferior do decantador, de um ponto mais alto no tanque.

A parte superior de cada tanque é ventilada para o ar externo, a fim de manter a pressão atmosférica dentro do tanque. Os suspiros (vents) são projetados para diminuir a possibilidade de seu bloqueio por sujeira ou formação de gelo.

Com a finalidade de permitir rápidas mudanças na pressão interna do ar, o tamanho do suspiro é proporcional ao tamanho do tanque, evitando desta forma o colapso do mesmo em uma acentuada subida ou descida.

Todos, com exceção de tanques muito pequenos, são adaptados com defletores internos, para resistir às flutuações do combustível, causadas pelas mudanças de atitude do avião. Usualmente, um espaço é provido nos tanques de combustível, para permitir um aumento no volume de combustível devido à expansão.

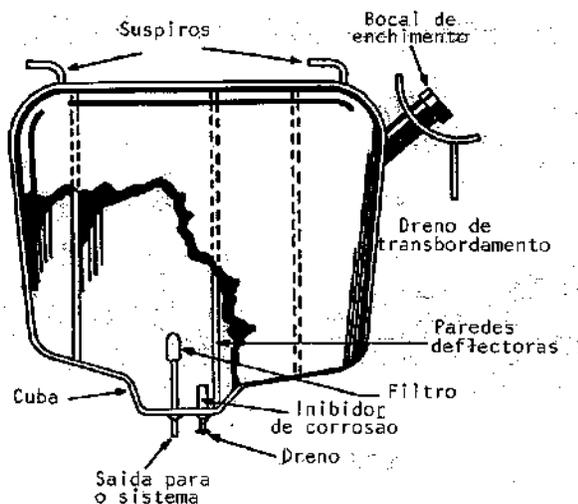


Figura 4-8 Um típico tanque metálico de combustível.

O bocal de abastecimento e tampão, está normalmente localizado em uma parte rebaixada com um orifício e dreno. O orifício é projetado para evitar que o transbordamento do combustível entre na estrutura da asa ou fuselagem.

As tampas possuem dispositivos de travamento para evitar uma possível perda acidental em voo.

As aberturas de abastecimento são claramente marcadas com a palavra "FUEL" (combustível), a capacidade do tanque e o tipo de combustível a ser usado. A informação concernente à capacidade de cada tanque é usualmente marcada perto das válvulas seletoras de combustível, bem como nas tampas de abastecimento.

Alguns tanques de combustível são equipados com válvulas de alijamento, que tornam possível o alijamento do combustível em voo, com a finalidade de reduzir o peso da aeronave ao seu peso máximo de pouso especificado. Em aeronaves equipadas com válvulas de alijamento, o controle de operação está localizado ao alcance do piloto, co-piloto ou do engenheiro de voo. As válvulas de alijamento são projetadas e instaladas para efetuar uma descarga do combustível rápida e segura.

Células de combustível

Os aviões atuais poderão estar equipados com um ou mais dos seguintes tipos de células de combustível: o tipo célula de borracha; e célula integral de combustível.

Célula do tipo câmara de borracha

A célula de combustível do tipo câmara de borracha, é uma célula não auto-vedante que é usada para reduzir o peso. Ela depende inteiramente da estrutura da cavidade, na qual é assentada para suportar o peso de combustível nela contido. Por esta razão a célula é feita ligeiramente maior do que a cavidade. As células de câmara de borracha em uso são feitas de borracha ou de nylon.

Células integrais de combustível

Uma vez que as células integrais são construídas dentro da estrutura da asa do avião, elas não são removíveis. Uma célula integral é parte da estrutura da aeronave, que é montada, de tal forma, que quando as costuras, fixadores estruturais e portas de acesso são devidamente vedados, a célula suporta o combustível sem vazamento. Este tipo de construção é usualmente referido como “asa molhada”.

Linhas de combustível e acoplamentos

Em um sistema de combustível de aeronave, os vários tanques e outros componentes são usualmente unidos por linhas de combustível, feitas de tubos metálicos conectados; e, quando a flexibilidade é necessária, por comprimentos de tubulações flexíveis.

As tubulações metálicas são usualmente feitas de liga de alumínio e, os tubos flexíveis, de borracha sintética ou de teflon. O diâmetro dos tubos são definidos pela demanda de fluxo de combustível do motor.

Cada linha de combustível é identificada por meio de uma cinta colorida de codificação, em cada extremidade. Exceto quanto à linhas curtas entre conexões flexíveis, as tubulações deverão ser devidamente suportadas por meio de braçadeiras, aos membros estruturais da aeronave.

Uma mangueira especial resistente ao calor é usada onde linhas flexíveis estiverem sujeitas a um calor intenso.

Para todas as linhas flexíveis de combustível, localizadas a frente da parede de fogo, são usadas mangueiras resistentes a fogo.

Em muitas instalações, as linhas de combustível são projetadas para serem localizadas dentro dos tanques. Portanto, pequenos vazamentos ocorrendo dentro do tanque são classificados como vazamentos internos, e não causam perigo de fogo.

Filtros de combustível

Os filtros são instalados nas saídas dos tanques e, freqüentemente, nos bocais de abastecimento.

Eles são de malha relativamente grossa para evitar que somente partículas maiores entrem no sistema de combustível. Outros filtros de malha fina são instalados na entrada de combustível ao carburador, e nas linhas de combustível.

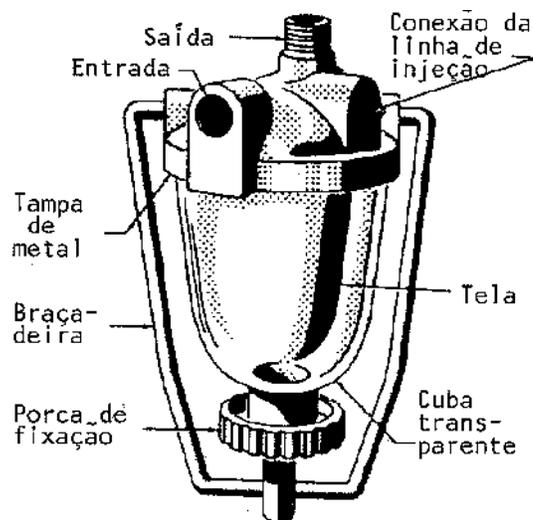


Figura 4-9 Filtro principal para pequenas aeronaves.

A função do filtro principal é importante; não somente ele evita a entrada de materiais estranhos ao carburador como, também, devido a sua localização em um ponto baixo do sistema de combustível, bloqueia qualquer pequena quantidade de água que possa estar presente no sistema.

Em aeronaves multi-motoras, um filtro especial é usualmente instalado em cada nacele de motor.

Um filtro principal para um avião leve, é mostrado na figura 4-9. Ele consiste de uma parte metálica superior, um filtro e uma cuba de vidro. A cuba é fixada à tampa por meio de uma braçadeira e uma porca, para torque manual.

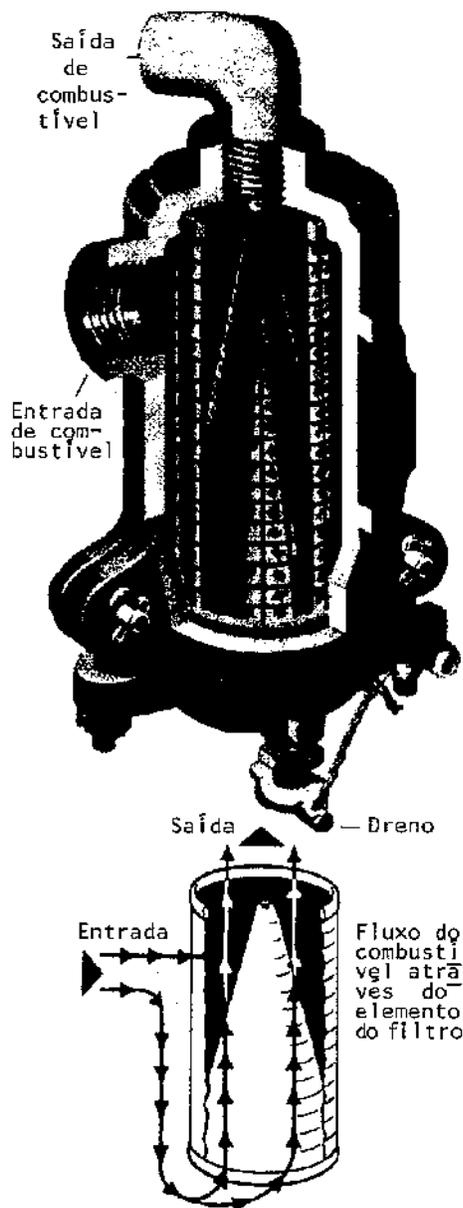


Figura 4-10 Filtro principal de combustível.

O combustível entra na unidade através da porta de entrada, é filtrada através da malha que está na porta de saída.

Em intervalos regulares a cuba de vidro deverá ser drenada e o filtro removido para inspeção e limpeza.

O filtro principal, mostrado na figura 4-9 é instalado de tal forma, que o combustível flui através dele antes de alcançar a bomba acionada pelo motor.

O filtro está localizado no ponto mais baixo do sistema de combustível.

A forma e a construção do filtro de malha fina provê uma grande superfície de filtragem embutida em um alojamento

compacto. Reforçando o filtro, existe uma malha de arame grosso.

Bombas auxiliares de combustível

Bombas de recalque, centrífugas de acionamento elétrico, mostrada na figura 4-11, alimentam o combustível sob pressão para a admissão da bomba acionada pelo motor.

Este tipo de bomba é uma parte essencial do sistema de combustível, particularmente em grandes altitudes, para manter pressão no lado de sucção da bomba acionada pelo motor, evitando que se torne baixa, a ponto de permitir a ebulição de combustível.

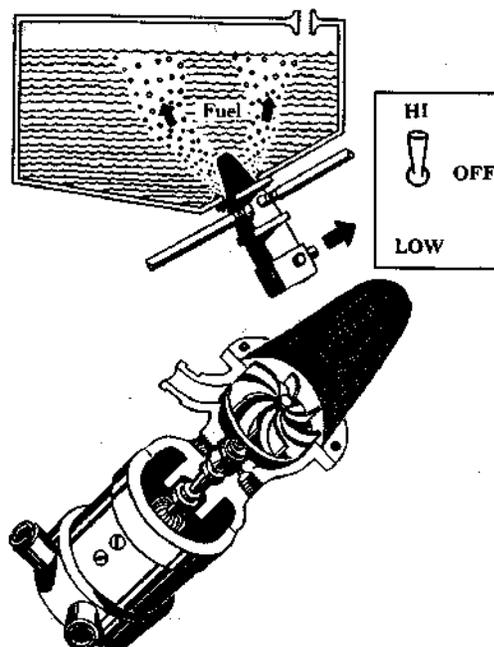


Figura 4-11 Bomba centrífuga de reforço.

Esta bomba de recalque é também usada para transferir o combustível de um tanque para outro, para alimentar combustível sob pressão para escorva durante a partida do motor, e, como uma unidade de emergência, alimentar combustível ao carburador, no caso de falha da bomba acionada pelo motor.

Para aumentar a capacidade da bomba sob condições de emergência, muitas bombas são equipadas com um controle de duas velocidades ou de velocidade variável, que a pressão recomendada de combustível na entrada do carburador possa ser mantida.

Como uma medida de precaução, as bombas de recalque são sempre ligadas durante

as decolagens e pousos, para garantir uma alimentação positiva de combustível.

A bomba de recalque é montada na saída do tanque dentro de um decantador desmontável, ou submersa na parte inferior do tanque de combustível.

Os selos de vedação entre a ventoinha e a seção de força da bomba evitam o vazamento de combustível ou vapores para dentro do motor elétrico. Caso algum líquido ou vapor passe através do selo, ele será ventilado para a atmosfera através de um dreno.

Como precaução adicional em bombas não submersas, é permitida a circulação de ar em volta do motor para remover os vapores perigosos de combustível.

Quando o combustível do tanque entra na bomba, uma ventoinha de alta velocidade arremessa o combustível em todas as direções. A alta velocidade rotacional turbilhona o combustível e produz uma ação centrífuga que separa o ar e o vapor do combustível antes de entrar na linha para o carburador. Isto resulta praticamente em um fornecimento de combustível livre de vapor para o carburador, e permite que o vapor separado suba através do tanque de combustível, escapando através dos suspiros do tanque.

Uma vez que a bomba do tipo centrífugo não é uma bomba de deslocamento positivo, nenhuma válvula de alívio é necessária.

Apesar da bomba centrífuga ser o tipo mais comum de bomba de recalque, ainda existem em serviço algumas bombas do tipo de aleita deslizante. Este tipo, também é acionado por um motor elétrico. Ao contrário do tipo centrífugo, ela não tem a vantagem da ação centrífuga para separar o vapor do combustível. Uma vez que é uma bomba de deslocamento positivo, ela deverá ter uma válvula de alívio para evitar a pressão excessiva. Sua construção e operação são idênticas ao da bomba acionada pelo motor.

Bomba manual

A bomba manual é freqüentemente usada em aviões leves. Ela geralmente está localizada próximo a um outro componente do sistema de combustível, e é operada da cabine de comando por meio de controles adequados. Um diagrama de bomba manual é mostrado na figura 4-12.

Quando a alavanca fixada na lâmina central é operada, a baixa pressão criada na câmara abaixo da lâmina que está se deslocando para cima, permite que a pressão de entrada do combustível levante a válvula de aleita inferior, fazendo com que o combustível flua para o interior desta câmara. Ao mesmo tempo o combustível flui através de uma passagem perfurada para encher a câmara situada na parte superior da lâmina que está se deslocando para baixo. A medida que a lâmina se desloca para baixo, a válvula aleta fecha-se evitando que o combustível saia pela linha de entrada.

O combustível existente abaixo da lâmina que está se deslocando para baixo flui através da passagem para uma outra câmara e é descarregado através da válvula de aleta de saída para o carburador. O ciclo é repetido cada vez que a alavanca é movimentada em qualquer uma das direções.

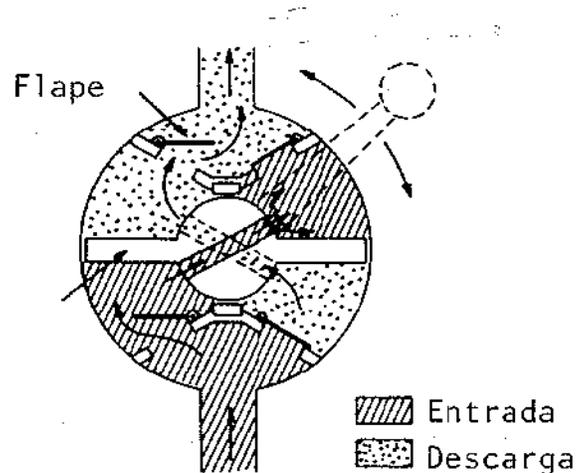


Figura4-12 Diagrama esquemático de uma bomba manual.

Bomba de combustível acionada pelo motor

A finalidade da bomba de combustível acionada pelo motor, é a de fornecer um combustível na pressão adequada durante o tempo de operação do motor. A bomba mais usada atualmente, é a do tipo de aleitas rotativas e de deslocamento positivo. Um diagrama esquemático de uma bomba (tipo-aleita) acionada pelo motor é mostrado na figura 4-13.

Independente das variações de projetos,

o princípio de operação de todas as bombas de combustível tipo aleta é o mesmo.

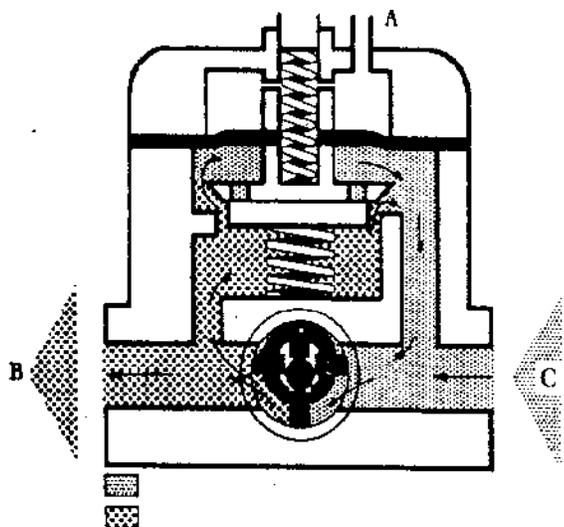
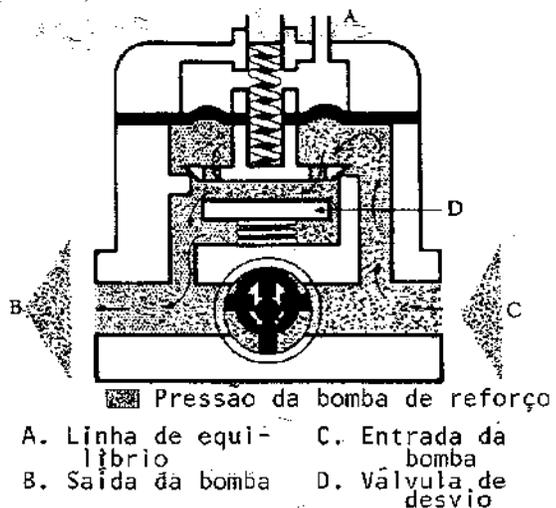


Figura 4-13 Bomba acionada pelo motor (pressão).



- Pressão da bomba de reforço
- A. Linha de equi-
líbrio
- B. Saída da bomba
- C. Entrada da
bomba
- D. Válvula de
desvio

Figura 4-14 Bomba acionada pelo motor (desvio).

A bomba acionada pelo motor normalmente é instalada na seção de acessórios do motor.

O rotor com as aletas deslizantes é acionado pelo eixo de manivelas através das engrenagens de acionamento dos acessórios. Notamos como as aletas levam o combustível da entrada para a saída quando o rotor gira na direção indicada.

Um selo evita o vazamento no ponto onde o eixo de acionamento entra no corpo da

bomba, e um dreno leva para fora qualquer combustível que vazar através do selo.

Uma vez que o combustível fornece uma lubrificação suficiente para a bomba, nenhuma lubrificação especial é necessária.

Quando a bomba de combustível acionada pelo motor normalmente descarrega mais combustível que o requerido pelo motor, haverá um meio de aliviar o excesso de combustível para evitar pressões na entrada de combustível do carburador. Isto é conseguido através do uso de uma válvula de alívio sob tensão de mola, que pode ser ajustada para fornecer o combustível na pressão recomendada para um carburador em particular.

A figura 4-13, mostra a válvula de alívio em operação, derivando o excesso de combustível para o lado de entrada da bomba. O ajuste de pressão é feito aumentando ou diminuindo a tensão da mola. A válvula de alívio de uma bomba acionada pelo motor é projetada para abrir a uma pressão ajustada, independente da pressão de combustível que esteja entrando na bomba.

Para manter a relação apropriada entre a pressão do combustível e a pressão de ar na entrada do carburador, a câmara sobre a válvula de alívio da bomba de combustível é ventilada para a atmosfera ou através de uma linha de balanceamento para a pressão de entrada de ar do carburador.

As pressões combinadas da tensão da mola, da atmosfera ou da pressão da entrada de ar do carburador, determinam a pressão absoluta na qual a válvula de alívio do tipo balanceada abre. Essas válvulas possuem certas características censuráveis que deverão ser investigadas quando falhas no sistema de combustível são encontradas. Uma falha do fole ou do diafragma permitirá que o ar entre no combustível, no lado de entrada da bomba, se a pressão da entrada do combustível for menor do que a atmosférica. Inversamente, se a pressão de entrada da bomba for maior que a pressão atmosférica, o combustível será descarregado pelo suspiro.

Para uma apropriada compensação de altitude, o suspiro deverá estar aberto. Caso ele seja obstruído por gelo ou material estranho, enquanto estiver em altitude, a pressão de combustível diminuirá durante a descida. Se o suspiro for obstruído durante a subida, a pressão

de combustível aumentará com o aumento de altitude.

Além da válvula de alívio, a bomba de combustível possui uma válvula de derivação (by-pass), que permite ao combustível fluir ao redor do rotor da bomba, sempre que a bomba estiver inoperante.

A válvula mostrada na figura 4-14, consiste de um disco que está levemente mantido por uma tensão de mola, contra uma série de portas na cabeça da válvula de alívio.

Quando o combustível é necessário para a partida do motor, ou no caso de falha da bomba acionada pelo motor, o combustível sob pressão da bomba de recalque é entregue na entrada da bomba de combustível. Quando a pressão for suficientemente alta para deslocar o disco de derivação de sua sede, o combustível será admitido no carburador para escorva ou medição.

Quando a bomba acionada pelo motor está em operação, a pressão eleva-se na saída da bomba, juntamente com a pressão da mola de derivação, mantendo o disco em sua sede, e evitando que o combustível flua através das portas.

Válvulas

As válvulas seletoras são instaladas no sistema de combustível, para prover um meio de cortar o fluxo de combustível na seleção do tanque e motor, na alimentação cruzada, e na transferência de combustível.

O tamanho e número de portas (aberturas) varia com o tipo de instalação. Por exemplo, uma aeronave monomotor com dois tanques de combustível e uma reserva de alimentação de combustível, requer uma válvula com quatro portas, três entradas dos tanques e uma saída comum. A válvula deverá acomodar a capacidade total de fluxo da linha de combustível, não deverá vazar e deverá operar livremente com um definido encaixe, quando na posição correta.

As válvulas seletoras poderão ser operadas manual ou eletricamente. Um tubo, haste ou cabo é ligado à válvula operada manualmente, de forma que possa ser operada da cabine de comando.

As válvulas, operadas eletricamente, possui um atuador ou motor. Os três tipos principais de válvulas seletoras são: corrediça, cônica e disco. A válvula seletora do tipo gatilho ("poppet") possuem uma válvula ("poppet") individual em cada porta de entrada.

Um ressalto e uma articulação no mesmo eixo agem para abrir a válvula selecionada, à medida que a articulação é girada.

A figura 4-15 mostra como o ressalto levanta a válvula gatilho superior de sua sede quando a alavanca de controle é selecionada para a posição de tanque nº 2, abrindo assim a passagem do tanque nº 2 para o motor.

Ao mesmo tempo, a parte elevada da placa de índice cai em uma ranhura no lado do ressalto (ver o detalhe do mecanismo do índice). Isto produz a sensibilidade que indica que a válvula está na posição totalmente aberta. A alavanca de controle deverá ser sempre comandada pelo "sentir", ao invés das marcas no dial indicador.

O mecanismo de índice também mantém a válvula na posição desejada e evita seu deslocamento causado pela vibração.

Algumas válvulas têm mais de uma parte elevada no ressalto, para permitir que duas ou mais portas sejam abertas ao mesmo tempo.

A válvula seletora tipo cone é metálica ou de carcaça de alumínio, com face de cortiça. O cone, que se ajusta dentro do alojamento, é girado por meio de um controle da cabine de comando.

Para um suprimento de combustível do tanque desejado, o controle na cabine de comando é girado até que as passagens dentro do cone estejam alinhadas com as portas correspondentes da carcaça.

Um mecanismo de indicação auxilia a obtenção do ajuste desejado e também segura o cone na posição selecionada.

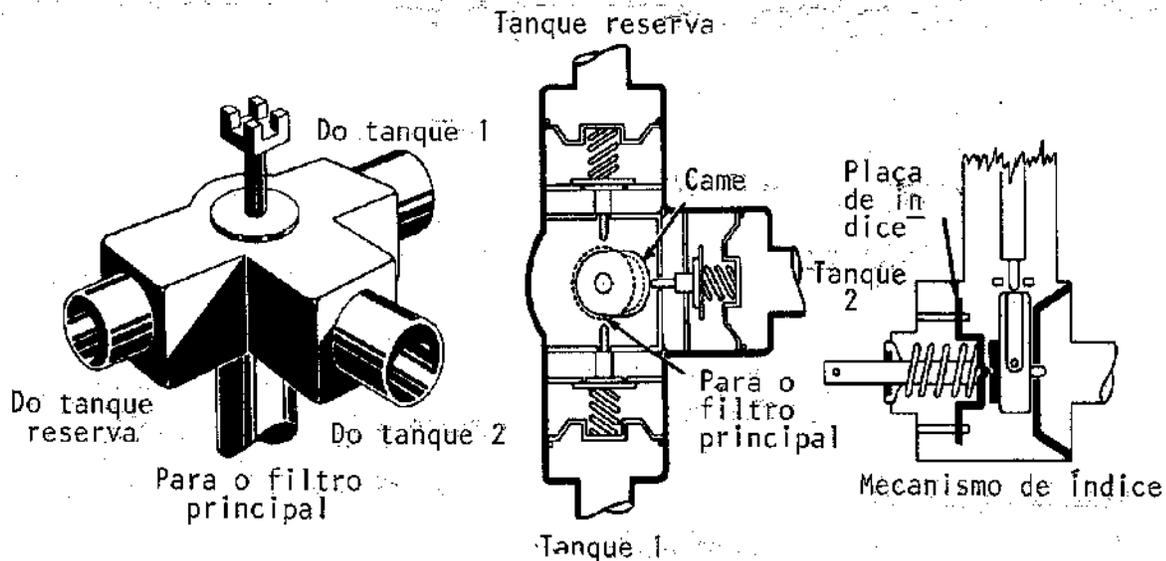


Figura 4-15 Válvula seletora tipo gatilho (poppet).

Algumas válvulas tipo cone possuem um mecanismo para aliviar a fricção, que reduz a quantidade de torque requerida para girar e fazer a seleção de tanque e, que pode ser ajustado para prevenir vazamentos.

O rotor da válvula seletora tipo disco, ajusta-se dentro de um furo cilíndrico no corpo da válvula.

A válvula tipo disco é mostrada na figura 4-16. Podemos notar que o rotor tem uma porta aberta e diversos discos de vedação, um para cada porta da carcaça.

Para selecionar um tanque, o rotor é girado até que a porta aberta alinhe com a porta de onde flui o combustível desejado. Ao mesmo tempo todas as outras portas estarão fechadas pelos discos de vedação. Nesta posição o combustível fluirá, vindo do tanque desejado para a válvula seletora, e sairá pela porta de saída para o motor, na parte de baixo da válvula.

Para assegurar um alinhamento positivo, a fim de se ter um total fluxo de combustível, um mecanismo de indicação, (mostrado no centro da figura 4-16) força uma esfera sob carga de mola dentro de um anel de catraca.

Quando a válvula seletora é comandada para a posição fechada, a porta aberta no motor fica coincidindo com a parede fechada do corpo da válvula, enquanto cada disco de vedação cobre uma porta do tanque.

As válvulas de corte dos tanques de combustível têm duas posições: aberta e fechada. Elas são instaladas no sistema para prevenir perda de combustível, quando um componente do sistema está sendo removido, ou quando uma parte do sistema está danificada.

Em algumas instalações, elas são usadas para controlar o fluxo de combustível durante a operação de transferência.

As válvulas de corte são operadas manual ou eletricamente. Uma válvula de corte de combustível operada eletricamente, inclui um motor elétrico reversível, articulado a um conjunto de válvula deslizante.

O motor move o portão da válvula para dentro e para fora da passagem, onde o combustível flui cortando ou abrindo o fluxo de combustível.

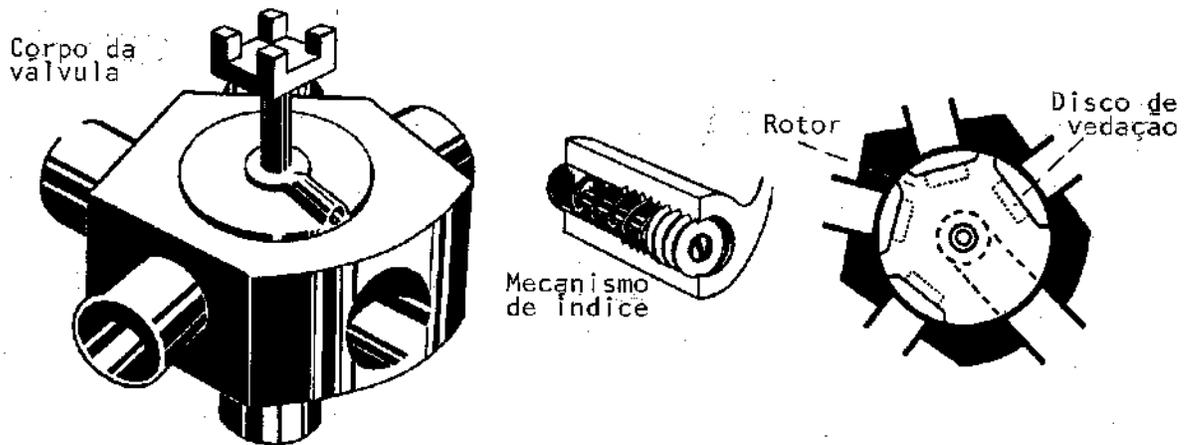


Figura 4-16 Válvula seletora tipo disco.

INDICADORES DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

Indicadores de quantidade de combustível

Os indicadores de quantidade de combustível são necessários, para que o operador possa saber a quantidade de combustível remanescente nos tanques durante a operação da aeronave.

Os quatro tipos gerais de indicadores de combustível são: (1) visor de vidro; (2) mecânico; (3) elétrico; e (4) eletrônico. O tipo da instalação de indicação de combustível depende do tamanho da aeronave, do número e da localização dos tanques de combustível.

Uma vez que os indicadores de combustível, "visores de vidro" e "mecânicos", não são adequados para as aeronaves em que os tanques estão localizados, em uma distância apreciável da cabine de comando, as aeronaves maiores usam indicadores de quantidade de combustível elétricos ou eletrônicos.

Em algumas aeronaves, um indicador de combustível, chamado totalizador, indica a soma das quantidades totais de combustível remanescente em todos os tanques.

O visor de vidro é a forma mais simples de indicação de quantidade de combustível. O indicador é um tubo de vidro ou plástico, posicionado no mesmo nível com o tanque. Ele opera pelo princípio dos líquidos, de procurarem seu

próprio nível. O tubo é calibrado em galões ou possui uma escala metálica perto dele.

O visor de vidro pode ter uma válvula de corte, de forma que o combustível possa ser cortado para limpeza e para prevenir perda de combustível se o tubo estiver quebrado.

O indicador de quantidade de combustível do tipo mecânico, é usualmente localizado no tanque, e é conhecido como um indicador de leitura direta. Ele possui um indicador conectado a uma bóia flutuando na superfície do combustível.

Com as trocas de nível de combustível, a bóia mecanicamente opera o indicador, mostrando assim, o nível de combustível no tanque. Um tipo de indicador de combustível mecânico é ilustrado na figura 4-17.

O indicador de quantidade tipo elétrico, consiste de um indicador na cabine de comando e um transmissor operando por bóia, instalado no tanque. Com as trocas de nível de combustível, o transmissor envia um sinal elétrico para o indicador, que mostra as trocas do nível de combustível. Duas vantagens deste indicador de quantidade de combustível (e também do tipo eletrônico discutido no próximo parágrafo), são de que o indicador pode estar localizado em qualquer distância do tanque, e os níveis de combustível de vários tanques podem ser lidos em um único indicador.

O indicador de quantidade de combustível do tipo eletrônico (capacitância) difere do outro tipo por não possuir dispositivos móveis no tanque de combustível.

Ao invés de bóia e unidades mecânicas para o desempenho, as qualidades dielétricas do combustível e do ar fornecem uma medição da quantidade de combustível. Essencialmente, o transmissor do tanque é um simples condensador elétrico. O dielétrico (ou material não condutor) do condensador, é o combustível e o ar (vapor) acima do combustível.

A capacitância da unidade do tanque, a qualquer momento, dependerá da proporção de combustível existente e vapor no tanque. A capacitância do transmissor é comparada com um capacitor de referência com um circuito de rebalanceamento tipo ponte.

O sinal de desbalanceamento é amplificado pelos amplificadores de voltagem, que acionam a fase discriminativa do estágio de potência. O estágio de saída supre força para uma das fases do motor A.C. de duas fases que, mecanicamente, aciona um potenciômetro de rebalanceamento e o ponteiro indicador.

O sistema de medição de quantidade de combustível do tipo eletrônico, é mais preciso na medição do nível pelo fato de medir o combustível em peso, em vez de galões.

O volume de combustível variará com a temperatura (a gasolina pesa mais quando está fria do que quando está quente), desse modo, se a gasolina for medida em libras, em vez de galões, a medição será mais precisa.

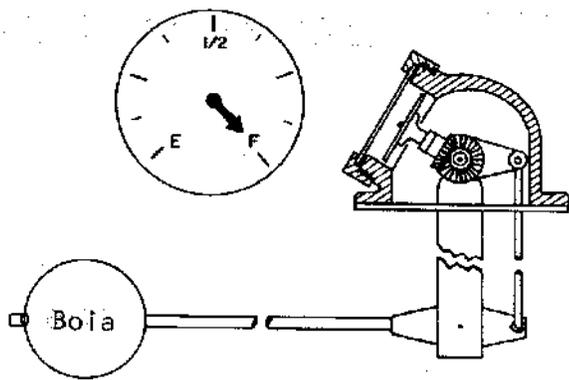


Figura 4-17 Indicador de nível do combustível tipo bóia.

Em adição ao sistema de indicação para a cabine de comando, algumas aeronaves são providas de um meio para determinar a quantidade de combustível em cada tanque quando ela está no solo. Isto é conseguido por vários métodos diferentes. Alguns fabricantes

usam indicadores operados por bóia, de leitura direta, montados na superfície inferior da asa.

Outros meios de indicação são por uso de baioneta (vareta) pela parte inferior da asa. Existem dois (2) tipos em uso, o de indicação por tubo ou vareta com escoamento (DRIP) e o de indicação por visor.

Quando é usada a indicação por tubo com escoamento (DRIP) é necessário proceder lentamente, usando o método por tentativa, para achar o nível exato de combustível.

Em tanques de áreas grandes, uma quantidade proporcional de combustível é representada por uma variação de fração de polegada no nível de combustível.

Uma vareta de tubo longo requer algum tempo para drenar, uma vez que elas estão cheias de combustível.

Um substancial erro na leitura pode ser feito se a drenagem do tubo for diminuindo, o que é errado em comparação com uma drenagem constante, que significa que o tubo está na posição correta.

Quando a tampa e o tubo de drenagem são projetados para serem distendidos na parte inferior da superfície da asa, o combustível entra pelo topo aberto do tubo, quando ele atinge o nível.

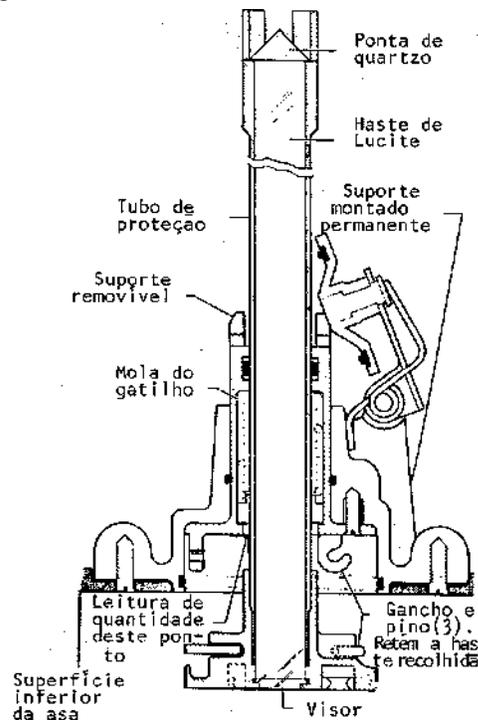


Figura 4-18 Visor sob a asa.

Como mencionado anteriormente, se a drenagem proveniente do furo do tubo for

constante, significa que o tubo está corretamente posicionado com o nível de combustível numa porção insignificante acima da abertura do tubo.

O tubo medidor, do tipo escoamento, pode ser calibrado em libras ou polegadas.

Quando calibrado em polegadas, a leitura é comparada com uma carta especial, que dá a leitura da quantidade de combustível em galões.

O indicador do tipo visor é de algum modo mais simples em construção do que o tipo tubo de escoamento, e oferece uma evidente leitura visual quando estiver corretamente posicionado.

Como mostra a figura 4-18, o indicador do tipo é basicamente uma haste longa de plástico "LUCITE", protegida por um tubo calibrado, o qual termina em seu topo com uma ponta de quartzo exposta. Quando a ponta estiver acima do combustível, ela atua como um refletor.

A transmissão de raios de luz para a parte de cima da haste de "LUCITE" são deflexionados em ângulos retos por uma superfície de 45° em um lado da ponta, e deflexionado 90° novamente pela superfície de 45° no lado oposto, retornando para baixo da haste de "LUCITE".

Qualquer porção da ponta, submergida no combustível, não atuará como refletor. Conseqüentemente, quando uma parte do nível de combustível estiver acima do cone, um fecho de luz é criado, sendo visível na extremidade inferior da haste de "LUCITE", e que tem as dimensões e a forma produzidas pela interseção da ponta e o combustível.

Quando a luz refletida é reduzida ao menor ponto perceptível, no caso dos indicadores tipo cone ou de fio capilar com ponta cônica esculpida, a haste estará devidamente posicionada. A quantidade de

combustível no tanque pode ser lida no tubo, onde ele sai da guia de seu alojamento. As leituras dos indicadores do tipo de escoamento são feitas, também, nesta localização.

Medidores de fluxo de combustível

Os medidores de fluxo de combustível são, normalmente, usados somente em aeronaves multimotoras.

O sistema consiste de um transmissor e um indicador. O transmissor é instalado na linha de entrada de combustível para o motor, onde é medida a razão do fluxo de combustível. O transmissor é eletricamente conectado ao indicador, localizado na cabine de comando.

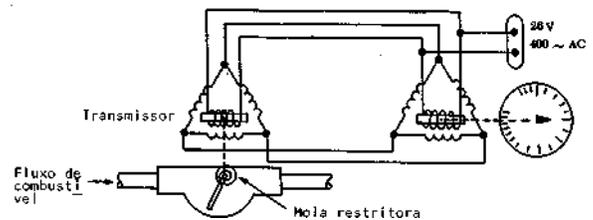


Figura 4-19 Sistema medidor de fluxo tipo palheta.

Este instrumento mostra a razão de consumo de combustível, em libras por hora.

O sinal do transmissor, pode ser produzido por uma aleta móvel, montada na linha de fluxo do combustível. O impacto do combustível faz a aleta mover-se contra a força de restrição de uma mola calibrada.

A posição final assumida pela aleta representa a medida da razão, na qual o combustível está passando através do medidor de fluxo e o sinal correspondente que será enviado ao indicador. Um sistema medidor de fluxo do tipo aleta é ilustrado na figura 4-19.

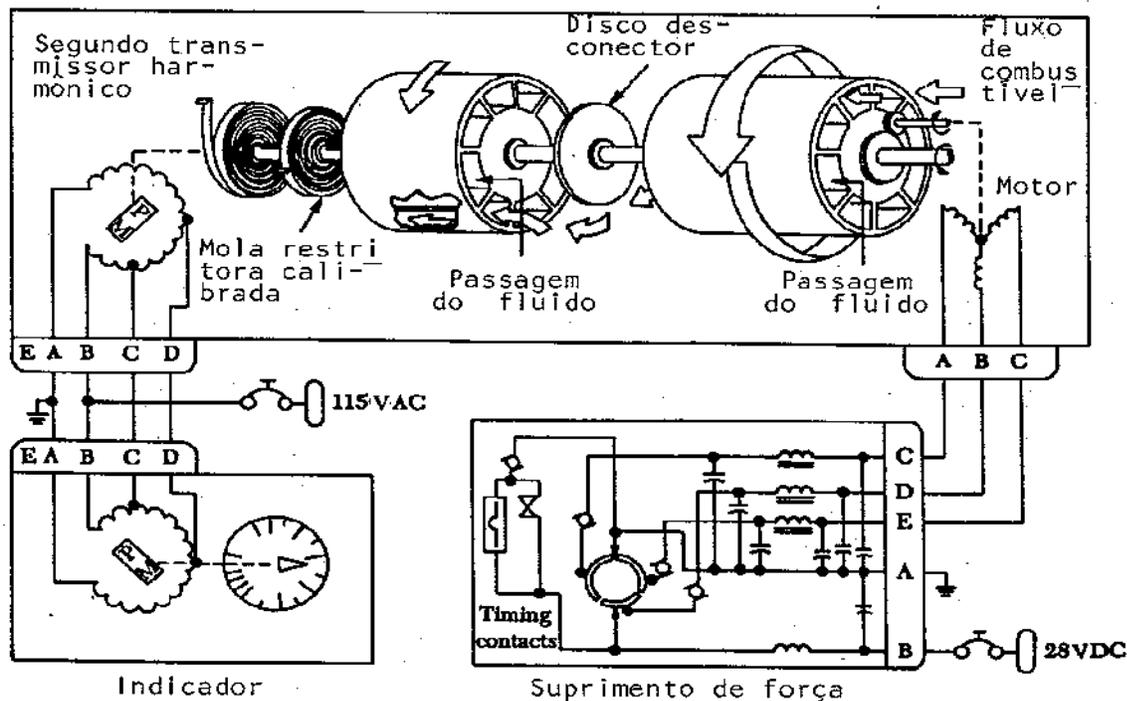


Figura 4-20 Esquema de um sistema indicador de fluxo de motor a turbina.

O transmissor usado nos motores à turbina é do tipo fluxo de massa, tendo uma faixa de 500 a 2500 libras por hora. Ele consiste de dois (2) cilindros colocados na corrente de combustível, de maneira que a direção do fluxo de combustível fique paralela aos eixos dos cilindros (ver figura 4-20). Os cilindros possuem pequenas aletas na periferia externa.

O cilindro contra a corrente chamado de "impelidor", é comandado a uma velocidade angular constante, pelo suprimento de força. Esta velocidade impõe um momento angular ao combustível.

O combustível, por sua vez, transmite esta velocidade angular para a turbina (cilindro a favor da corrente), ocasionando a rotação da turbina até que a força da mola de restrição balanceie a força, devido o movimento angular do combustível. A deflexão da turbina posiciona um magneto no segundo transmissor harmônico, para a posição correspondente ao fluxo de combustível. A posição da turbina é transmitida para o indicador na estação de vôo, por meio de um sistema "selsyn".

Indicador de pressão do combustível

É um instrumento que indica a pressão do combustível que entra no carburador. Este

indicador pode ser incluído com o indicador de pressão de óleo e o indicador de temperatura de óleo, em uma caixa chamada de unidade indicadora do motor.

A maioria das aeronaves, atualmente, possuem indicadores separados para estas funções. Uma unidade de indicação do motor, é mostrada na figura 4-21.

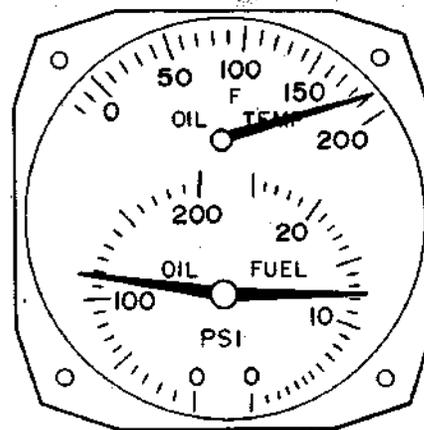


Figura 4-21 Indicador do motor.

O indicador de pressão do combustível, é um indicador de pressão diferencial, com duas (2) conexões na parte traseira do alojamento do indicador.

A conexão de ar, (ver figura 4-22) é ventilada para a entrada de ar do carburador, e a conexão de combustível é acoplada à câmara de entrada de combustível do carburador. Desta forma o indicador indica a diferença entre a pressão do combustível na entrada do carburador e a pressão de ar na entrada de ar do carburador.

Em algumas instalações, o acoplamento de ar no indicador é deixado aberto para comunicar-se com a pressão da cabine de comando, a qual geralmente é a mesma que a pressão atmosférica.

Quando este arranjo de ventilação é usado, a válvula de alívio da bomba de combustível do motor também é ventilada para a atmosfera, e o indicador indica a pressão de combustível, resultante somente da pressão ajustada de uma mola.

No interesse de amortecer as pulsações da pressão que causam a flutuação do ponteiro, é instalado um restritor (A) no carburador, na extremidade da linha do indicador de combustível (ver a conexão Y mostrada da figura 4-22). O segundo restritor (B) mede o combustível para o sistema de óleo, durante a diluição de óleo.

A disposição destes restritores fornece a indicação da queda na pressão de combustível, quando é usado o sistema de diluição de óleo.

O sistema de diluição de óleo será discutido detalhadamente no manual do grupo motopropulsor, e, é mencionado neste capítulo somente por causa do indicador de pressão de combustível, que fornece um meio para a verificação da operação das outras unidades do sistema de combustível.

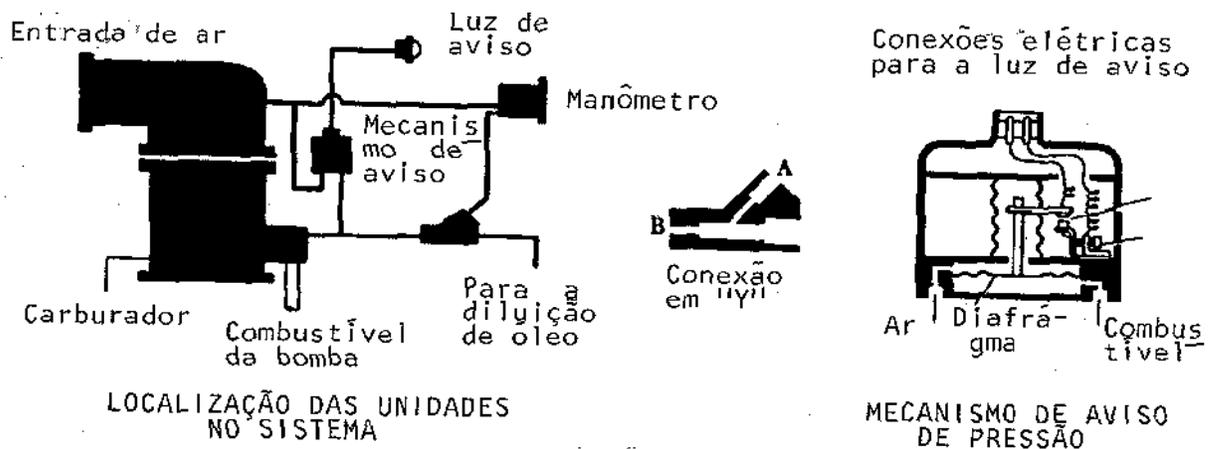


Figura 4-22 Sistema de indicação de pressão de combustível.

Em aeronaves de pequeno porte, o indicador de pressão de combustível pode ser atuado por um tubo Bourdon (um instrumento que converte as mudanças da pressão em movimento mecânico), ou um aneróide do tipo fole, instalado com uma linha de pressão, orientada diretamente, do carburador ao indicador.

Em aeronaves de grande porte, onde um instrumento de pressão de combustível está localizado a alguma distância do carburador, um transmissor é usualmente instalado.

O transmissor de pressão pode ser uma célula simples de metal fundido que é dividida em duas câmaras por um diafragma flexível. A pressão aplicada pela fonte de pressão de combustível à entrada do transmissor, desloca

para cima o diafragma, elevando-o à uma pressão igual a de um fluido fino (querosene altamente refinado), o qual transfere a pressão ao mecanismo indicador. Algumas instalações, contudo, usam transmissores elétricos para registrar pressão de combustível no indicador.

Nesta instalação elétrica, a unidade indicadora de pressão está contida no transmissor. A pressão de combustível, atuando sobre o aneróide e o fole da unidade, provoca o movimento de uma parte da unidade elétrica (o transmissor síncrono).

Quando a unidade gira, ele ocasiona um movimento similar em uma unidade correspondente (o motor síncrono).

Esta unidade receptora atua o indicador no painel de instrumentos. Esta pressão e a

instalação elétrica tornam desnecessária a chegada do combustível até a cabine de comando, reduzindo, portanto, o risco de fogo.

Um indicador de pressão de combustível, usualmente utilizado com sistema de injeção de combustível em motores de aviões leves, é ilustrado na figura 4-23.

Um indicador deste tipo registra a pressão de combustível medida na válvula distribuidora da unidade de injeção de combustível, e é uma indicação direta da entrega de potência do motor, quando instalada no sistema de injeção de combustível para motores de aeronaves leves. O dial do indicador é graduado para indicar porcentagem de potência. O indicador não indica a pressão da bomba comandada pelo motor ou da bomba de reforço.

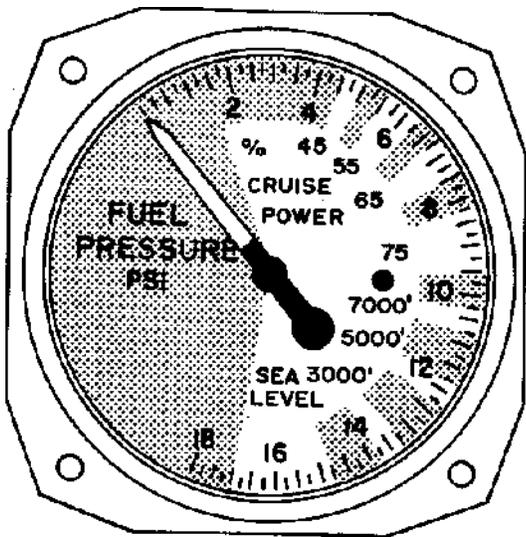


Figura 4-23 Indicador de pressão do combustível para o sistema de injeção.

Sinal de aviso de pressão

Em uma aeronave com vários tanques, existe sempre a possibilidade de perigo, de permitir que o suprimento de combustível de um tanque venha a esgotar-se antes da válvula seletora ser ligada para outro. Para prevenir isto, sinais de aviso de pressão são instalados em algumas aeronaves.

A instalação completa mostrada na figura 4-22, consiste de um mecanismo sensível à pressão e uma luz de aviso. O mecanismo de aviso possui ambas conexões, a do combustível e a do ar. A conexão marcada “FUEL” é conectada à linha de pressão de combustível do

carburador, e a conexão “AIR” é ventilada para a pressão atmosférica ou para a pressão de entrada de ar do carburador. Esta disposição previne o mecanismo de aviso de atuar em resposta às mudanças da pressão absoluta do combustível.

Se, por exemplo, a pressão absoluta do combustível diminuir por causa de uma mudança na pressão atmosférica ou na pressão da entrada de ar do carburador, a mudança é também refletida no mecanismo de aviso, que, depois, cancela os efeitos da mudança.

A pressão normal de combustível, atuando sobre a superfície de força do diafragma, mantém os contatos elétricos afastados. Quando a pressão do combustível cair abaixo dos limites especificados, os contatos fecham e a luz de aviso é iluminada. Isto alerta o operador a tomar a ação necessária para reforçar a pressão do combustível.

Luzes indicadoras de válvula em trânsito

Em aeronaves grandes, multimotoras, as válvulas de cada linha de combustível e de alimentação cruzada, podem ser providas com uma luz indicadora de válvula em trânsito. Esta luz estará acesa somente durante o tempo em que a válvula estiver em movimento, e apagará quando o movimento for completado.

Indicador de temperatura de combustível

Em algumas aeronaves movidas a turbina, é provido um meio para verificação da temperatura do combustível nos tanques e no motor.

Em condições de temperaturas baixas, especialmente em altitudes, o indicador pode ser checado para determinar quando a temperatura do combustível está se aproximando daquelas que podem ser perigosas, por causa da formação de cristais de gelo no combustível.

SISTEMAS DE COMBUSTÍVEL PARA MULTIMOTORES

O projeto do sistema de combustível, para uma aeronave que tenha dois ou mais motores, apresenta problemas que não são normalmente encontrados em sistemas de combustível para monomotores.

Um grande número de tanques são comumente requeridos para transportar o combustível necessário. Estes tanques podem estar localizados em partes da aeronave, amplamente separadas, tais como a fuselagem e as seções interna e externa das asas.

Sistemas de combustível para um motor individual, poderá ser interconectado, de tal modo que o combustível possa ser alimentado de vários tanques à qualquer motor.

Em caso de falha do motor, o combustível normalmente fornecido ao motor inoperante, poderá ficar disponível para os outros.

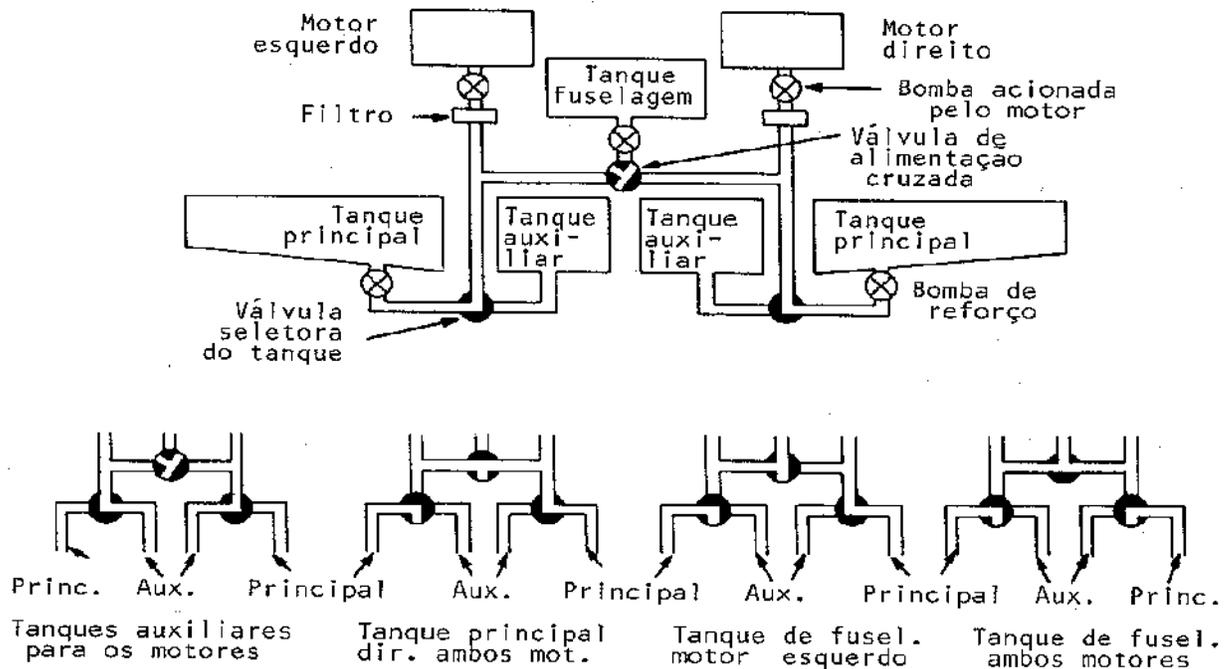


Figura 4-24 Sistema de alimentação cruzada de um bimotor.

Sistema de alimentação cruzada

O sistema de combustível para um bimotor ilustrado na figura 4-24 é do tipo simples de alimentação cruzada.

Como é mostrado, as válvulas seletoras do tanque são as que suprem alimentação do combustível dos tanques principais aos motores. Essas válvulas também podem ser posicionadas para alimentar combustível dos tanques auxiliares.

A válvula de alimentação cruzada (cross feed) é mostrada na posição fechada. Ela também pode ser ajustada para alimentar combustível do tanque da fuselagem a um ou outro, ou a ambos os motores em alimentação cruzada.

Um número pequeno de combinações, na qual as três (3) válvulas podem ser ajustadas, também está ilustrado.

Sistema de distribuição de combustível

A principal característica de um sistema para quadrimotor, mostrado na figura 4-25 é a

distribuição de combustível. Este sistema de distribuição de combustível é uma variação do sistema de alimentação cruzada.

Como é mostrado na figura, o combustível está sendo alimentado dos tanques principais diretamente aos motores. As válvulas de distribuição também podem ser ajustadas, de modo que todos os tanques alimentem a linha distribuidora e cada motor receba o combustível desta linha.

A alimentação auxiliar de combustível pode ser entregue aos motores somente através da linha distribuidora. A principal vantagem deste sistema, é sua flexibilidade de seleção. Se um motor falhar, o combustível destinado a ele estará imediatamente disponível para os outros motores.

Um tanque, se é danificado, o motor correspondente pode ser alimentado com combustível proveniente da linha distribuidora.

Outra vantagem deste sistema, é que todos os tanques de combustível podem ser reabastecidos ao mesmo tempo, através de uma conexão simples da linha de distribuição. Este

método de reabastecimento de combustível, tem reduzido grandemente o tempo de reabastecimento em aeronaves de grande porte,

porque o combustível pode ser introduzido na linha distribuidora, sob alta pressão.

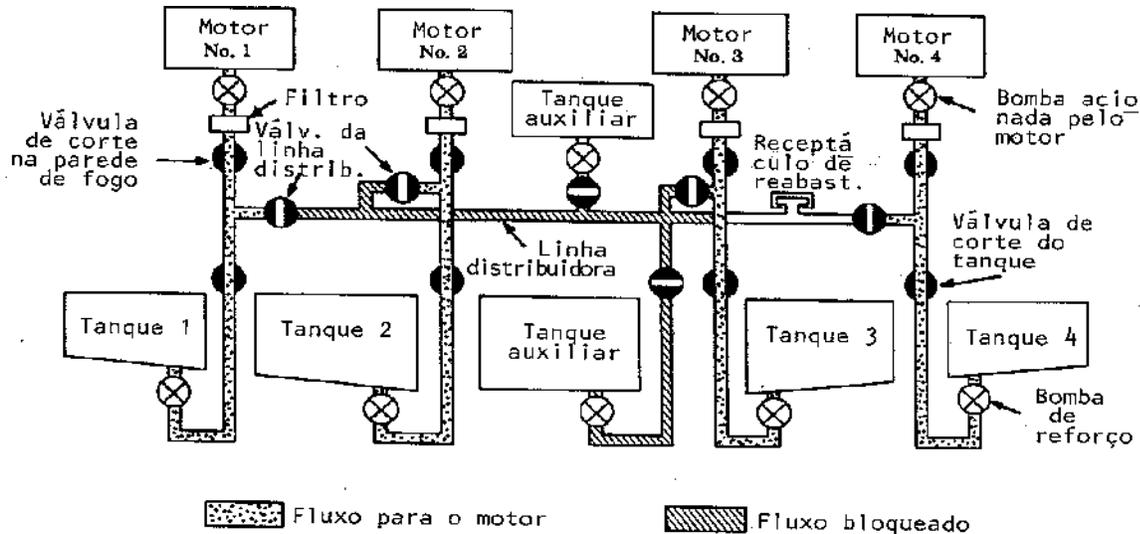


Figura 4-25 Sistema típico de alimentação cruzada.

Sistemas de alijamento de combustível

Um sistema de alijamento de combustível, é necessário para aviões da categoria de transporte, quando o peso máximo de decolagem for maior do que o peso máximo de pouso.

Esse sistema é de emergência, permitindo que a tripulação de vôo reduza rapidamente o peso do avião ao peso máximo de pouso. O sistema de alijamento de combustível é usualmente dividido em dois sistemas separados e independentes, um para cada asa, para que a estabilidade lateral possa ser mantida pelo alijamento de combustível da asa pesada, se for necessário fazê-lo.

Normalmente, se uma carga desbalanceada de combustível existir, o combustível será usado da asa pesada para alimentar os motores na asa oposta.

O sistema consiste de linhas, válvulas, bocal de alijamento, e mecanismo de operação dos bocais.

Cada asa contém um bocal de alijamento, fixa ou extensível, dependendo do sistema projetado. Em um ou outro caso, o combustível deverá ser descarregado livremente da aeronave.

ANÁLISES E PESQUISA DE FALHAS DO SISTEMA DE COMBUSTÍVEL

No sentido de nos tornar-mos eficiente na arte de analisar e pesquisarmos devemos estar familiarizados com o sistema completo.

Para fazê-lo nos familiarizamos com os esquemas das várias partes do sistema, a nomenclatura das unidades e sua particular função dentro do sistema, estudando os manuais de manutenção da aeronave e motor.

Localização de vazamentos e defeitos

A localização de vazamentos e defeitos das partes internas do sistema de combustível, usualmente, depende da observação do indicador de pressão e operação de válvulas seletoras para determinar onde a pane existe. Análises e pesquisas de falhas internas do sistema de combustível podem ser auxiliados pela visualização das vias de fluxo de combustível, do tanque ao dispositivo medidor de quantidade notando a localização da(s) bomba(s), válvulas seletoras, válvulas de corte de emergência, etc.

A localização de vazamentos ou defeitos nas partes externas do sistema de combustível, requer muito pouco tempo em comparação com a localização de vazamentos internos do sistema. Usualmente vazamentos de combustível são evidenciados por manchas ou pontos molhados (se eles forem recentemente desenvolvidos) e pela presença do odor de combustível.

As tubulações, braçadeiras, juntas, suportes, etc., deverão ser examinados cuidadosamente em cada período de inspeção. Qualquer vazamento ou defeito interno ou externo do sistema de combustível é um potencial de perigo.

Reposição de juntas, selos e gaxetas

No sentido de prevenir vazamentos de combustível, é da maior importância que todas as juntas, selos e gaxetas sejam apropriadamente instaladas.

Os itens a seguir são algumas das precauções gerais que deverão ser sempre observadas.

Quando substituindo unidades do sistema de combustível, é necessário verificar cada parte, quanto a limpeza, assegurar-se que todo o material da junta velha seja removido, e assegurar-se de que nada do selo velho permaneça na cavidade adequada. Substituímos sempre as juntas e selos velhos por outros novos, e verificamos as juntas e selos novos quanto a limpeza e estado, assegurando uma área em ordem para o trabalho.

As superfícies de contato deverão estar perfeitamente planas, para que a junta possa cumprir a função para qual foi projetada. Parafusos, porcas e prisioneiros que mantêm as unidades juntas, deverão estar plenamente apertados ou ajustados para prevenir vazamentos através das juntas ou selos.

REPAROS NOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL

Existem três tipos básicos de tanques de combustível: de chapa de metal soldada, o integral e a célula de borracha.

A inspeção do alojamento dos tanques de combustível, ou a estrutura da aeronave quanto a evidência de vazamentos de combustível, é uma das mais importantes partes da inspeção antes do voo.

Tanques de aço soldado

Os tanques soldados são mais comuns nas pequenas aeronaves monomotoras ou bimotoras. Se os painéis de acesso ao compartimento do tanque estiverem descoloridos, o tanque deverá ser inspecionado

quanto a vazamentos. Quando os vazamentos fore encontrados, o tanque deverá ser drenado e neutralizado. O combustível deve ser drenado de acordo com as instruções locais e as recomendações do fabricante.

A neutralização do tanque pode ser executada pela descarga lenta de uma garrafa de extintor de fogo de CO² (no mínimo, 5 lbs de tamanho) dentro do tanque.

Nitrogênio seco pode ser usado se estiver disponível. Caso o tanque tenha que ser soldado, é necessário removê-lo.

Antes da soldagem, o tanque deverá ser ventilado por um mínimo de oito horas. Isto é para remover todos os vestígios de combustível. A pressão de ar para detectar a área do vazamento, não deve ser superior a ½ libra por polegada quadrada.

Sabão líquido ou uma solução de espuma pincelada sobre a área suspeita, poderá identificar o vazamento.

Os tanques de alumínio são fabricados de ligas soldáveis. Após a rebitagem dos remendos, os rebites podem ser soldados para nos assegurarmos de que não haverá vazamento naquela área.

Uma checagem de pressão deverá ser executada após feito o reparo, para nos certificarmos de que todos os vazamentos foram corrigidos.

Tanques de células de borracha

Os vazamentos nas células de combustível, normalmente aparecem na parte inferior do revestimento das aeronaves. Uma mancha de combustível em qualquer área deverá ser imediatamente investigada.

As células suspeitas de vazamentos devem ser drenadas, removidas da aeronave e checadas por pressão. Quando executando uma checagem de pressão, ¼ ou ½ p.s.i será o mais adequado.

Toda a manutenção das células deve ser executada, de acordo com as especificações do fabricante.

Tanques integrais

O tanque integral é uma parte fixa da aeronave. Devido a natureza do tanque integral, alguns vazamentos permitem que o combustível escape diretamente para a atmosfera. Isto torna

possível considerar desprezível um pequeno vazamento que não represente perigo de fogo nem uma grande perda de combustível.

Para padronizar os procedimentos na manutenção dos tanques integrais, são classificados vários tipos de vazamentos de combustível.

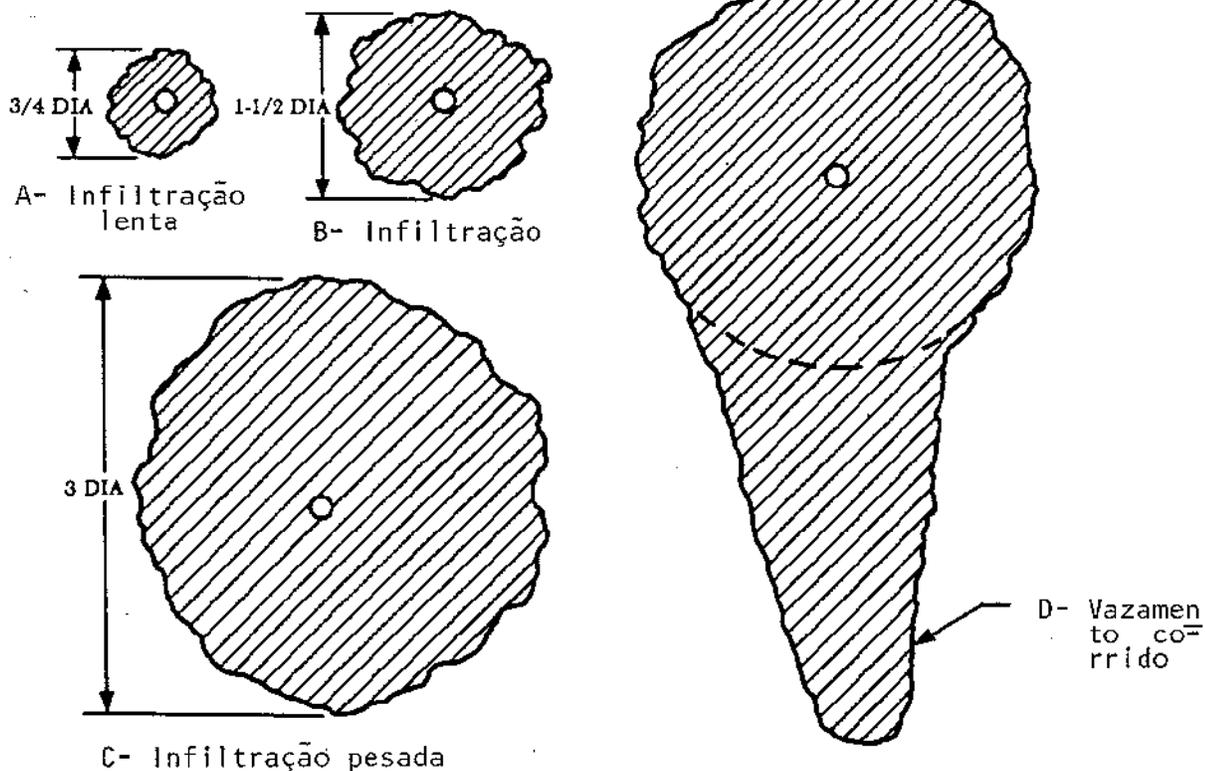


Figura 4-26 Classificação de vazamentos de combustível.

Limpamos a área do vazamento com um pano de algodão limpo, até a secagem total. Ar comprimido pode também ser usado para secar áreas difíceis. Devemos usar óculos de proteção quando utilizarmos ar comprimido na secagem. Pulverizamos a área com talco vermelho para tornar a mancha mais visível.

Após 30 minutos, cada vazamento será classificado dentro de uma das quatro classes: infiltração lenta, infiltração, infiltração pesada, ou vazamento corrido. As quatro classes de vazamento estão mostradas na figura 4-26. Uma infiltração lenta (slow seep) é um vazamento que molha uma área em torno da fonte do vazamento, menor do que 3/4 de uma polegada, em diâmetro.

Uma infiltração (seep) é um vazamento que molha uma área de 3/4 da polegada a 1 1/2 polegada em diâmetro. Uma infiltração pesada

Classificação dos vazamentos de combustível

A medida da área, que um vazamento de combustível umedece em um período de 30 minutos, é usada como classificação padrão.

(heavy seep) é um vazamento de combustível, que molha uma área em torno de uma fonte de vazamento, de 1 1/2 polegada a 3 polegadas de diâmetro. Em nenhuma dessas três classificações o combustível escorre, flui, pinga ou se assemelha a qualquer uma dessas condições após um período de 30 minutos.

A última classificação, o vazamento corrido (running leak), é o mais severo e o mais perigoso. Ele pode pingar da superfície da aeronave, escorrer nas superfícies verticais, ou pode até escorrer o no dedo quando toca na área molhada. A aeronave está indisponível para o voo e deverá permanecer no solo para reparo.

Quando possível, o combustível do tanque com vazamento deve ser removido, após a marca da localização do vazamento. Se for impossível remover o combustível imediatamente, a aeronave deverá ser isolada

em uma área pré-determinada. Colocamos os sinais de aviso apropriados em torno da aeronave, até que o pessoal qualificado remova o combustível do tanque avariado.

A indisponibilidade da aeronave por infiltração lenta, infiltração e infiltração pesada, é determinada pelo manual da aeronave. Esta determinação pode depender da localização do vazamento. Por exemplo, pode o vazamento progredir para uma potencial fonte de fogo? O número de vazamentos em uma determinada área é também um fator contribuinte. Não há uma regra exata para determinar que a aeronave fique indisponível. O vazamento corrido torna a aeronave indisponível, independente da localização.

Podemos ter que lançar no relatório da aeronave, e periodicamente observarmos o progresso do vazamento para determinar se a aeronave estará disponível ou se deverá ser reparada. Quando for necessário o reparo, devemos descobrir a causa do vazamento e efetuar um reparo eficaz.

Reparos de vazamentos

Os reparos de vazamentos, em tanques integrais, devem ser executados de acordo com as determinações do fabricante da aeronave, não sendo, por isso, discutidos neste Manual.

Seguranças contra fogo

O primeiro e mais difícil item na execução da segurança contra fogo, é corrigir o errado conceito sobre a segurança do combustível para turbinas. Logo que esse combustível foi introduzido, muita gente dizia que: “os problemas de fogo em aeronaves estão ultrapassados, o combustível para turbinas é completamente seguro”. Isto obviamente é uma tolice, uma tolice persistente.

O pessoal da linha de vôo está de acordo que a gasolina queima, e, portanto, eles têm exercido razoável cuidado e cautela no seu manuseio. No entanto, eles têm tido dificuldade de serem convencidos de que, sob certas

circunstâncias, o combustível para turbinas é exatamente tão perigoso sob o ponto de vista de fogo.

As características do combustível para turbinas são diferentes daquelas da gasolina.

O querosene, por exemplo, tem uma baixa propagação de chama e da razão de queima, que o torna menos perigoso no caso de um derramamento ou de um acidente no solo. Entretanto, ele se inflama rapidamente quando vaporizado, ou quando pulverizado através de um pequeno vazamento em uma tubulação.

Uma desvantagem dos combustíveis de baixa volatilidade é que eles não evaporam rápida e completamente se derramados na pista, quando um tratamento especial da área é requerido. Pequenas poças de querosene deverão ser removidas com agentes de limpeza absorventes. Nos grandes derramamentos, o melhor é aplicar um emulsificador aprovado e em seguida lavar a mistura resultante com um grande volume de água. Isto evitará ou reduzirá apreciavelmente qualquer resíduo de óleo.

Exatamente como com a gasolina, uma carga eletrostática pode ser formada no bombeamento do combustível através de uma tubulação do sistema.

De fato, a quantidade de carga é maior no querosene por causa do maior peso específico e da extensa gama do ponto de ebulição. A quantidade de carga também aumenta com a alta razão linear do fluxo de combustível, semelhante ao requerido para o reabastecimento de uma aeronave com motor a turbina.

Em consequência, todas as precauções de segurança contra fogo, observadas durante o manuseio da gasolina, devem ser seguidas com igual cuidado quando manuseando com o combustível para turbinas.

Essas precauções são bastante conhecidas e estão detalhadas no boletim nº 47 da National Fire Protection Association. É recomendado que este boletim seja do conhecimento de todo pessoal que manuseia com combustível para turbinas.

CAPÍTULO 5

TUBULAÇÕES E CONEXÕES

INTRODUÇÃO

O termo "tubulações de aeronaves", não se refere somente a mangueiras, tubos e conexões usados em aeronave; mas, também, aos processos de formação e instalação deles.

Ocasionalmente, pode ser necessário reparar ou substituir as tubulações que estejam danificadas nas aeronaves. Na maioria das vezes, o reparo pode ser feito pela simples substituição do tubo. Mas se a substituição não for possível, a fabricação daquela peça torna-se necessária.

A substituição de uma tubulação deverá ser feita por outra do mesmo material e do mesmo formato.

Todas as tubulações são testadas, quanto a pressão, antes da instalação inicial; e são designadas para resistir muitas vezes a pressão normal de operação, para a qual elas serão submetidas.

Se um tubo estourar ou rachar, isto geralmente é o resultado de uma severa vibração, instalação imprópria, ou dano causado pela colisão ou atrito com outro objeto.

Todas as falhas de tubulações deverão ser cuidadosamente estudadas, até que a causa da falha seja determinada.

TUBULAÇÕES

As linhas de tubulações de aeronaves, usualmente são feitas de tubos de metal e ou conexões; ou de tubos flexíveis (mangueiras).

As tubulações de metal são amplamente usadas em aeronaves, para as linhas de combustível, óleo, fluido refrigerante, oxigênio, instrumentos e sistemas hidráulicos.

As tubulações flexíveis são, geralmente, usadas com partes móveis, ou onde a tubulação esteja sujeita a vibração considerável.

Geralmente, as tubulações de liga de alumínio ou de aço resistente à corrosão, têm substituído as tubulações de cobre.

O alto fator de fadiga, das tubulações de cobre, é a razão principal para esta substituição. A vibração o torna endurecido e frágil, e sujeito à rachaduras; porém ele pode ser restaurado

pelo recozimento, aquecido ao rubro e mergulhado em água fria.

A refrigeração pelo ar resultará em um certo grau de amolecimento, mas nunca igual ao obtido com a água fria. Este processo de recozimento deve ser executado, se o tubo de cobre for removido por qualquer razão.

A inspeção do tubo de cobre por rachaduras, endurecimento, fragilidade e condições gerais, deverá ser executada em intervalos regulares para impedir falhas.

A maneabilidade, a resistência à corrosão, e o baixo peso do alumínio e suas ligações; são os principais fatores nesta adoção para as tubulações das aeronaves.

Em algumas instalações hidráulicas especiais de alta pressão (3.000 p.s.i.), são usadas as tubulações de aço resistente à corrosão; as recozidas ou as de 1/4 de dureza.

As tubulações de aço, resistente à corrosão, não devem ser recozidas para "flangear" ou dar a forma necessária. De fato, a seção flangeada é um tanto endurecida pelo trabalho à frio e pelo esforço, durante o processo de flangeamento.

Este aumento da resistência à tensão permite o uso de tubulações com paredes finas; em consequência, o peso final da instalação não é muito maior do que àquela, com tubulações de liga de alumínio e paredes mais grossas.

IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Antes de efetuar reparos em qualquer tubulação de aeronave, é importante efetuar uma acurada identificação do material que são feitas.

As tubulações de liga de alumínio ou aço, podem ser identificadas imediatamente, pela observação do local, onde está sendo usada como material básico. Porém é difícil determinar se o material é aço carbono, aço inoxidável, ou se é liga de alumínio 1100, 3030, 5052-0, ou 2024-T.

Pode ser necessário testar amostras do material quanto à dureza pelo uso da lima, e quanto a arranhões usando um riscador. O teste do ímã é o método mais simples para distinguir entre o aço inoxidável recozido austenítico e o

ferrítico. Os tipos austeníticos não são magnéticos, a menos que excessivamente trabalhados à frio; considerando que o carbono cromado puro e as baixas ligas dos aços são fortemente magnéticos. A figura 5-1, fornece os métodos de identificação dos cinco materiais metálicos, usando os testes do ímã e do ácido nítrico concentrado.

Material	Teste do ímã	Teste do ácido nítrico
Aço carbono	Fortemente magnético	Ação química lenta, marron
18-8	Não magnético	Nenhuma ação
Níquel puro	Fortemente magnético	Ação lenta, verde claro
Monel	Ligeiramente magnético	Ação rápida, azul esverdeado
Aço níquel	Não magnético	Ação rápida, azul esverdeado

Figura 5-1. Identificação dos materiais metálicos

Comparando as marcações em código da tubulação substituta com a marcação original da tubulação que está sendo substituída, é possível identificar definitivamente o material usado na instalação original. A designação da liga é estampada na superfície das grandes tubulações de liga de alumínio; enquanto que nas pequenas, a designação pode ser estampada na superfície - mas muitas vezes ela é mostrada por um código de cores.

Faixas com o código de cor e com a largura máxima de quatro polegadas são pintadas nas duas extremidades e aproximadamente, no meio de algumas tubulações. Quando a faixa é composta de duas cores, a metade é usada com cada uma. Os códigos de cores usados para identificar a liga de alumínio das tubulações são:

Número de liga de alumínio	Cor da faixa
1100	Branca
3003	Verde
2014	Cinza
2024	Vermelha
2052	Púrpura
6053	Preta
6061	Azul e Amarelo
7075	Marron e Amarelo

As tubulações de liga de alumínio, 1100 (1/2 duro) ou 3003 (1/2 duro), são usadas em linhas de uso geral com fluidos, sob pressão baixa ou desprezível, como as linhas dos instrumentos e condutos de ventilação.

O 2024-T e o 5052-O são materiais usados em tubulações de sistemas de uso geral, com pressão baixa ou média, como sistema hidráulico ou pneumático, com pressões entre 1.000 e 1.500 p.s.i.; e linhas de combustível e óleo. Ocasionalmente esses materiais são usados em sistemas de alta pressão (3.000 p.s.i.).

Tubulações feitas com as ligas de alumínio, 2024-T e 5052-O, resistirão uma moderada alta pressão antes de um rompimento. Estes materiais são facilmente flangeados e, são macios o bastante, para serem formados com ferramentas manuais.

Eles devem ser manuseados com cuidado para evitar arranhões, moissas e cortes.

A tubulação de aço resistente à corrosão, tanto a recozida como a de 1/4 de dureza, é usada extensivamente em sistemas hidráulicos de alta pressão, para a operação do trem de pouso, flapes, freios e semelhantes.

As linhas de freio externas devem ser sempre de aço resistente à corrosão, para diminuir o risco de danos causados por pedras, atiradas pelos pneus durante a decolagem e o pouso, e pelo manuseio descuidado no solo.

Embora as marcas de identificação das tubulações de aço sejam diferentes; cada uma, normalmente, inclui o nome do fabricante ou marca registrada, o número SAE, e a condição física do metal.

As tubulações de metal são medidas pelo diâmetro externo, sendo indicadas em 16 avos de polegada. Então, o tubo número 6 mede 6/16 de polegada (ou 3/8"), e o tubo número 8 mede 8/16 de polegada (ou 1/2"), etc.

Como acréscimo para outra classificação ou meio de identificação, as tubulações são fabricadas com várias espessuras de parede.

Assim, quando um tubo está sendo instalado, é importante conhecer não somente o material e o diâmetro externo, mas também a espessura da parede do tubo.

TUBULAÇÕES FLEXÍVEIS (Mangueiras)

As tubulações flexíveis são usadas nos sistemas de tubos, para conectar partes móveis com partes estacionárias, em locais sujeitos a vibração, ou onde uma grande flexibilidade for necessária.

Elas podem, também, atuar como um conector em sistemas de tubulações metálicas.

Mangueiras sintéticas

Os materiais sintéticos mais usados na fabricação de tubos flexíveis são: Buna-N, Neoprene, Butyl e Teflon (marca registrada da Du Pont).

O Buna-N é um composto de borracha sintética, que tem excelente resistência aos produtos do petróleo. Não deve ser confundido com Buna-S. Não usar para fluidos hidráulicos com base fosfato éster (Skydrol).

Neoprene é um composto de borracha sintética, que tem uma base de acetileno. Sua resistência aos derivados do petróleo não é tão boa como a Buna-N, mas tem melhor resistência abrasiva. Não usar para fluidos hidráulicos com base fosfato éster (Skydrol).

Butyl é um composto de borracha sintética, feito de materiais do petróleo bruto. Ele é um material excelente para uso com fluidos hidráulicos, com base fosfato éster (Skydrol). Não usar com derivados do petróleo.

Teflon é a marca registrada Du Pont, para a resina de tetrafluoroetileno. Ele tem uma extensa gama de temperaturas de operação (-54°C a +230°C ou -65°F a +450°F), é compatível com quase todas as substâncias ou agentes usados e oferece pequena resistência ao fluxo. Materiais viscosos e pegajosos, não aderem ao Teflon, que tem menos expansão volumétrica do que a borracha e o período de estocagem e o de serviço, que são praticamente ilimitada.

Mangueiras de borracha

A mangueira de borracha flexível, consiste de um tubo interno de borracha sintética, sem costura, coberto com camadas de algodão trançado e malha de arame, e uma outra camada de borracha, impregnada com malha de algodão.

Este tipo de tubulação é adequado para o uso com combustível, óleo, refrigerante do motor e sistemas hidráulicos. Os tipos de mangueiras, são, normalmente, classificados pela quantidade de pressão que elas são destinadas a resistir, sob as condições normais de operação.

1. Baixa pressão: qualquer pressão abaixo de 250 p.s.i. Reforço de tecido trançado.
2. Média pressão: pressões até 3.000 p.s.i. Reforço de uma malha de arame. Menores medidas suportam pressão até 1.500 p.s.i.

3. Alta pressão: todas as medidas até 3.000 p.s.i. de pressões de operação.

As marcas de identificação, consistindo de linhas, letras e números, são impressas nas mangueiras flexíveis (ver a figura 5-2). Essas marcações, em código, fornecem informações como: medida da mangueira, fabricante, data da fabricação e limites de pressão e de temperatura.

As marcações em código auxiliam na substituição de uma mangueira flexível por outra da mesma especificação, ou uma substituta recomendada.

A mangueira adequada, para o uso com fluido hidráulico de base fosfato éster, é marcada com "Skydrol use".

Em algumas ocasiões, vários tipos de mangueiras podem ser adequados para um uso idêntico. Portanto, para uma perfeita seleção de mangueiras, consultar sempre o manual de manutenção, ou o de peças, para uma aeronave em particular.

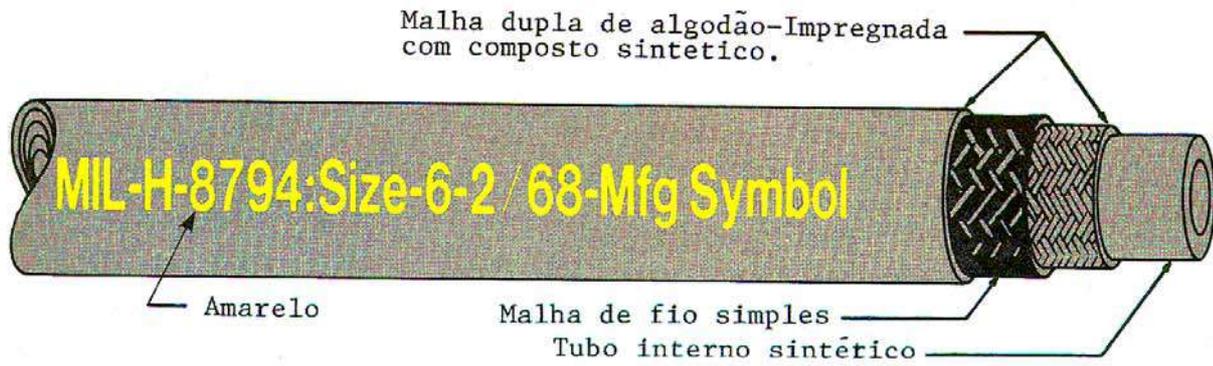
Mangueiras de Teflon

A mangueira flexível de Teflon é projetada para satisfazer às condições de altas temperaturas e pressões, encontradas nos sistemas das aeronaves. Ela pode ser usada da mesma maneira que as mangueiras de borracha. As mangueiras de Teflon são processadas e extrudadas, no formato de tubo, para um determinado tamanho. Elas são cobertas com fios de aço inoxidável, os quais são trançados sobre o tubo, para resistência e proteção.

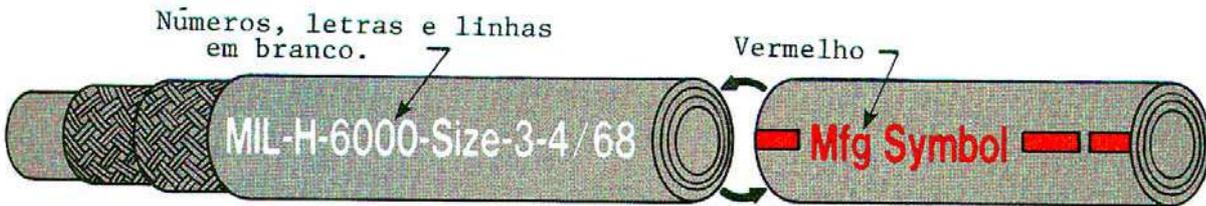
A mangueira de Teflon não é afetada por qualquer combustível conhecido, petróleo ou óleos de base sintética, alcools, líquidos de refrigeração ou os solventes normalmente usados em aeronaves. Embora tenha uma alta resistência à vibração e fadiga, a principal vantagem dessa mangueira é a sua resistência de operação.

Designação do Tamanho

A medida das mangueiras flexíveis é determinada pelo seu diâmetro interno. As variações de tamanho são em incrementos de 1/16 de polegada, e são idênticos aos tamanhos correspondentes das tubulações, com as quais elas podem ser usadas.



A - Resistente a fogo e combustíveis aromáticos.

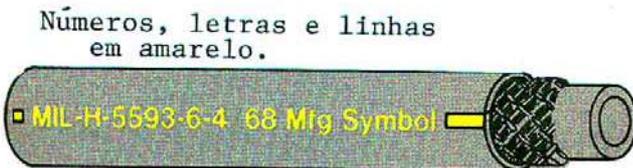


(Vistas mostrando os lados opostos)

B - Mangueira resistente a fogo e combustíveis aromáticos.



C - Mangueira resistente ao óleo, fogo e aromáticos.



D - Resistente a aromáticos e não é auto-selante.



E - Resistente a aromáticos e não é auto-selante.

Figura 5-2 Identificação de tubulações flexíveis.

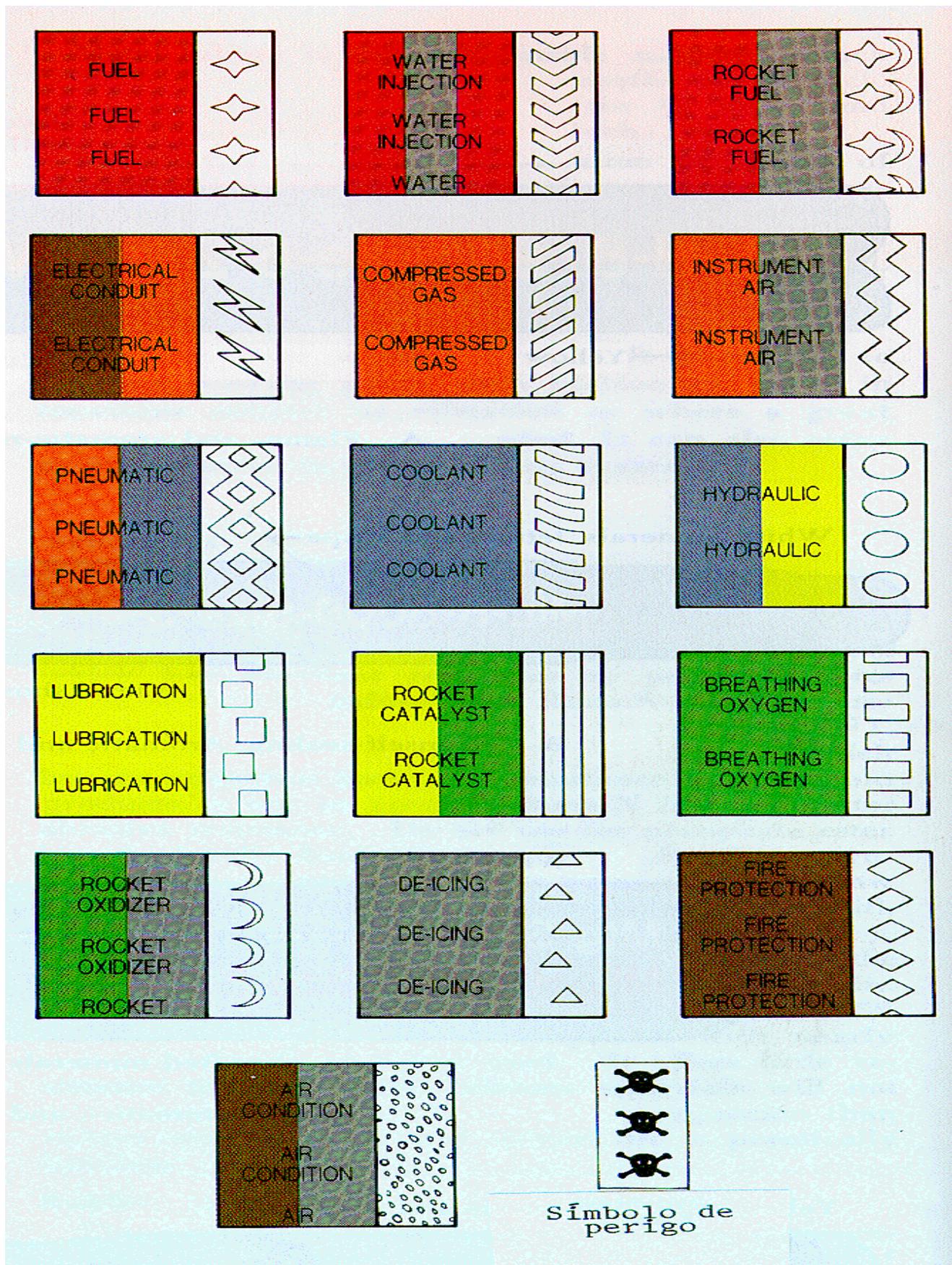


Figura 5-3 Identificação das linhas de fluidos de aeronaves.

Identificação das Linhas de Fluido

As linhas de fluido das aeronaves, são muitas vezes, identificadas por marcações em código de cores, palavras e símbolos geométricos. Essas marcações identificam a função, o conteúdo e o principal perigo de cada linha, tão bem quanto a direção do fluido. A figura 5-3 ilustra os vários códigos de cores e os símbolos usados para designar o tipo de sistema e seu conteúdo.

Na maioria das vezes, as linhas de fluido são marcadas com decalques ou tiras de uma polegada de largura, como mostra a figura 5-4 (A). Em linhas de 4 polegadas de diâmetro (ou maiores), linhas em ambientes gordurosos, linhas quentes e em algumas linhas frias, etiquetas de aço podem ser usadas no lugar de fitas adesivas ou decalques, como é mostrado na figura 5-4 (B). A pintura deve ser usada em tubulações, nos compartimentos do motor onde poderá haver a possibilidade dos decalques, fitas adesivas ou etiquetas a serem sugadas pelo sistema de indução do motor.

Além das marcações mencionadas, certas linhas podem ser identificadas com marcações adicionais, como a função específica de um sistema; por exemplo, DRENO (DRAIN), VENTILAÇÃO (VENT), PRESSÃO (PRESSURE), ou RETORNO (RETURN).

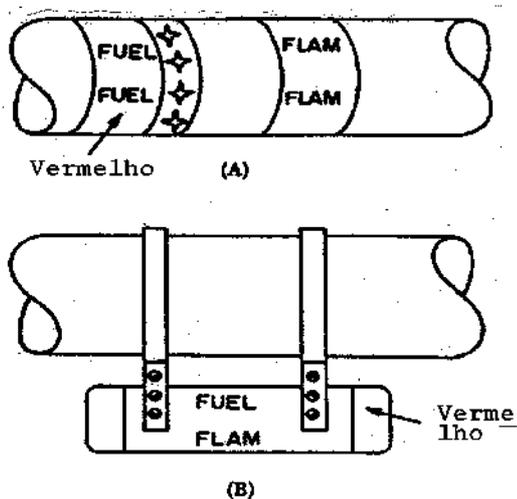


Figura 5-4 Identificação das linhas de fluido usando: (A) fitas e decalques e (B) etiquetas metálicas.

As linhas transportando combustível podem ser marcadas INFLAMÁVEL (FLAM), e as linhas contendo material tóxico são marcadas

TÓXICO (TOXIC) no lugar de INFLAMÁVEL (FLAM). As linhas contendo materiais que possam causar danos físicos, tais como oxigênio, nitrogênio ou freon, são marcadas PHDAN (*physically dangerous*).

Os fabricantes do motor da aeronave são responsáveis pela instalação original das marcas de identificação, mas o mecânico de aviação é responsável pela sua substituição, quando se tornar necessário.

Geralmente, fitas adesivas e decalques, são colocados em ambos os finais de uma linha, e pelo menos um a mais em cada compartimento, por onde a linha passa. Além disso, marcas de identificação são colocadas próximas de cada válvula, regulador, filtro, ou outro acessório, que faça parte de uma linha.

Onde pintura ou etiqueta é usada, as exigências de localização são as mesmas, para as fitas adesivas e os decalques.

CONEXÕES

Os conectores de tubulações ou conexões unem um pedaço de tubo ao outro, ou a uma unidade do sistema. Eles são de quatro tipos: (1) conexões flangeadas, (2) conexões sem flange, (3) friso e braçadeira, e (4) estampadas. A quantidade de pressão que o sistema utiliza é normalmente o fator de decisão na seleção de um conector. O tipo de junta frisada, que necessita de friso, uma seção de tubo flexível (durite) e braçadeiras, é usado somente em sistemas de baixa ou média pressão, como os sistemas de vácuo ou refrigeração do motor. Os tipos flangeados, sem flange e estampados, podem ser usados como conectores em todos os sistemas, independente da pressão.

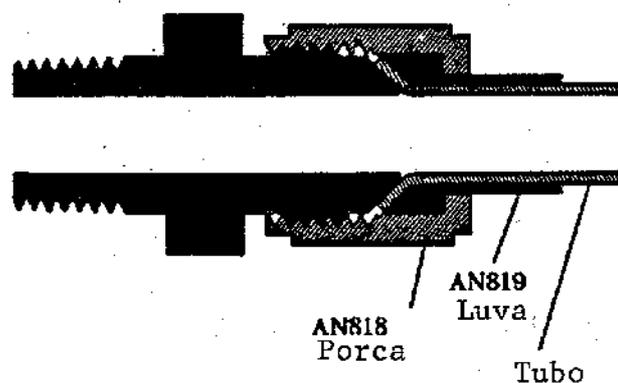


Figura 5-5 Conexão em tubo flangeado.

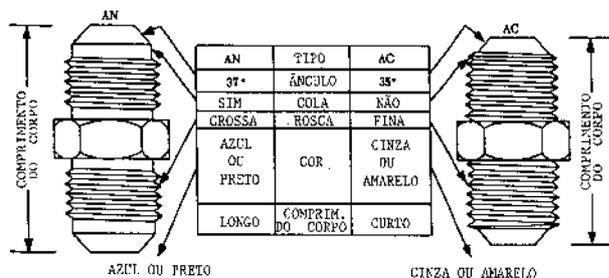


Figura 5-6 Diferenças entre conexões AN e AC.

Conexões Flangeadas

Uma conexão flangeada consiste de uma luva e uma porca, como é apresentado na figura 5-5. A porca é ajustada sobre a luva e, quando apertada, puxa a luva e o tubo, ajustando-os de encontro a conexão, formando um selo.

A tubulação usada com este tipo de conexão deverá ser flangeada antes da instalação.

A conexão "macho", tem a superfície em forma de cone, com o mesmo ângulo da parte interna do flange. A luva apoia o tubo, para que a vibração não se concentre na borda da flange e distribua a ação de cisalhamento sobre uma extensa área, para aumentar a resistência. O flangeamento do tubo e a instalação da conexão adequada, serão discutidos em detalhes mais adiante, neste capítulo.

As conexões flangeadas do tipo AC (Air Corps), vêm sendo substituídas pelas do tipo AN (Army Navy) padrão e MS (Military Standard). Mas, como as conexões AC são usadas em algumas antigas aeronaves, é conveniente saber identificá-las. A conexão AN tem uma gola entre o final da rosca e o cone do flange (ver a figura 5-6). A conexão AC não possui essa gola.

Outras diferenças, entre as conexões AC e AN, incluem o formato da luva, que nas conexões AC são bem mais compridas do que as luvas das conexões AN do mesmo diâmetro. Embora certas conexões flangeadas sejam intercambiáveis, o passo da rosca é diferente na maioria dos casos.

A figura 5-7 apresenta as conexões AN e as AC 811, que podem ser seguramente permutáveis.

As combinações das extremidades das conexões, porcas, luvas e flanges dos tubos, são permitidas para confeccionar um conjunto de conexão completo. O uso de metais diferentes

deve ser evitado, uma vez que os seus contatos causarão corrosão.

Diâmetro externo do tubo	Tipo de rosca da conexão (Mancho)	Tipo da porca (Femea)	Tipo da luva	Flange do tubo
Todas as medidas ¹	AN ¹	AN ¹	AN ¹	AN ¹
Todas as medidas ²	811 ²	811 ²	811 ²	811 ²
Todas as medidas	AN	AN	AN	811
Todas as medidas	AN	AN	811	811
Todas as medidas	AN	AN	811	AN
Todas as medidas	811	811	811	AN
Todas as medidas	811	811	AN	AN
Todas as medidas	811	811	AN	811
1/8,3/16,1/4,5/16,1-3/4,2	AN	811	AN	AN
1/8,3/16,1/4,5/16,1-3/4,2	AN	811	AN	AN
1/8,3/16,1/4,5/16,1-3/4,2	AN	811	811	AN
1/8,3/16,1/4,5/16,1-3/4,2	AN	811	811	AN

¹ Conjunto normal de conexão AN.

² Conjunto normal de conexão AC 811.

Figura 5-7a Intercâmbio de conexões AN e AC 811.

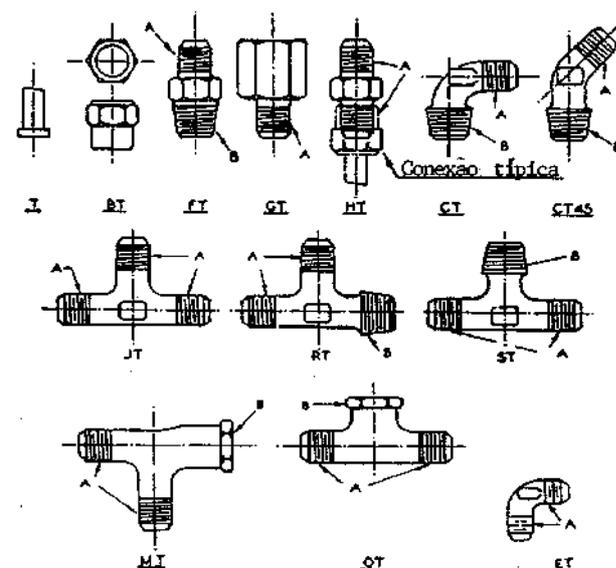


Figura 5-7b Conexões sem solda AC 811.

AN774 a AN932

Material:

- Liga de alumínio (código D)
- Aço..... (código isento de letra)
- Latão(código B)
- Bronze alumínio..(código Z para a luva AN 819)

Medidas:

O número após o traço seguindo o número AN, indica a medida do tubo (ou mangueira) para a qual a conexão foi fei-

ta, em 16 avos da polegada. Esse é a medida do diâmetro externo (O.D.) do tubo e o diâmetro interno (I.D.) da mangueira. Conexões com tubo rosqueado são codificados por números após o traço, indicando a medida em oitavos da polegada. A letra de código do material, como indicado acima, vem a seguir do traço.

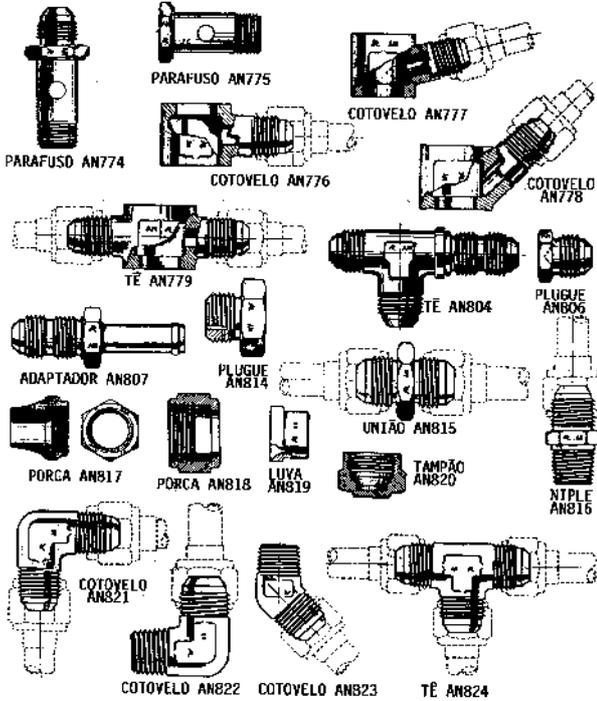


Figura 5-8a Conexões AN.

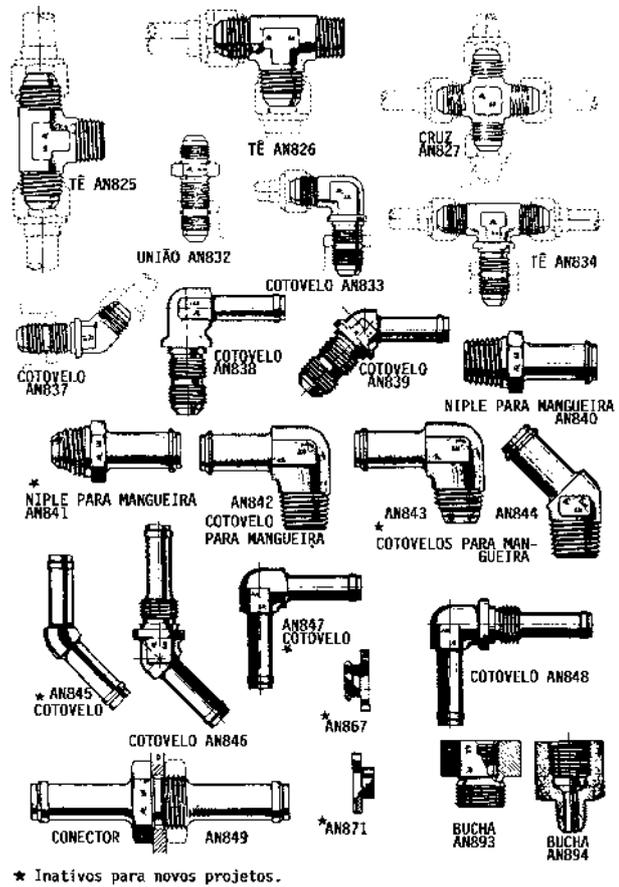
A conexão padrão AN, é a mais comum, no uso de tubos flangeados, para unir tubulações para as várias conexões, nos sistemas das aeronaves. A conexão padrão AN inclui a porca AN 818 e a luva AN 819 (ver figura 5-8). A luva AN 819 é usada com a porca de acoplamento AN 818.

Todas estas conexões têm roscas retas, mas com passos diferentes para os vários tipos.

As conexões flangeadas são feitas de liga de alumínio, aço ou ligas à base de cobre.

Com a finalidade de identificação, todas as conexões AN de aço são coloridas de preto e, todas as conexões AN de liga de alumínio são azuis.

As luvas AN, de alumínio e bronze, são banhadas de cádmio e não são coloridas. A medida dessas conexões é dada em números após um traço, os quais se igualam ao diâmetro externo nominal do tubo (O.D.) em dezesseis avos de uma polegada.



* Inativos para novos projetos.

Figura 5-8b Conexões AN

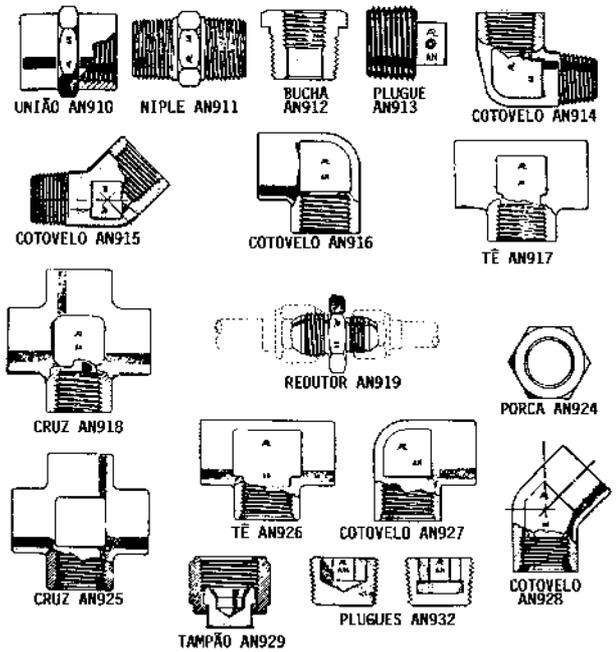


Figura 5-8c Conexões AN.

As conexões flangeadas têm dois tipos de extremidade, chamadas de "macho" e "fêmea". A extremidade macho de uma conexão é rosqueada externamente, enquanto que, a extremidade fêmea de uma conexão é internamente.

Conexões sem Flange

As conexões sem flange MS (*Military Standard*), têm obtido ampla aplicação nos sistemas de tubulações de aeronaves. Usando este tipo de conexão, elimina-se todo o flangeamento de tubos, e ainda proporciona-se uma conexão de tubo segura, forte e digna de confiança. A conexão consiste de três partes: um corpo, uma luva e uma porca. O corpo tem um ressalto contra o qual a extremidade do tubo apóia-se (ver figura 5-9).

O ângulo do ressalto força o bordo cortante da luva a penetrar na parte externa do tubo, quando o conjunto é unido. A instalação, das conexões sem flange, será discutida em outra parte deste capítulo.

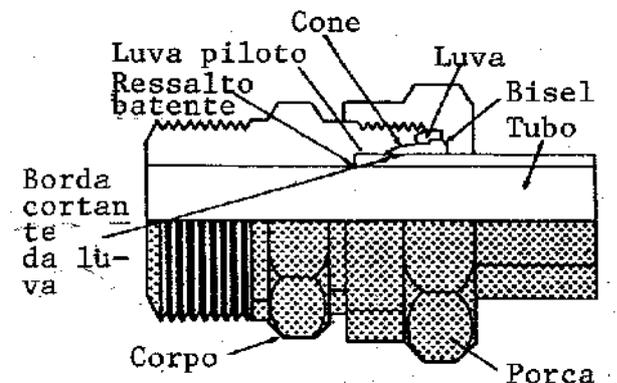


Figura 5-9 Conexão para tubo sem flange.

Acoplamento de desconexão rápida

Os acoplamentos de desconexão rápida do tipo auto-selante são usados em várias pontas de muitos sistemas de fluidos. Os acoplamentos são instalados em locais onde são freqüentes os desacoplamentos de linhas, para inspeção e manutenção.

Os acoplamentos de desconexão rápida permitem que uma linha seja desconectada rapidamente, sem que haja perda de fluido ou entrada de ar no sistema.

Cada conjunto de acoplamento consiste de duas metades, mantidas unidas por uma porca de união.

Cada metade contém uma válvula, que é mantida aberta quando o acoplamento está conectado, permitindo que o fluido saia através do acoplamento em qualquer direção. Quando o acoplamento é desconectado, uma mola em cada me-

tade fecha a válvula, evitando a perda do fluido e a entrada de ar.

A porca de união tem uma rosca de avanço rápido, que permite o acoplamento e o desacoplamento do conjunto pelo giro da porca. A quantidade de vezes que a porca tem que girar, varia com os diferentes estilos de acoplamentos. Um estilo requer um quarto de volta da porca de união para travar ou destravar o acoplamento, enquanto um outro estilo requer uma volta completa.

Alguns acoplamentos requerem uma chave para o aperto final; outros são conectados e desconectados apenas com a mão.

O tipo de alguns acoplamentos, é tal, que eles devem ser frenados com arame; outros não necessitam frenagem, porque uma trava positiva é assegurada por um dente da mola de travamento, que engraza em um entalhe na porca de união quando o acoplamento estiver totalmente engrazado.

A mola de trava automaticamente desengraza quando a porca de união é desapertada. Devido a diferenças individuais, todos os acoplamentos de desconexão rápida deverão ser instalados de acordo com as instruções do manual de manutenção da aeronave.

Conectores flexíveis

Os conectores flexíveis podem ser equipados, tanto com terminais estampados como destacáveis, ou eles podem ainda ser usados com tubos frisados e braçadeiras. Aqueles equipados com terminais estampados são requisitados pelo comprimento correto ao fabricante e, normalmente, não podem ser montados pelo mecânico. Eles são estampados e testados na fábrica, e equipados com terminais padronizados.

Os terminais dos conectores destacáveis podem ser separados e reaproveitados enquanto não estiverem danificados; quando estiverem, novos terminais deverão ser usados.

O conector formado por tubos frisados, durites e braçadeiras são muitas vezes usados para conectar tubulações de óleo, refrigerante e sistemas de combustível de baixa pressão.

O friso, uma pequena elevação ao redor do tubo ou da conexão, dá uma boa retenção na borda do tubo que auxilia a manter a durite e a braçadeira em seus lugares.

O friso pode estar próximo ao final de um tubo de metal, ou na extremidade de um terminal.

Processos de Formação de Tubulações

Tubulações danificadas e linhas de fluido devem ser substituídas por novas sempre que possível. Algumas vezes a substituição é impraticável, sendo necessário um reparo. Arranhões, desgastes e pequena corrosão na parte externa de linhas, podem ser considerados desprezíveis e, podem ser removidos com uma politriz ou esponja de alumínio.

As limitações de quantidade da parte danificada que podem ser reparadas desta maneira serão discutidas mais adiante neste capítulo, sob o título "Reparos de linhas de tubos metálicos".

Se um conjunto de linhas de fluido tiver que ser substituído, os terminais podem muitas vezes ser aproveitados; então, o reparo envolverá somente a formação dos tubos e a substituição.

A formação de tubos consiste de quatro processos: (1) corte, (2) dobragem, (3) flangeamento; e (4) confecção de frisos. Se uma tubulação for pequena e de um material mole, o conjunto pode ser formado com a mão, dobrando durante a instalação. Se a tubulação tiver 1/4 de polegada de diâmetro, ou mais, o dobramento com a mão, sem o auxílio de ferramentas é impraticável.

Corte de Tubos

Quando as tubulações estão sendo cortadas, é importante produzir uma extremidade em esquadro, e livre de rebarbas.

As tubulações podem ser cortadas com o cortador de tubos ou um arco de serra. O cortador pode ser usado com qualquer tubo de metal macio, tal como o cobre, alumínio ou liga de alumínio.

O uso correto do cortador de tubo é mostrado na figura 5-10.

Uma peça de tubulação deverá ser cortada, aproximadamente, dez por cento a mais do tubo a ser substituído, para evitar uma variação a menos durante as dobras.

Coloque o tubo na ferramenta de cortar, com a roda cortante no ponto onde o corte deve ser feito. Gire o cortador em torno da tubulação, aplicando uma leve pressão na roda cortante, pelo intermitente giro do parafuso de regulação.

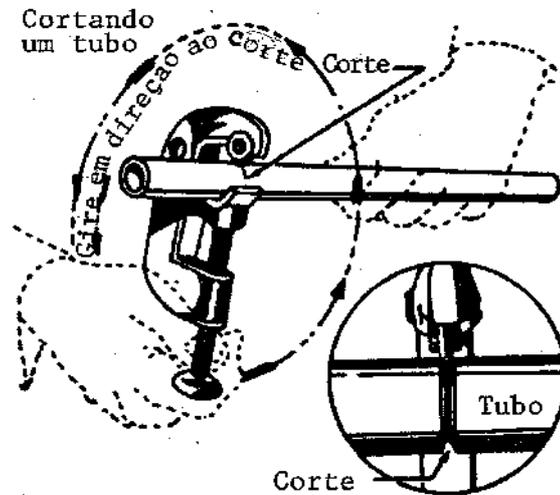


Figura 5-10 Cortando um tubo.

Uma pressão exagerada na roda cortante de uma só vez deformará o tubo ou causará excessivas rebarbas. Após o corte do tubo, remova cuidadosamente todas as rebarbas das partes interna e externa. Use uma faca ou o removedor de rebarbas, fixado ao cortador de tubos.

Quando executando a operação de remover as rebarbas, use de extremo cuidado para que a espessura do final do tubo não seja reduzida ou fraturada. Pequenos danos deste tipo poderão ocasionar flanges fraturados ou defeituosos, que não vedarão perfeitamente.

Uma lima de dentes finos pode ser usada para deixar a extremidade do tubo em esquadro e perfeitamente lisa. Se não houver um cortador de tubo disponível, ou se a tubulação for de material duro, ela pode ser cortada usando-se uma serra de dentes finos, de preferência que tenha 32 dentes por polegada.

O uso de uma serra diminuirá a quantidade de trabalho de endurecimento do tubo durante a operação de corte. Após o corte, lime a extremidade do tubo em esquadro e remova todas as rebarbas.

Um meio fácil de prender um tubo de pequeno diâmetro, quando for cortado, é colocando o tubo em uma combinação de ferramenta de flangear e prendendo a ferramenta em uma morsa.

Faça o corte a aproximadamente meia polegada da ferramenta de flangear. Este procedimento, mantém as vibrações reduzidas a um mínimo e evita danos ao tubo, se ele, acidentalmente, golpear o arco de serra ou o cabo da lima durante o corte. Assegure-se de que todas as lixas foram removidas do tubo.

Dobragem do Tubo

O objetivo da dobragem de um tubo é obter uma curva suave, sem achatamento do tubo. Uma tubulação com um diâmetro inferior a um quarto de polegada, normalmente pode ser dobrada sem o uso de ferramentas.

Para tamanhos maiores, um dobrador de tubo manual, semelhante ao mostrado na figura 5-11, é o normalmente usado.

Para dobrar uma tubulação com um dobrador manual de tubos, introduza o tubo pelo levantamento do cabo da barra corrediça, tanto quanto possível. Comanda-se a trava sobre o tubo e ajusta-se o cabo, para que o total comprimento da luva na barra corrediça esteja em contato com a tubulação.

O zero marcado no bloco radial e a marca na barra corrediça deverão estar alinhados. A curvatura do tubo, deve ser feita girando o cabo da barra até que o desejado ângulo de curvatura seja obtido, como indicado no bloco radial.

Dobramos o tubo, cuidadosamente, para evitar achatamento, pregas ou enrugamento.

Um pequeno achatamento em uma curvatura é aceitável, mas o menor diâmetro de uma porção achatada, não pode ser menor do que 75 por cento do diâmetro externo original. Tubulações com curvas achatadas, pregueadas ou irregulares não deverão ser instaladas. Curvas enrugadas, normalmente resultam de uma dobradura forçada, em um tubo de parede fina, sem utilizar a ferramenta adequada. Exemplos de curvaturas corretas e incorretas são mostrados na figura 5-12.

As máquinas dobradoras de tubos, para todos os tipos de tubulações, são geralmente usadas em oficinas de reparos e em grandes parques de manutenção.

Com este equipamento, curvaturas adequadas podem ser feitas em tubulações de grandes diâmetros e em tubos feitos de materiais

mais duros. A dobradora de tubos por produção é um exemplo desse tipo de máquina.

A dobradora de tubos por produção mais comum pode acomodar tubulações com o diâmetro externo de 1/2 polegada a 1 1/2 de polegada. Existem dobradoras para medidas maiores, e o princípio de operação é semelhante ao da dobradora de tubos manual. Os blocos radiais são construídos de modo que o raio da curva varie com o diâmetro do tubo. O raio da curva é, normalmente, estampado no bloco.

Quando uma dobradora de tubos manual, ou uma dobradora de tubos por produção não estiverem disponíveis para uma particular operação de dobragem, um material de enchimento de composição metálica ou areia seca pode ser usado, para facilitar a dobragem. Quando usando este método, cortamos o tubo ligeiramente maior do que o necessário. A medida a mais é para fazer uma vedação (pode ser com um pedaço de madeira), em cada extremidade.

Após vedarmos uma extremidade, enchamos o tubo com areia fina e seca e vedamos a outra ponta. Ambos os plugues devem estar firmes para que não sejam expelidos quando o tubo for dobrado. O tubo pode também ser vedado amassando as pontas, ou soldando discos de metal nas extremidades. Após o tubo cheio e as extremidades fechadas, dobramos o tubo sobre um bloco com o formato do raio desejado.

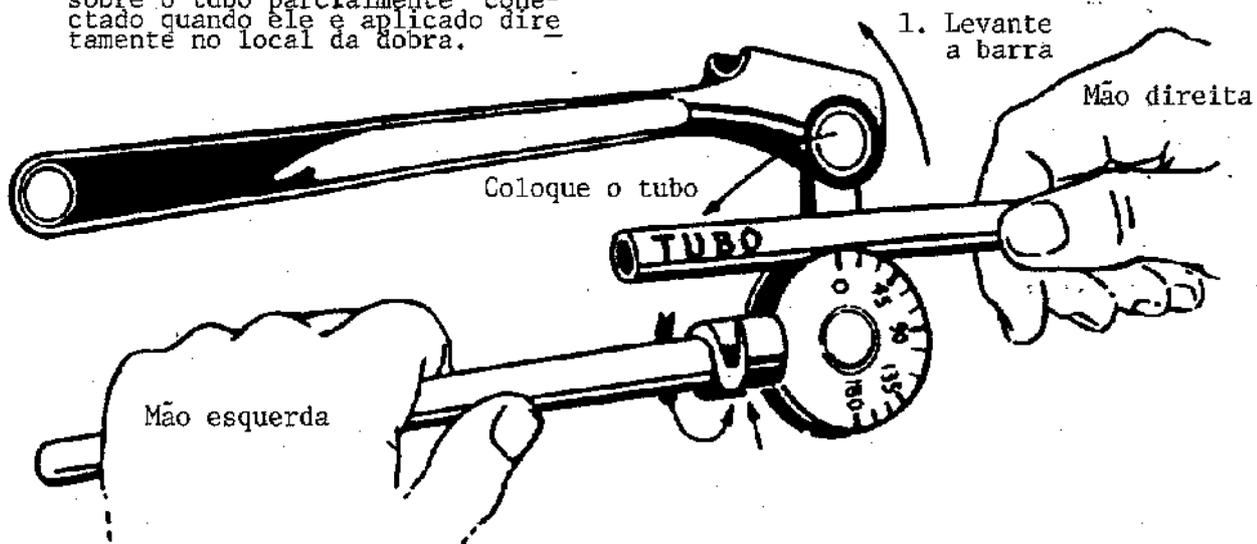
Em outra versão do processo de enchimento, uma liga fusível é usada no lugar da areia. Neste método, o tubo é enchido sob água quente com uma liga fusível que derrete a 70° C (160° F).

Após o enchimento do tubo com a liga, ele é retirado da água e, após esfriar, é dobrado lentamente com a mão em torno de um bloco-fôrma ou com a ferramenta dobradora de tubos. Após a curva ser feita, a liga é novamente derretida sob a água quente e removida do tubo.

Quando usando qualquer um dos métodos de enchimento, nos certificamos de que todas as partículas do enchedor foram removidas, para que nenhuma delas seja transportada para o sistema no qual o tubo será instalado.

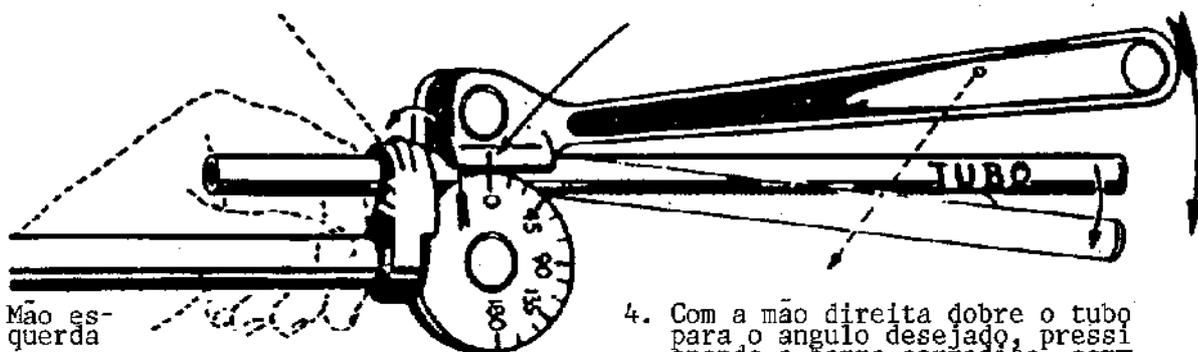
Guarda-se a liga fusível de enchimento quando estiver livre de pó ou detritos. Ela poderá ser derretida e reaproveitada tantas vezes sejam desejadas.

Nota: Esse dobrador pode ser deslizado sobre o tubo parcialmente conectado quando ele é aplicado diretamente no local da dobra.



3. Feche a trava

Nota: A marca "zero" coincidindo com a marca no bloco radial.



4. Com a mão direita dobre o tubo para o ângulo desejado, pressionando a barra corredeira como mostrado abaixo.

Para remover o tubo dobrado, levante a barra corredeira para a posição original e solte a trava.

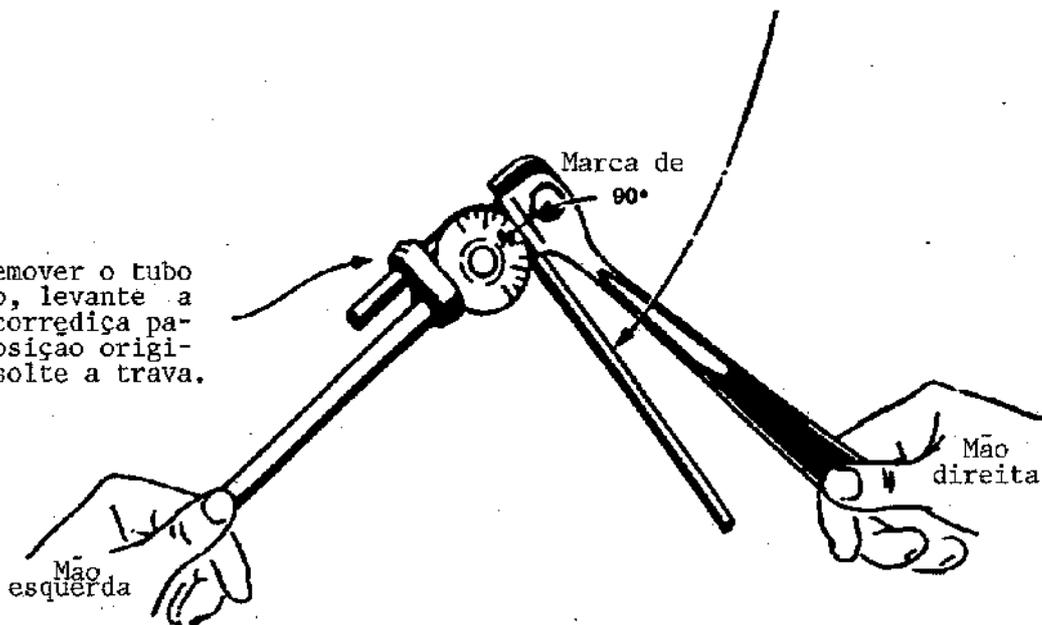


Figura 5-11 Dobragem de tubos.

Nunca devemos aquecer esta liga por qualquer outro método que não seja o prescrito,

porque a liga poderá grudar-se no interior do tubo, tornando ambos imprestáveis.

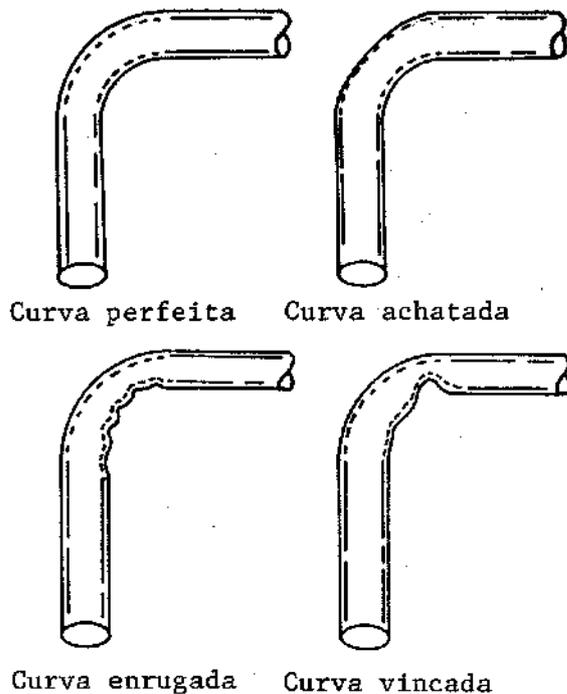


Figura 5-12 Curvas de tubos corretas e incorretas.

Flangeamento de Tubos

Duas espécies de flanges são geralmente usadas nos sistemas de tubulações de aeronaves, o simples e o duplo flange. Os flanges são frequentemente expostos a pressões extremamente altas; portanto o flange na tubulação deve ser corretamente formado, ou a conexão vazará ou apresentará falhas.

Um flange muito curto produzirá uma junta deficiente, a qual poderá vazar ou desligar-se; se for muito longo ele irá interferir com a devida ligação da rosca da conexão e causará vazamento. Um flange torto ou inclinado é o resultado de um tubo que não foi cortado no esquadro. Se um flange não for feito corretamente, as imperfeições não podem ser corrigidas pela aplicação de um torque adicional ao aperto da conexão. O flange e a tubulação devem estar livres de rachaduras, mossas, cortes, arranhões ou quaisquer outros defeitos.

A ferramenta de flangear usada nas tubulações de aeronaves, possui matrizes macho e fêmea, para produzir flanges de 35° a 37°. Sob nenhuma circunstância é permitido o uso de uma ferramenta de flangear do tipo automotiva, a qual produz um flange de 45°.

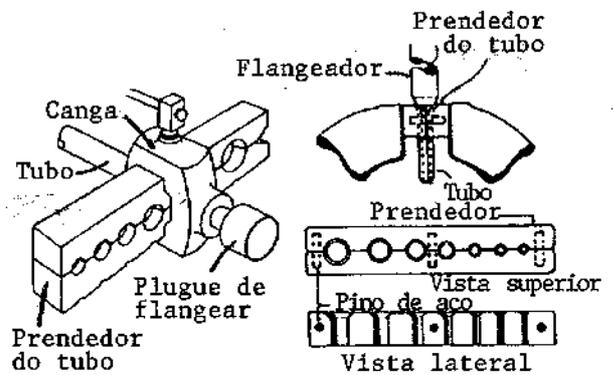


Figura 5-13 Ferramenta manual de flangear (flange simples).

Flange Simples

Uma ferramenta manual de flangear, semelhante a que foi mostrada na figura 5-13 é usada para flangear tubulações.

A ferramenta consiste em um bloco flangeador ou matriz de aperto, uma forquilha e um pino flangeador. O bloco é formado por duas barras unidas, como dobradiça, contendo orifícios para vários tamanhos de tubulações. Esses orifícios são escareados (alargados) em uma das extremidades, formando o suporte externo, contra o qual o flange é formado. A forquilha é usada para centralizar o pino flangeador sobre a extremidade do tubo, que será flangeado, e unir as duas barras fixando a tubulação.

A preparação de um tubo para flangear consiste em cortar o tubo em esquadro, remover as rebarbas, instalar a porca de fixação e a luva, e em seguida, colocar o tubo na ferramenta de flangear, usando o orifício adequado ao diâmetro do tubo.

O plugue ou o pino de flangear é centralizado na abertura do tubo. Empurramos o tubo para que a extremidade se projete acima da superfície das duas barras, na espessura aproximada de uma moeda e, apertamos o parafuso de fixação da forquilha, a fim de evitar que o tubo deslize.

O flange, é feito aplicando várias batidas no plugue ou pino, usando um martelo ou um macete de pouco peso. Gira-se o plugue um quarto de volta após cada batida, é preciso assegurar seu assentamento correto no flange, antes de remover o tubo da ferramenta de flangear. Há um teste do flange, colocando a luva na posição de encontro a ele.

O diâmetro externo do flange deverá estender-se aproximadamente a um dezesseis de polegada além da luva, mas não poderá ultrapassar em largura ao maior diâmetro externo da luva.

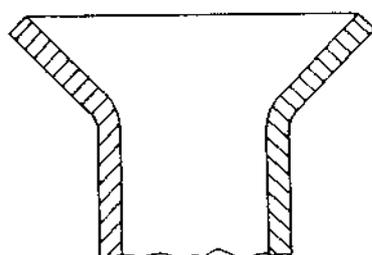
Flange duplo

O flange duplo deverá ser usado nas tubulações de liga de alumínio 5052-0 e 6061-T, para todos os tamanhos de 1/8 a 3/8 de polegada de diâmetro externo. Isto é necessário para evitar o corte do flange e a falha do conjunto do tubo sob as pressões de operação.

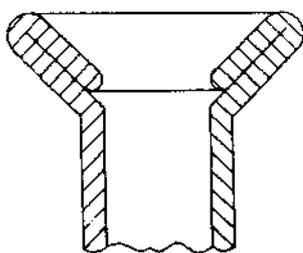
O duplo flange não é necessário em tubulações de aço. Veja na figura 5-14, a ilustração de um tubo com flange simples e outro com flange duplo.

O flange duplo é mais liso e mais concêntrico do que o simples e, portanto, veda melhor. Ele é também mais resistente ao cisalhamento causado pelo torque.

Para fazer o flange duplo; separamos os blocos da ferramenta de duplo flange, introduzimos o tubo e apertamos a braçadeira, prendendo o tubo com o final, faceando a parte superior da braçadeira.



A - Flange simples



B - Flange duplo.

Figura 5-14 Vista em corte de flange simples e duplo.

Introduzimos o pino de partida dentro do pino guia de flangeamento e batemos com um martelo, até que o ressalto do pino encoste nos blocos da braçadeira. O pino de partida é remo-

vido e o pino de acabamento encaixado; martelamos o pino até que o seu ressalto encoste no bloco da braçadeira.

Frisamento

As tubulações podem ser frisadas com uma ferramenta frisadora manual, com máquina frisadora de rolos ou com "grip-dies". O método a ser usado depende do diâmetro e da espessura do tubo, e do material de que ele é feito.

A ferramenta frisadora manual é usada com tubulações que têm de 1/4 a 1 polegada de diâmetro externo. O friso é formado usando a forma de frisar com o rolo apropriado fixado. A parte interna e a externa do tubo devem ser lubrificadas com óleo fino para reduzir a fricção entre os rolos durante o frisamento. Os tamanhos marcados em dezesseis avos de uma polegada nos rolos, são para os diâmetros externos dos tubos que podem ser frisados com os rolos.

Os rolos são fornecidos separados para cada medida interna de tubo, e muito cuidado deve ser tomado com o uso correto das partes quando fazendo o friso. A ferramenta manual de frisar, trabalha de modo semelhante ao da cortadora de tubo, em que o rolo é aparafusado intermitentemente, enquanto a ferramenta de frisar vai sendo girada ao redor do tubo. Além disso, uma pequena morsa (para manter o tubo), é fornecida com o conjunto. Exemplos do uso do friso são mostrados na figura 5-16.

Outros métodos e tipos de ferramentas de frisar e máquinas são encontrados, mas a ferramenta frisadora manual é utilizada com muito mais frequência. Como se fosse uma regra, as máquinas de frisar tem o seu uso limitado com tubulações de grandes diâmetros, acima de 1 15/16 de polegada, a menos que sejam fornecidos rolos especiais. O método "grip-die" de frisamento é relativo apenas aos pequenos tubos.

Conjunto de tubo sem flange

Embora o uso de tubos sem flange em algumas conexões, elimine todos os flangeamentos de tubos; uma outra operação, chamada pré-colocação, é necessária antes da colocação de uma nova conexão de tubo sem flange.

A figura 5-15 (itens 1, 2 e 3), ilustra a operação de pré-colocação, a qual consiste do seguinte:

a - Cortar o tubo no comprimento correto e com as extremidades perfeitamente em esquadro. Remover as rebarbas da parte interna e da externa do tubo. Colocar a porca e a luva sobre o tubo (item 1);

b - Lubrificar os fios de rosca da conexão e da porca, com fluido hidráulico. Colocar a conexão em uma morsa (item 2), e manter a tubulação assentada firmemente e em esquadro na conexão. O tubo deve apoiar-se firmemente na conexão. Apertar a porca até que a aresta cortante da luva prenda o tubo.

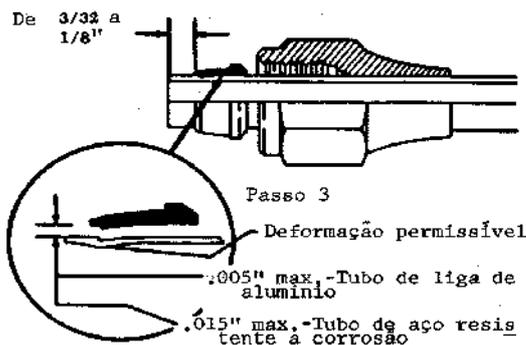
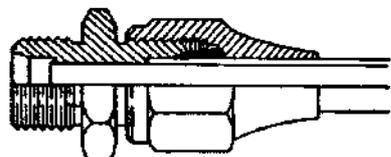
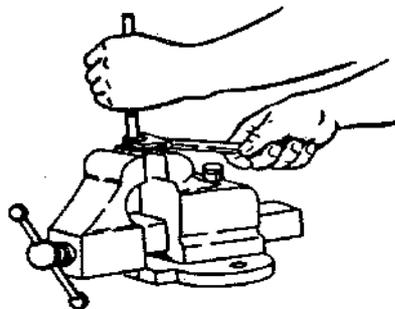
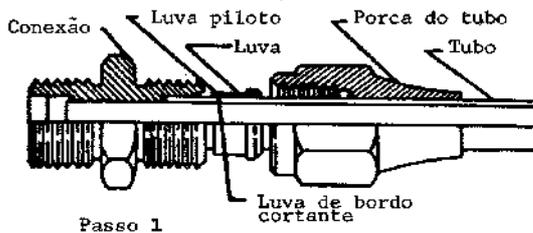


Figura 5-15 Pré-montagem de um conjunto de tubo sem flange.

Este ponto é determinado por uma leve girada do tubo para trás e para adiante, enquanto a porca estiver sendo apertada. Quando o tubo não mais girar, a porca está pronta para o aperto final;

c - O aperto final depende da tubulação. Para a liga de alumínio acima e, incluindo, 1/2 polegada de diâmetro externo, apertar a porca em giros de 1/6 de volta (uma face) de cada vez. Para as tubulações de aço e de liga de alumínio superiores a 1/2 polegada de diâmetro externo, apertar a porca em giros de 1/6 de volta a 1/2 de volta, de cada vez.

Após a pré-colocação da luva, desconectamos a tubulação da conexão e checamos os seguintes pontos, ilustrados no item 3:

a - O tubo deverá estender-se de 3/32 a 1/8 de polegada, além da luva piloto; de outro modo o tubo poderá escapar;

b - A luva piloto deverá estar em contato com o tubo, ou ter uma folga máxima de 0.005 de polegada nos tubos de liga de alumínio, ou 0.015 de polegada para os tubos de aço;

c - Uma pequena deformação causada pela luva piloto é admissível. Nenhum movimento da luva piloto é aceitável, exceto o de rotação.

REPAROS NAS LINHAS COM TUBOS DE METAL

Arranhões ou cortes, com menos de 10 por cento da espessura da parede dos tubos de liga de alumínio, podem ser reparados se eles não estiverem na curva de uma dobradura.

As tubulações são substituídas com marcas profundas, rugas ou cortes. Qualquer rachadura ou deformação no flange também é inaceitável, além de ser uma causa para rejeição. Uma moessa menor do que 20 por cento do diâmetro do tubo, não causa problema, a não ser que esteja na curva de uma dobradura. Mossas podem ser removidas, puxando-se uma peça com a medida do tubo e, através dele, por meio de um cabo.

Uma linha severamente danificada deverá ser substituída. Contudo, a linha pode ser reparada, cortando-se a seção danificada e inserindo-se uma seção de tubo do mesmo tamanho e mesmo material. Flanges nas extremidades das seções de tubo, são feitos em perfeitas condições; e preparamos as conexões, usamos uniões padronizadas, luvas e porcas de tubos. Se a porção danificada for curta demais, descartamos o tubo e fazemos o reparo, usando uma união e dois conjuntos de conexões.

Quando reparando linhas danificadas, seja cuidadoso ao remover todas as rebarbas e limalhas. Qualquer linha aberta que for permanecer por algum tempo sem utilização, deverá ser selada com plugues de metal, madeira, borracha ou plástico; ou então, com tampões.

Quando reparando tubulações de baixa pressão, usando um conjunto de conexão flexível, deixamos posicionadas cuidadosamente as braçadeiras para evitar que escapem das durites ou provoquem desgaste; com os parafusos de aperto nas partes adjacentes. Se houver a possibilidade de desgaste, as braçadeiras devem ser mudadas de posição na durite. A figura 5-16, ilustra uma conexão flexível e fornece as admissíveis variações angulares e dimensionais.

Formato das linhas

Remove-se a linha do conjunto que estiver danificada ou desgastada, tomando o cuidado de não aumentar o defeito, ou torcer a tubulação, para poder usá-la como modelo na fabricação da nova peça.

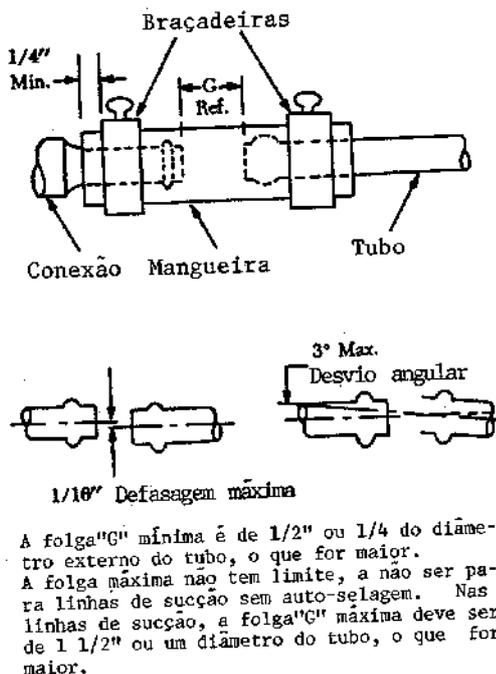


Figura 5-16 Conexão de tubos flexíveis.

Se o total comprimento da tubulação não puder ser aproveitado como um gabarito, preparamos um modelo de arame, dobrando-o com a mão como necessário para o novo conjunto. Dobramos, então, a tubulação, seguindo o modelo de arame.

Nunca se escolhe um formato que não tem curvas nas tubulações. Um tubo não pode

ser cortado ou flangeado corretamente, para que possa ser instalado sem dobras e livre de esforços mecânicos. As dobras são também necessárias para permitir a expansão ou contração da tubulação, quando exposta a variações de temperatura e, para absorver vibração. Se o tubo for muito fino (abaixo de 1/4 de polegada de diâmetro externo), e puder ser formado com as mãos, curvas ocasionais podem ser feitas para permitir isto. Se o tubo pode ser formado à máquina, curvas exatas devem ser feitas para permitir um conjunto perfeito.

Começamos todas as curvas a uma razoável distância das conexões, porque as luvas e porcas necessitam ser afastadas durante a fabricação dos flanges e durante as inspeções.

Em todos os casos, um novo conjunto de tubos deve ser formado antes da instalação para que não seja necessário puxar ou torcer o conjunto para conseguir o alinhamento por meio de esforço nas porcas de conexão.

FABRICAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DE TUBOS FLEXÍVEIS

Mangueiras ou conjunto de tubos flexíveis deverão ser checados a cada período de inspeção. Vazamento, separação da camada externa ou da malha da camada interna do tubo, rachaduras, endurecimento, perda da flexibilidade, excessivas e profundas marcas deixadas pela braçadeira, ou pelos suportes são sinais de deterioração e razões para a substituição.

Quando ocorrem falhas nas tubulações flexíveis (mangueiras), equipadas com terminais estampados, o conjunto todo deverá ser substituído.

O melhor é obter um conjunto novo, de comprimento e diâmetro corretos e com terminais instalados na fábrica.

Quando ocorrem falhas em mangueiras equipadas com terminais reaproveitados, uma linha para substituição pode ser fabricada com o uso daquele ferramental, que pode ser necessário para cumprir as instruções de montagem feitas pelo fabricante.

Montagem de terminais tipo luva

Os terminais do tipo luva para tubulações flexíveis são removíveis, sendo reaproveitados se forem considerados em boas condições de serviço. O diâmetro interno do terminal é

igual ao diâmetro interno da mangueira, na qual será instalada. Terminais comuns do tipo luva são mostrados na figura 5-17.

Para montarmos um conjunto de mangueira, selecionamos o tamanho adequado da tubulação flexível e do terminal. Não devemos deixar de cortar a mangueira no comprimento correto, usando um arco de serra, equipado com uma lâmina de serra de dentes finos.

A seguir prende-se a soquete em uma morsa, e a atarraxamos a mangueira no sentido contrário aos ponteiros do relógio, até que a extremidade da mangueira atinja o ressalto batedente da soquete (figura 5-18); então, voltamos um quarto de volta.

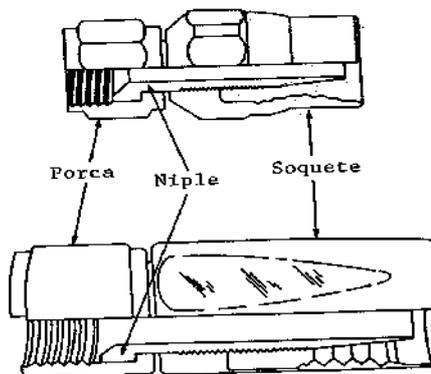


Figura 5-17 Conexão tipo luva.

Iniciamos a lubrificação da rosca interna da soquete e a externa do bocal (*niple*) com bastante óleo; a posição da mangueira é marcada em torno da parte traseira da soquete, com um lápis de cera, ou uma linha pintada.

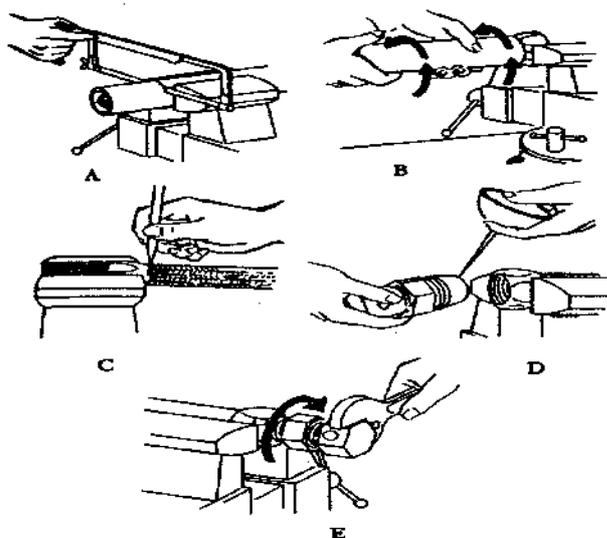


Figura 5-18 Conjunto de conexão MS para tubos flexíveis.

Introduzimos o bocal na porca e apertamos o conjunto (porca e bocal) na ferramenta de montagem. Se uma ferramenta de montagem não estiver disponível, um adaptador conjugado, AN 815, pode ser usado.

Utilizando uma chave na ferramenta de montagem, o bocal é atarrachado, dentro da soquete e da mangueira.

Um espaço de 1/32 a 1/16 de polegada entre a porca e a soquete, é necessário para permitir que a porca gire livremente quando a ferramenta de montagem for removida.

Após a montagem, certifique-se de que todo corpo estranho foi removido da parte interna da mangueira, após um jato de ar comprimido.

Teste após a montagem

Todas as tubulações flexíveis devem ser testadas após a montagem, bloqueando uma das extremidades da mangueira e, aplicando pressão no seu interior. O teste pode ser feito com um líquido ou um gás.

Por exemplo, linhas de sistema hidráulico, combustível e óleo são, geralmente, testados usando fluido hidráulico ou água, ao passo que as linhas de ar ou de instrumentos são testadas a seco, livre de óleo ou nitrogênio.

Quando o teste é realizado com líquido, todo o ar aprisionado deve ser liberado do conjunto, antes do aperto final dos plugues ou tampas.

Os testes das mangueiras, usando-se gás, são executados sob a água. Em todos os casos devem ser seguidas as instruções do fabricante das mangueiras, para os testes de pressão e líquido a serem usados quando testando um conjunto específico de mangueiras.

Ao colocarmos o conjunto de mangueiras em uma posição horizontal, observamos se há vazamento no instante em que o teste de pressão é realizado. Este deverá ser mantido por 30 segundos, no mínimo.

Instalação de conjuntos de tubos flexíveis

Os tubos flexíveis não devem estar torcidos na instalação, porque isto o reduz consideravelmente, e pode, também, concorrer com o afrouxamento das conexões.

A torção do tubo flexível pode ser reconhecida pela posição da linha de identificação existente ao longo do seu comprimento. Essa linha não deve formar uma espiral ao longo da mangueira.

As tubulações flexíveis devem ser protegidas contra o desgaste por meio de um invólucro de material protetor, mas somente onde ne comendável são suportes de fixação mais próximos.

Uma mangueira nunca deve estar esticada entre duas conexões. De 5 a 8 por cento do seu total comprimento, deve ser permitido ter cessário.

O raio mínimo de curva, para tubulações flexíveis, varia de acordo com as medidas e

construção do tubo, bem como a pressão sob a qual deve operar.

Curvas que são muito agudas reduzirão, consideravelmente, a pressão de ruptura das tubulações flexíveis abaixo do valor previsto (figura 5-19).

As tubulações flexíveis deverão ser instaladas, de tal maneira, que sofram um mínimo de flexão durante a operação. Ainda que as mangueiras tenham que ser fixadas pelo menos a cada 24 polegadas, o recomendável são suportes de fixação mais próximos.

Uma mangueira nunca deve estar esticada entre duas conexões. De 5 a 8 por cento do seu total comprimento, deve ser permitido ter liberdade de movimento, quando sob pressão.

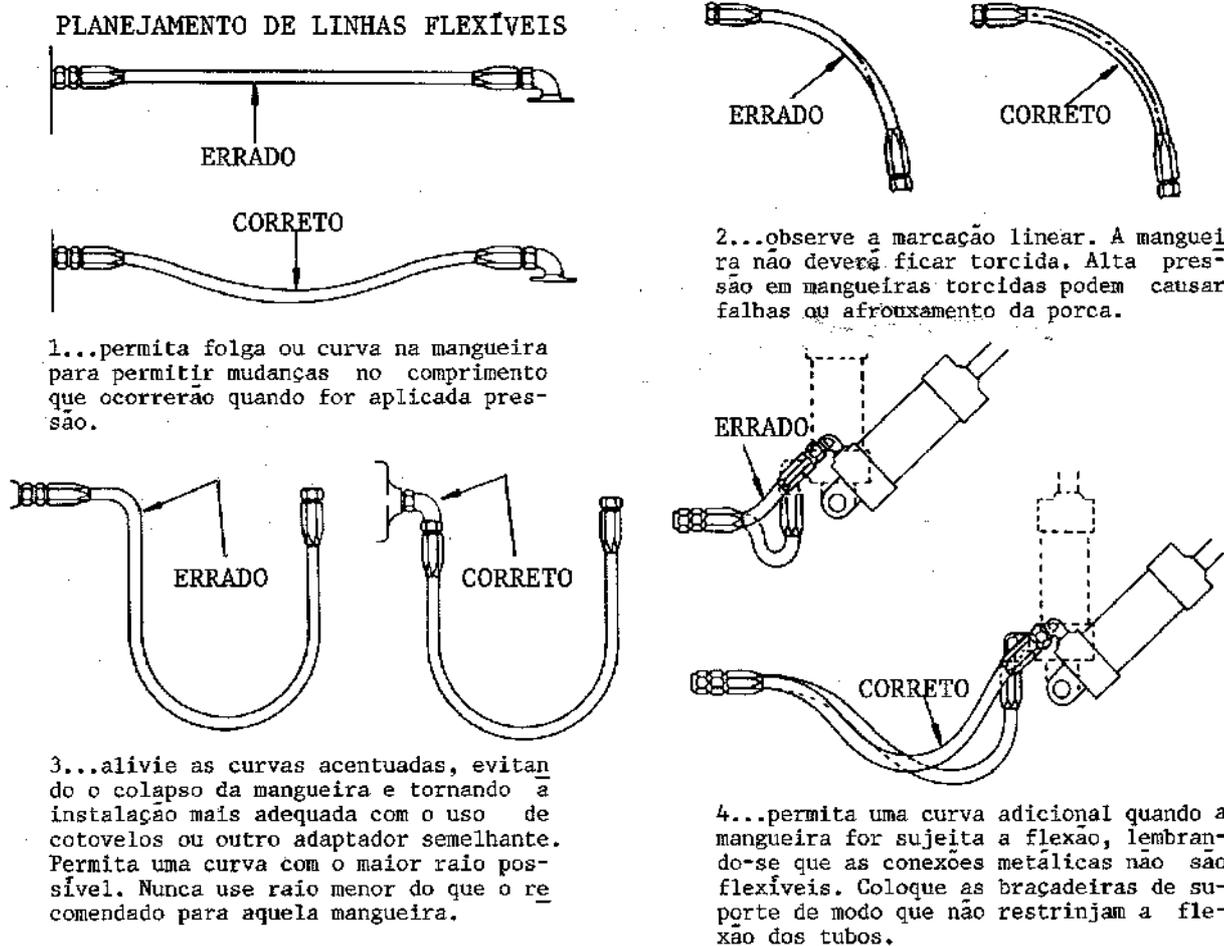


Figura 5-19 Instalação de tubos flexíveis.

Quando uma mangueira se encontra sob pressão ela se contrai no comprimento e dilata-se no diâmetro. Todas as tubulações flexíveis devem estar protegidas da excessiva temperatura tanto pela localização das linhas, como pela instalação protetora ao seu redor.

INSTALAÇÃO DE TUBULAÇÕES RÍGIDAS

Antes da instalação de um conjunto de linhas em uma aeronave, se inspecionam cuidadosamente todas as tubulações.

Remove-se as mossas e arranhões para nos assegurarmos de que todas as porcas e luvas estão unidas e, seguramente fixadas pelo flange da tubulação.

O conjunto de linhas deverá estar limpo e livre de matérias estranhas.

Conexão e torque

Selantes ou outros compostos nunca são aplicados nas faces de uma conexão ou flange, pois destruiriam o contato de metal com metal, entre a conexão e o flange; o qual é necessário para produzir a vedação.

O conjunto de linhas deve estar adequadamente alinhado, antes que o aperto nas conexões seja dado.

A instalação de uma tubulação não deve ser forçada para o seu lugar com o torque na porca. Os métodos corretos e incorretos de instalação de conjuntos de tubos flangeados estão ilustrados na figura 5-20.

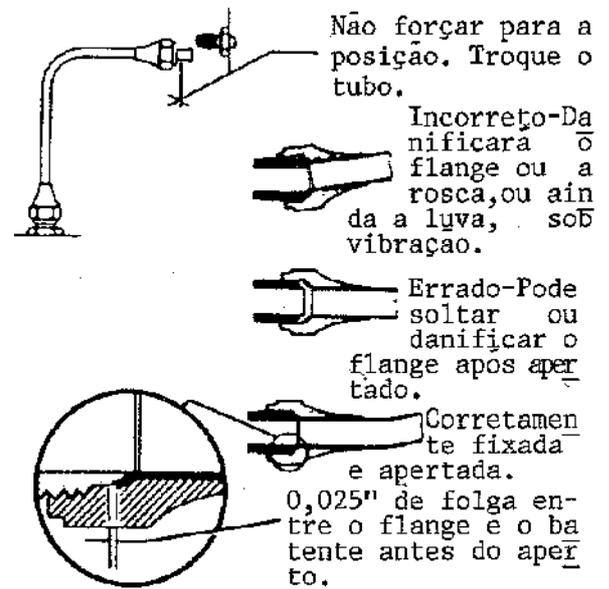


Figura 5-20 Métodos corretos e errados de instalar conexões flangeadas.

Os valores adequados de torque são dados na figura 5-21. Esses valores de torque são aplicáveis apenas à conexões flangeadas.

Diâmetro externo do tubo	Conexão tipo parafuso ou porca	Tubo, parafuso, conexão ou porca de liga de Alumínio. Torque em lbs / pol	Tubo, parafuso, conexão ou porca de liga de aço. Torque em Lbs / pol	Conexão p/ mangueira e conjuntos		Mínimo raio de dobras (polegadas)	
				Conexão MS 28740 ou equivalente		Liga de Alumínio 1100-H14 5052-0	Aço
				Mínimo	Máximo		
1/8	—2	20—30				3/8	
3/16	—3	30—40	90—100	70	120	7/16	21/32
1/4	—4	40—65	135—150	100	250	9/16	7/8
5/16	—5	60—85	180—200	210	420	3/4	1 1/8
3/8	—6	75—125	270—300	300	480	15/16	1 5/16
5/8	—8	150—250	450—500	500	850	1 1/4	1 3/4
1/2	—10	200—350	650—700	700	1150	1 1/2	2 3/16
3/4	—12	300—500	900—1000			1 3/4	2 5/8
7/8	—14	500—600	1000—1100				
1	—16	500—700	1200—1400			3	3 1/2
1—1/4	—20	600—900	1200—1400			3 3/4	4 3/8
1—1/2	—24	600—900	1500—1800			5	5 1/4
1—3/4	—28	850—1050				7	6 1/8
2	—32	950—1150				8	7

Figura 5-21 Dados de conexões flangeadas.

Instalação de tubos sem flange

A porca deve ser apertada com a mão, até que seja encontrada uma resistência ao aper-

to. Sendo impossível girar a porca com a mão até o final, usamos uma chave, e ficamos alertas ao primeiro sinal de chegada ao fim da rosca.

É importante que o aperto final comece no ponto em que a porca for atingir o batente.

Com uma chave, giramos a porca 1/6 de volta (uma face da porca hexagonal). Usa-se uma outra chave na conexão para se evitar um giro, enquanto aperta-se a porca.

Depois que o conjunto de tubos estiver instalado, o sistema deverá ser testado sob pressão. Em uma conexão com vazamento é permitido apertar a porca 1/6 de volta a mais (perfazendo um total de 1/3 de volta).

Se depois de ter apertado 1/3 de volta da porca, o vazamento persistir, o conjunto deverá ser removido e, os componentes inspecionados quanto às incisões, rachaduras, presença de materiais estranhos, ou danos causados por aperto demasiado.

Nota: O aperto acima do previsto em uma porca de um tubo sem flange, gira o bordo cortante da luva, aprofundando-o no tubo, causando o enfraquecimento naquele ponto, onde a vibração normal de vôo causará o cisalhamento do tubo. Após a inspeção (se não forem encontradas discrepâncias), reinstale as conexões e repita os procedimentos de teste sob pressão.

Cuidado: Em nenhuma condição a porca deverá ser apertada além de 1/3 de volta (duas faces da porca hexagonal); isto é o máximo de aperto para uma conexão sem que haja a possibilidade de danos permanentes para a luva e para a porca.

As falhas mais comuns são:

1. Flange deformado pelos fios de rosca da porca.
2. Luva quebrada.
3. Flange quebrado ou cortado.
4. Flange mal feito.
5. Flange com a parte interna arranhada ou áspera
6. Cone da conexão arranhado ou áspero.
7. Rosca da porca ou da união suja, danificada ou quebrada.

Algumas instruções de serviço dos fabricantes especificam os valores para o torquímetro e para as instalações de tubulações sem flange (para exemplos, veja a figura 5-22).

TORQUE PARA TUBOS DE AÇO 304 1/8H

DÍAMETRO EXTERNO DO TUBO	EXPESSURA DA PAREDE	TORQUE EM LBS / POL
3/16	0.016	90—110
3/16	0.020	90—110
1/4	0.016	110—140
1/4	0.020	110—140
5/16	0.020	100—120
3/8	0.020	170—230
3/8	0.028	200—250
1/2	0.020	300—400
1/2	0.028	400—500
1/2	0.035	500—600
5/8	0.020	300—400
5/8	0.035	600—700
5/8	0.042	700—850
3/4	0.028	650—800
3/4	0.049	800—960
1	0.020	800—950
1	0.065	1600—1750

TORQUE PARA TUBOS DE AÇO 304-1A OU 347 1A

3/8	0.042	145—175
1/2	0.028	300—400
1/2	0.049	500—600
1	0.035	750—900

TORQUE PARA TUBOS 6061-T6 OU T4

1/4	0.035	110—140
3/8	0.035	145—175
1/2	0.035	270—330
1/2	0.049	320—380
5/8	0.035	360—440
5/8	0.049	425—525
3/4	0.035	380—470
1	0.035	700—900
1 1/4	0.035	900—1100

Figura 5-22 Valores de torque para conexões sem flange.

Precauções na montagem de tubulações

Para nos certificarmos de que o material da conexão que está sendo usada é semelhante ao da tubulação, por exemplo, usamos conexões de aço, com tubos de aço e conexões de liga de alumínio com tubos de liga de alumínio.

Conexões de latão banhadas com cádmio podem ser usadas com tubulações de liga de alumínio.

Como prevenção da corrosão, as linhas e conexões de liga de alumínio, usualmente são anodizadas.

As linhas e conexões de aço, se não forem de aço inoxidável, são banhadas para evitar ferrugem e corrosão.

Conexões de aço e de latão são, usualmente, banhadas com cádmio, ainda que algumas possam ser encontradas com banho de níquel, cromo ou estanhadas.

Para nos assegurarmos de uma vedação perfeita das conexões flexíveis, e para evitar que as braçadeiras se quebrem ou danifiquem as mangueiras ou durites, seguimos cuidadosamente as instruções de aperto das braçadeiras.

Quando possível, usamos a chave limitadora de torque para as braçadeiras. Essas chaves são encontradas nas calibrações de 15 e de 25 polegadas por libras.

Na falta das chaves limitadoras de torque, o método seguido é o de "aperto com a mão mais voltas".

Devido as variações de formato das braçadeiras e da estrutura das tubulações flexíveis, os valores dados na figura 5-23 são aproximados.

Um bom julgamento é feito quando se aperta braçadeiras por esse método.

Levando-se em consideração que as conexões flexíveis estão sujeitas a cederem ao aperto das braçadeiras ou a um processo de assentamento, um cheque de verificação do aperto deverá ser feito durante alguns dias após a instalação.

SUPORTES DE FIXAÇÃO

Braçadeiras de fixação são usadas para suportar as diversas linhas dos sistemas da célula e do conjunto do motor. Vários tipos de suportes são usados para esta finalidade. A protegida com borracha e a plana são as braçadeiras mais utilizadas.

A protegida com borracha é usada para fixar linhas em áreas sujeitas a vibração, evitando o desgaste do tubo pelo atrito.

A braçadeira plana é usada para fixar linhas em áreas não sujeitas a vibração.

Uma braçadeira, protegida com Teflon, é usada em áreas sujeitas aos efeitos da deterioração causada pelo Skydrol 500, fluido hidráulico (MIL-0-5606), ou combustível.

Mas devido a sua pouca flexibilidade, ele não evita de modo satisfatório o efeito da vibração, como os outros materiais.

Método de aperto de braçadeiras manualmente		
Apenas instalação inicial.	Parafuso de rosca sem fim de braçadeiras 10 fios de rosca por polegada.	Braçadeira radial de outros tipos 28 fios por polegada.
Mangueira de auto-vedação aproximad. 15 pol./lbs.	Aperto com a mão. 2 voltas completas.	Aperto com a mão. 2 voltas e meia, completas.
Todas as outras mangueiras aproximad- 25 pol.-lbs.	Aperto com a mão. Mais 1 volta e 1/4.	Aperto com a mão. Mais 2 voltas completas.

REAPERTO DE BRAÇADEIRAS DE MANGUEIRAS

- Se as braçadeiras não vedarem com o aperto especificado, examine as conexões e substitua as partes como necessário.
- As instruções acima, são para instalações iniciais e não deverão ser usadas para braçadeiras frouxas.
- Para o reaperto de braçadeiras que afrouxaram em serviços, proceda como se segue:
 - 1-Mangueiras sem autovedação - Se a braçadeira não pode ser apertada com os dedos não há problema, desde que sem vazamento evidente. Se existe vazamento, aperte ¼ de volta.
 - 2-Mangueiras auto-vedantes - Se mais frouxas que o aperto manual, aperte e adicione mais ¼ de volta.

Figura 5-23 Aperto de braçadeiras de mangueiras.

Para a fixação de tubulações metálicas de linhas de sistema hidráulico, de combustível e de óleo, usamos braçadeiras sem isolamento para o efeito de continuidade da "massa". Usaremos as braçadeiras isoladas apenas para a fixação de fios. Toda a pintura ou anodização do tubo na parte de contato é removida com a braçadeira. Logo após, verificamos se as braçadeiras são do tamanho correto.

Braçadeiras e suportes, menores do que o diâmetro externo dos tubos flexíveis podem restringir o fluxo do fluido através dele.

Todas as tubulações devem estar fixadas em intervalos especificados. As distâncias máximas entre suportes, para tubulações rígidas, são apresentadas na figura 5-24.

Diâmetro externo O.D (pol.)	Distância entre suportes (pol.)	
	Liga de Alumínio	Aço
1/8	9 1/2	11 1/2
3/16	12	14
1/4	13 1/2	16
5/16	15	18
3/8	16 1/2	20
1/2	19	23
5/8	22	25 1/2
3/4	24	27 1/2
1	26 1/2	30

Figura 5-24 Distância máxima entre suportes para tubulações de fluidos.

MATERIAIS DE AVIAÇÃO E PROCESSOS

INTRODUÇÃO

Este título incorpora as diversas partes utilizadas na fabricação e no reparo de aeronaves, como os vários tipos de prendedores e uma miscelânea de pequenos itens e os tratamentos a que estão sujeitos durante sua fabricação ou utilização.

A importância do material de aviação é muitas vezes desprezada devido ao seu pequeno tamanho; entretanto, a segurança e a eficiência da operação de uma aeronave depende de uma correta seleção e, uso adequado do material de aviação, assim como o conhecimento e a utilização dos processos adequados a esse material.

IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE AVIAÇÃO-

A maioria dos itens são identificados por números de especificação ou nome do fabricante. Peças com fios de rosca e rebites são usualmente identificados pelas letras AN (*Air Force - Navy*), NAS (*National Aircraft Standard*), ou MS (*Military Standard*) seguidas de números.

Os prendedores de desconexão rápida são usualmente identificados por nomes dados pelo fabricante e pela designação dos tamanhos.

Prendedores rosqueados

Os vários tipos de dispositivos de fixação, ou de fechamento, permitem uma rápida desmontagem e recolocação de partes de aeronaves, que devem ser separadas e conectadas em intervalos freqüentes.

Rebitando ou soldando estas partes, cada vez que forem manuseadas, a junção enfraquecerá, tornando-se deficiente. Algumas juntas, muitas vezes, requerem uma resistência à tensão e rigidez superiores a que um rebite pode oferecer.

Entende-se por parafusos, dispositivos de fixação, que permitem segurança e rigidez na união de peças. Existem dois tipos de parafusos: os utilizados em mecânica (bolts), geralmente quando se necessita grande firmeza; e os de rosca

ca soberba (screws), quando a firmeza não é um fator importante. Ambos têm algumas semelhanças são usados para prender e possuem em uma de suas extremidades uma cabeça; e, na outra, fios de rosca. Também há diferenças distintas: a ponta com fios de roscas de um parafuso para mecânica é sempre rombuda (faces paralelas), enquanto que o de rosca soberba pode ter a ponta com rosca rombuda ou pontuda.

O parafuso para mecânica (bolt), geralmente tem uma porca atarrachada para completar o conjunto, enquanto que o de rosca soberba pode ser introduzido em um orifício próprio para ele; ou, diretamente no material a ser fixado.

Um parafuso para mecânica tem a parte rosqueada relativamente curta, com relação ao comprimento; enquanto isso, o de rosca soberba tem a parte rosqueada relativamente longa, e não tem a parte lisa (gola), claramente definida.

Um conjunto, parafuso/porca é geralmente apertado pela porca; e a cabeça do parafuso poderá ser ou não utilizada para fixar o conjunto. Um parafuso de rosca soberba é sempre apertado pela cabeça.

Quando um dispositivo de fixação tiver que ser substituído, deverá sê-lo por uma duplicata do original, sempre que possível. Se não houver uma duplicata, muito cuidado deverá ser tomado na seleção do substituto.

Classificação dos fios de rosca

Para os parafusos para aeronaves (*bolts*); ou os de rosca soberba (*screws*); e porcas, são fabricados em um dos seguintes tipos de fios de rosca: NC (*American National Coarse*), série de filetes grossos destinados ao uso em metais; NF (*American National Fine*), séries de filetes finos destinado ao uso geral em aeronaves e motores; UNC (*American Standard Unified Coarse*) ou UNF (*American Standard Unified Fine*).

A diferença entre os tipos de rosca da série *American National* (NC e NF) e os do tipo *American Standard Unified* (UNC e UNF) pode ser notada, por exemplo, no parafuso de uma polegada (1") de diâmetro do tipo NF, que será especificado como 1-14NF, indicando possuir 14 fios de rosca em cada polegada da parte ros-

queada, enquanto que, o parafuso de uma polegada (1") de diâmetro do tipo UNF será especificado como 1-12UNF, indicando possuir 12 fios de rosca em cada polegada da parte rosqueada.

Em ambos, é considerado o número de vezes que o fio de rosca completa uma volta no espaço de uma polegada, da parte rosqueada de um parafuso de determinado diâmetro.

Por exemplo, a especificação 4-28 indica que um parafuso de 1/4" de diâmetro tem 28 fios de rosca em cada polegada da parte rosqueada.

As roscas são também especificadas em classes de acabamento, que indicam a tolerância permitida pelo fabricante, com referência a sua instalação nos furos do material a ser preso ou fixado.

Classe 1 - "Loose fit" - ajuste com folga ou encaixe deslizante - usado onde o espaço entre as partes conjugadas é essencial para uma rápida montagem, podendo ser girado com os dedos;

Classe 2 - "Free fit" - ajuste livre - destinado a partes que são unidas com parafusos e porcas, tipo comerciais onde um pequeno jogo tem uma relativa margem de tolerância;

Classe 3 - "Medium fit" - ajuste médio - destinado a partes onde é desejado um valor mínimo de folga ou de jogo entre as partes rosqueadas. Esse tipo de ajuste é geralmente empregado na construção aeronáutica.

Classe 4 - "Close fit" - forte ajuste ou ajuste sob pressão - destinado a requisitos especiais. Os parafusos de ajuste sob pressão são instalados com ferramentas ou máquinas.

Os parafusos e as porcas são também produzidos com a rosca-esquerda.

O parafuso de rosca-direita é o que tem o seu aperto no sentido dos ponteiros de um relógio, o de rosca-esquerda quando tem que ser girado no sentido inverso para conseguir o aperto.

As roscas, direita e esquerda são, designadas respectivamente por RH e LH.

PARAFUSOS DE AVIAÇÃO

Os parafusos empregados em aviação são fabricados em aço resistente à corrosão, com banho de cádmio ou de zinco; de aço resis-

tente a corrosão, sem banho, ou ainda de liga de alumínio anodizado.

A maioria dos parafusos, utilizados em estruturas de aeronaves, tanto pode ser do tipo padrão como AN, NAS com encaixe na cabeça para ferramentas, de tolerância mínima, ou do tipo MS.

Em certos casos, os fabricantes de aeronaves fazem parafusos de diferentes dimensões ou maior resistência do que o tipo padrão.

Do mesmo modo, os parafusos são fabricados para aplicações especiais, e é de extrema importância utilizar parafusos iguais como substituto.

Os parafusos especiais são normalmente identificados por uma letra "S" estampada na cabeça.

Os parafusos AN são encontrados em três estilos de cabeça: hexagonal, Clevis e com olhal (Figura 6-1).

Os parafusos NAS são encontrados com a cabeça hexagonal, com encaixe na cabeça para ferramentas e com a cabeça escariada. Os parafusos MS têm a cabeça hexagonal ou com encaixe para ferramentas.

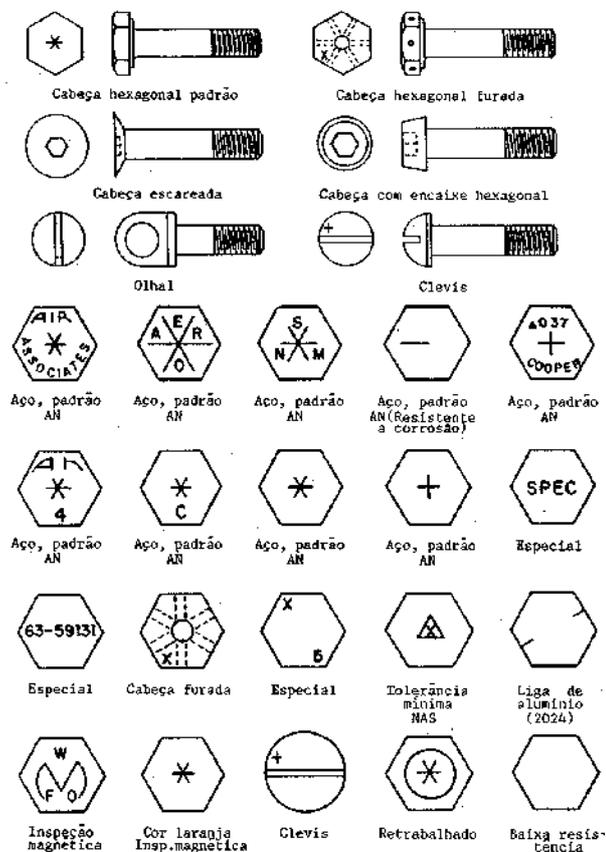


Figura 6-1 Identificação de parafusos de aeronaves.

Parafusos de uso geral

Os parafusos de cabeça hexagonal (AN-3 até AN-20), são usados em estruturas, e em aplicações gerais, que envolvam cargas de tensão e de cisalhamento.

Os parafusos de ligas de aço, menores do que o nº 10-32; e os de liga de alumínio, menores do que 1/4" de diâmetro, nunca devem ser usados em peças estruturais.

Os parafusos e as porcas de liga de alumínio não são usados quando tiverem que ser removidos, repetidamente, para serviços de manutenção e inspeção. As porcas de liga de alumínio podem ser usadas com os parafusos de aço banhados de cádmio, que sofram cargas de cisalhamento, em aeronaves terrestres; mas, não poderão ser usadas em aeronaves marítimas, devido a possibilidade de corrosão entre metais diferentes.

O parafuso AN-73 é semelhante ao cabeça hexagonal padrão, porém, possui uma depressão na cabeça e um furo para passagem de arame de freio. O AN-3 e o AN-73 são intercambiáveis para todas as aplicações práticas, do ponto de vista de tensão e resistência ao cisalhamento.

Parafusos de tolerância mínima

Esse tipo de parafuso é fabricado com mais cuidado do que o de uso geral. Os parafusos de tolerância mínima podem ser de cabeça hexagonal (AN-173 até AN-186) ou ser de cabeça chanfrada a 100° (NAS-80 até NAS-86).

Eles são usados em aplicações onde uma ajustagem forte é requerida (o parafuso somente será movido de sua posição quando for aplicada uma pancada com um martelo de 12 a 14 onças).

Parafusos com encaixe na cabeça para adaptação de chave

Estes parafusos (MS-20004 até MS-20024 ou NAS-495), são fabricados de um aço de alta resistência, e são adequados para o uso em locais onde são exigidos esforços de tensão e cisalhamento.

Quando forem usados em partes de aço, os furos para os parafusos devem ser escariados para assentar o grande raio do ângulo formado entre o corpo e a cabeça. Quando usados em

partes de liga de alumínio, uma arruela especial, tratada à quente deve ser usada para permitir um adequado ponto de apoio para a cabeça. O encaixe na cabeça é para inserir uma chave para a instalação e remoção do parafuso. Porcas especiais de alta resistência são utilizadas nestes parafusos. Parafusos com encaixe na cabeça, só podem ser substituídos por outros exatamente iguais. Os de cabeça hexagonal AN, não possuem a requerida resistência.

Identificação e códigos

Os parafusos são fabricados em uma grande variedade de formatos, não existindo, portanto, um método direto de classificação. Os parafusos podem ser identificados pelo formato da cabeça, método de fixação, material usado na fabricação ou emprego determinado.

Os parafusos de aviação do tipo AN podem ser identificados pelo código marcado nas cabeças. A marca geralmente indica o fabricante, o material de que é feito, se é um tipo AN padrão ou um parafuso para fim especial.

Um parafuso AN padrão é marcado na cabeça, com riscos em relevo, ou um asterisco; o de aço resistente a corrosão é indicado por um simples risco; e o de liga de alumínio AN é marcado com dois riscos opostos. Informações adicionais, como o diâmetro do parafuso, comprimento ou aperto adequado, são obtidos pelo número de parte (Part number).

Por exemplo, um parafuso cujo número de parte seja AN3DD5A, as letras "AN", indicam ser um parafuso padrão *Air Force-Navy*; o "3" indica o diâmetro em dezesseis avos da polegada (3/16"); o "DD", indica que o material é liga de alumínio 2024. A letra "C", no lugar de "D", indicaria aço resistente à corrosão e, a ausência das letras, indicaria aço com banho de cádmio. O "5" indica o comprimento em oitavos da polegada (5/8"); e o "A", indica não possuir furo para contrapino.

Os parafusos NAS, de tolerância mínima, são marcados com um triângulo riscado ou rebaixado.

As marcas do tipo de material dos parafusos NAS são as mesmas para os AN, exceto quando elas são riscadas ou rebaixadas.

Os parafusos que receberam inspeção magnética (*Magnaflux*) ou por meios fluorescentes (*Zyglo*), são identificados por uma tinta colorida ou uma marca tipo distintivo na cabeça.

Parafusos para fins especiais

São os fabricados para uma particular aplicação, por exemplo: parafuso *Clevis*, parafuso de Olhal, *Jobolts* e *Lockbolts*.

Parafusos Clevis

A cabeça de um parafuso Clevis é redonda e possui ranhuras, para receber uma chave de fenda comum ou para receber uma chave em cruz.

Este tipo de parafuso é usado somente onde ocorrem cargas de cisalhamento e nunca de tensão. Ele é muitas vezes colocado como um pino mecânico em um sistema de controle.

Parafusos de Olhal

Este tipo de parafuso especial é usado onde cargas de tensão são aplicadas.

O Olhal tem por finalidade permitir a fixação de peças, como o garfo de um esticador, um pino Clevis ou um terminal de cabo. A parte com rosca pode ou não ter o orifício para contrapino.

"Jobolts"

"JOBOLT" é a marca registrada de um rebite com rosca interna e composto de três partes: um parafuso de liga de aço, uma porca de aço com rosca e uma luva expansível de aço inoxidável. As partes são pré-montadas na fábrica. É instalado, o para

Quando o *JOBOLT* fuso é girado, enquanto a porca é mantida. Isto causa a expansão da luva sobre a porca, formando uma cabeça que irá empurrar uma chapa de encontro à outra. Quando a rotação do parafuso se completa, uma porção dele se quebra.

A alta resistência ao cisalhamento à tensão, tornam o *JOBOLT* adequado ao uso em casos de grandes esforços, onde os outros tipos de prendedores são impraticáveis.

JOBOLTS são muitas vezes utilizados em partes permanentes da estrutura de aeronaves mais antigas.

Eles são usados em áreas que não são sujeitas à constantes substituições ou serviços. Como ele é formado por três partes, não deverá ser utilizado em locais, caso uma parte se solte, ou seja sugada pela entrada de ar do motor.

Outras vantagens do uso do *JOBOLT* são sua excelente resistência à vibração, pouco peso e rápida instalação por apenas uma pessoa.

Atualmente os *JOBOLTS* são encontrados em quatro diâmetros: Séries 200, 260, 312 e 375, com aproximadamente 3/16", 1/4", 5/16" e 3/8" de diâmetro respectivamente. Os *JOBOLTS* são encontrados com três diferentes tipos de cabeça: F (flush), P (hexagonal) e FA (millable).

Parafusos de retenção (*Lokbolts*)

Estes combinam as características de um parafuso e de um rebite de grande resistência, mas possuem vantagens sobre ambos.

O parafuso de retenção é geralmente usado na junção de asas, ferragens do trem de pouso, ferragens de células de combustível, longarinas, vigas, união do revestimento e outras uniões importantes da estrutura. Ele é mais rapidamente e facilmente instalado do que um rebite ou parafuso convencionais e elimina o uso de arruelas-freno, contrapinos e porcas especiais.

Do mesmo modo que um rebite, o parafuso de retenção (*lockbolt*), requer uma ferramenta pneumática para sua instalação. Quando instalado, ele permanecerá rígido e permanentemente fixo no local.

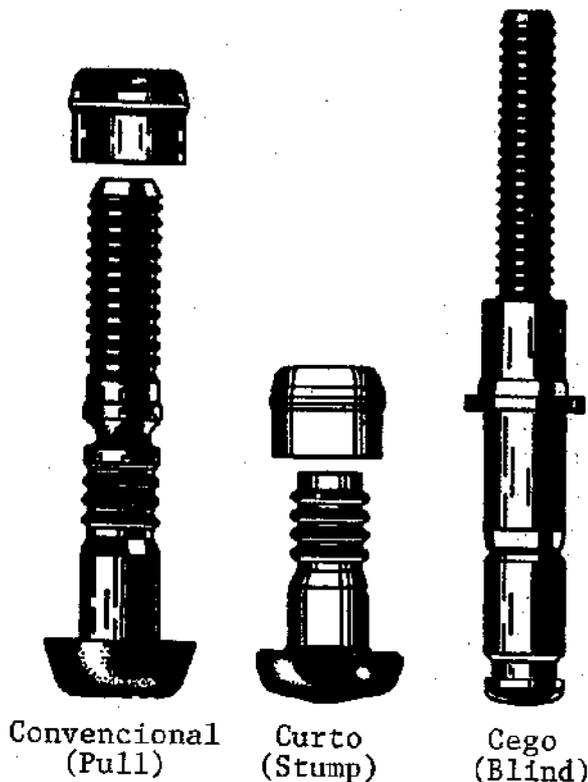


Figura 6-2 Parafusos de retenção (*Lokbolts*).
Tipo Convencional (Pull)

Os três tipos de parafusos de retenção *lockbolts* mais usados são: o convencional (*pull*), o curto (*stump*) e cego (*blind*), mostrados na figura 6-2.

São usados principalmente em estruturas primárias e secundárias de aeronaves. Eles são instalados muito rapidamente e têm aproximadamente a metade do peso dos parafusos e porcas AN equivalentes. Uma ferramenta pneumática especial ("*pull gun*") é necessária para instalar este tipo de *lockbolt*. A instalação pode ser executada por apenas uma pessoa por não ser necessário o uso de barra encontradora.

Tipo Curto (Stump)

Embora o tipo curto não tenha a haste tão comprida quanto o convencional, ele é considerado semelhante na utilização. Eles são usados principalmente quando o espaço não permite a instalação do tipo convencional.

Uma rebitadora pneumática padrão (com um martelete para estampar o colar na ranhura do pino) e uma barra encontradora são as ferramentas necessárias para a instalação de um *lockbolt* do tipo curto (*stump*).

Tipo Cego (Blind)

São fornecidos como unidades completas, ou seja, conjuntos montados. Eles têm excepcional resistência, e a característica de forçar a união das chapas.

Os parafusos de retenção cegos são usados onde somente um lado do trabalho é acessível e, geralmente, onde for difícil a cravação de um rebite convencional.

Este tipo de prendedor é instalado da mesma maneira que o tipo convencional.

Características Comuns

Os três tipos de parafusos de retenção *lockbolt*, têm em comum, as ranhuras de travamento no pino e o colar de travamento, o qual é estampado dentro das ranhuras de trava do pino, travando-o sob tensão.

Os pinos dos tipos convencional e cego são compridos para a instalação por tração.

A extensão da haste é provida de ranhuras com a finalidade de permitir a tração e uma ranhura maior para a ruptura sob tensão da parte excedente da haste.

Composição

Os pinos dos parafusos de retenção do tipo convencional e do tipo curto, são feitos de liga de aço com tratamento térmico, ou então, de liga de alumínio de alta resistência. Os colares do conjunto são feitos de liga de alumínio ou de aço macio. O tipo cego (*blind*) consiste num (a): pino de liga de aço com tratamento térmico; luva cega (*blind sleeve*); luva cônica (*filler sleeve*); colar de aço macio; e arruela de aço carbono.

Substituição

Os parafusos de retenção de liga de aço podem ser usados como substitutos dos rebites de aço *HI-SHEAR*, rebites sólidos de aço ou parafusos AN do mesmo diâmetro e mesmo tipo de cabeça. Parafusos de retenção de aço e de liga de alumínio podem ser usados para substituir os parafusos de aço e os de liga de alumínio 2024 T, respectivamente, do mesmo diâmetro.

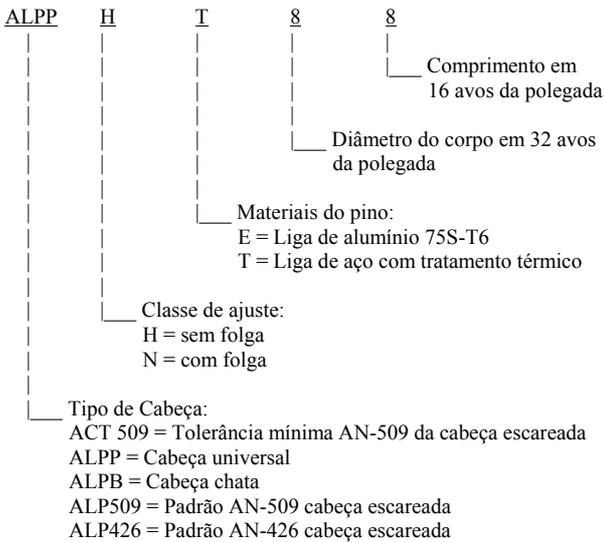
Sistema de Numeração

Para os diversos tipos de parafusos de retenção *lockbolts*, os sistemas de numeração são os seguintes:

GRIP N°	Min	Max	GRIP N°	Min	Max
1	.031	.094	17	1.031	1.094
2	.094	.156	18	1.094	1.156
3	.156	.219	19	1.156	1.219
4	.219	.281	20	1.219	1.281
5	.281	.344	21	1.281	1.344
6	.344	.406	22	1.344	1.406
7	.406	.469	23	1.406	1.469
8	.469	.531	24	1.469	1.531
9	.531	.594	25	1.531	1.594
10	.594	.656	26	1.594	1.656
11	.656	.718	27	1.656	1.718
12	.718	.781	28	1.718	1.781
13	.781	.843	29	1.781	1.843
14	.843	.906	30	1.843	1.906
15	.906	.968	31	1.906	1.968
16	.968	1.031	32	1.968	2.031
			33	2.031	2.094

Figura 6-3 Limites de “pega” (GRIP) dos parafusos de retenção tipos convencionais e curto.

Tipo Convencional (PULL)



TIPO CURTO (STUMP)

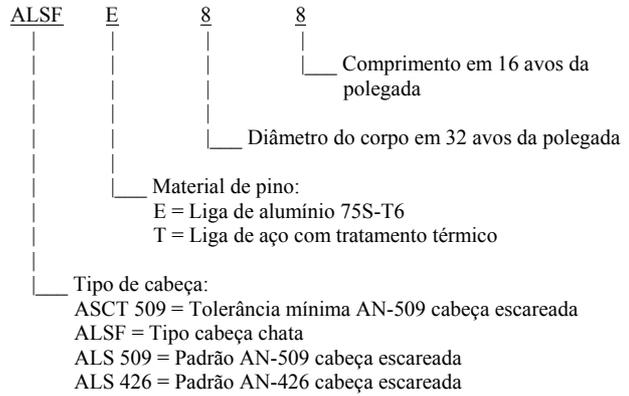
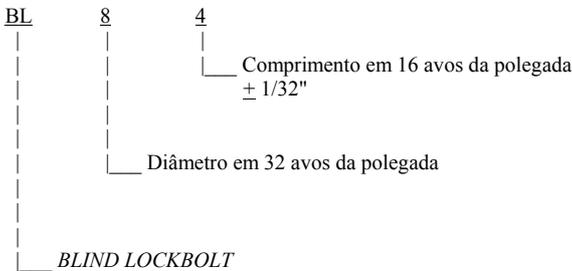
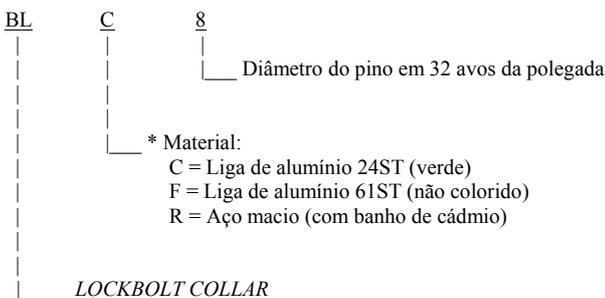


Figura 6-4 Sistema de numeração dos parafusos de retenção (*Lockbolts*).

TIPO CEGO (BLIND)



COLAR DO PARAFUSO DE RETENÇÃO



*

- Use em liga de alumínio 25 ST, somente parafusos de retenção de liga com tratamento térmico.

- Use em liga de alumínio 61 ST, somente parafusos de retenção de liga de alumínio 75 ST.

- Use aço macio com parafusos de retenção de aço com tratamento térmico somente para aplicações em alta temperatura.

1/4" Diâmetro			5/16" Diâmetro		
PEGA N°	EXPESSURA		PEGA N°	EXPESSURA	
	Min	Max		Min	Max
1	.031	.094	2	.094	.156
2	.094	.156	3	.156	.219
3	.156	.219	4	.219	.281
4	.219	.281	5	.281	.344
5	.281	.344	6	.344	.406
6	.344	.406	7	.406	.469
7	.406	.469	8	.469	.531
8	.469	.531	9	.531	.594
9	.531	.594	10	.594	.656
10	.594	.656	11	.656	.718
11	.656	.718	12	.718	.781
12	.718	.781	13	.781	.843
13	.781	.843	14	.843	.906
14	.843	.906	15	.906	.968
15	.906	.968	16	.968	1.031
16	.968	1.031	17	1.031	1.094
17	1.031	1.094	18	1.094	1.156
18	1.094	1.156	19	1.156	1.219
19	1.156	1.219	20	1.219	1.281
20	1.219	1.281	21	1.281	1.343
21	1.281	1.343	22	1.343	1.406
22	1.343	1.406	23	1.406	1.469
23	1.406	1.469	24	1.469	1.531
24	1.469	1.531			
25	1.531	1.594			

Figura 6-5 Limites da pega (*GRIP*) dos parafusos de retenção tipo cego (*Blind*).

ESPESSURA DO MATERIAL

O tamanho do parafuso requerido para um determinado trabalho deve ser de acordo com a espessura do material, medida com uma régua em gancho, através do orifício onde ele será colocado. Após a medição poderão ser determinados os limites da pega (espessura do

material a ser unido), através das tabelas fornecidas pelos fabricantes dos rebites.

Exemplos das tabelas de limites da pega (grip range) são apresentados nas Figuras 6-3 e 6-5.

Quando instalado, o colar do parafuso de retenção deverá ser estampado em toda a extensão do colar.

A tolerância da parte do pino a ser quebrada com relação à parte superior do colar deve estar dentro das seguintes dimensões:

Diâmetro do pino	Tolerância	
	antes	após
3/16	.079	a .032
1/4	.079	a .050
5/16	.079	a .050
3/8	.079	a .060

Quando for necessário remover um parafuso de retenção, corte o colar com uma pequena talhadeira bem afiada, evitando danificar ou deformar o orifício. É aconselhável o uso de uma barra de encontro no lado oposto ao que está sendo cortado. O pino poderá então ser retirado com um punção.

PORCAS DE AERONAVES

As porcas usadas em aviação são feitas em diversos formatos e tamanhos. São fabricadas com aço carbono banhado em cádmio, aço inoxidável, ou liga de alumínio 2024T anodizado; e pode ser obtida com rosca esquerda ou direita.

Não existem marcas de identificação ou letras nas porcas, elas podem ser identificadas pelas características metálicas, brilho ou cor de alumínio, bronze ou o encaixe, quando a porca for do tipo autofreno.

Elas podem, além disso, ser identificadas pela sua construção.

As porcas usadas em aviação podem ser divididas em dois grupos gerais: comuns e autofreno.

Comuns são aquelas que devem ser frenadas por um dispositivo externo como contrapino, arame de freio ou contra-porcas. Porcas autofreno são as que contém características de frenagem como parte integral.

Porcas comuns - É o mais comum tipo de porca, incluindo a lisa, a castelo, a castelada de cisalhamento, a sextavada lisa, a hexagonal leve e a lisa leve (ver Figura 6-6).

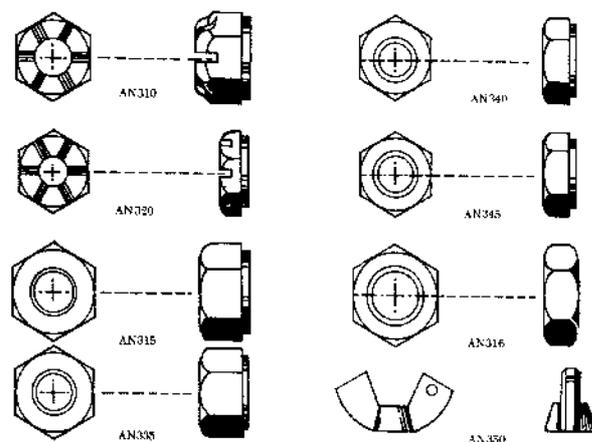


Figura 6-6 Porcas comuns de aeronaves.

A porca castelo AN310, é usada com os parafusos: AN de cabeça hexagonal, com furo para contrapino; Clevis de olhal, de cabeça com furo para freio, ou prisioneiros.

Ela é razoavelmente robusta e pode resistir a grandes cargas tensionais. Ranhuras (chamadas de castelo), na porca, são destinadas a acomodar um contrapino ou arame de freio para segurança.

A castelada de cisalhamento, AN 320, é designada para o uso com dispositivos (tais como parafusos Clevis com furo e pinos cônicos com rosca), os quais são, normalmente, sujeitos somente a esforços de cisalhamento.

Do mesmo modo que a porca castelo, ela é castelada para frenagem. Note, entretanto, que a porca não é tão profunda ou tão forte quanto a castelo; também que as ranhuras não são tão fundas quanto aquelas da porca castelo.

A porca sextavada lisa, AN315 e AN335 (rosca fina e rosca grossa), é de construção robusta.

Ela é adequada para suportar grandes cargas tensionais. Entretanto, ela requer um dispositivo auxiliar de travamento como uma contraporca ou arruela freio, e o seu uso em estruturas de aeronaves é um pouco limitado.

A porca sextavada leve, AN340 e AN345 (rosca fina e rosca grossa), é uma porca mais fina do que a plana hexagonal e deve ser frenada por um dispositivo auxiliar. Ela é usada em situações diversas em que haja pouca exigência de tensão.

A porca plana leve AN316, é usada como um dispositivo de frenagem (contra-porca), para as porcas planas, parafusos de retenção terminais com rosca e outros dispositivos.

A porca borboleta AN350 é aplicada onde a desejada firmeza pode ser obtida com os dedos, e em conjuntos, que são freqüentemente removidos.

Porcas autofreno

Conforme seu nome indica, as porcas autofreno não necessitam de meios auxiliares de frenagem, por já terem como característica de construção dispositivos de frenagem, como parte integral.

Muitos tipos de porcas autofreno têm sido fabricados e o seu uso está amplamente difundido.

Suas aplicações mais comuns são:

- (1) Fixação de mancais antifricção e polias de controles;
- (2) Fixação de acessórios, porcas fixas ao redor de janelas de inspeção e em aberturas para instalação de pequenos tanques; e
- (3) Fixação das tampas das caixas de balancins e dos tubos de escapamento dos gases.

Porcas autofreno são aceitáveis para utilização em aeronaves, dependendo das restrições do fabricante.

As porcas autofreno são usadas em aeronaves para proporcionar ligações firmes, que não se soltem, quando sob severa vibração. Não usar porcas autofreno em juntas, quando fixando parafusos, ou porcas sujeitos a rotação.

Elas podem ser usadas com mancais antifricção e polias de controles, desde que a pista interna do rolamento esteja fixada à estrutura de suporte pela porca e o parafuso.

As porcas, quando fixadas à estrutura devem ser presas de maneira positiva, para eliminarem rotação ou desalinhamento, quando apertando os parafusos.

Os dois tipos de porcas autofreno, de uso mais comum, são as do tipo de metal e a do tipo de freno de fibra.

Com a intenção de facilitar o entendimento, somente três típicas espécies de porcas autofreno serão consideradas neste manual: a porca do tipo boot e a porca de aço inoxidável, representando o tipo totalmente de metal; e a

porca de freno elástico, representando as do tipo de freno de fibra.

Porca autofreno *boot*

É uma porca construída de uma só peça, inteiramente metálica, destinada a manter a fixação mesmo sob severa vibração. Note, na Figura 6-7, que ela tem duas seções e é essencialmente como duas porcas em uma; a porca freno e a porca suportadora de carga. As duas seções são conectadas com uma mola, a qual faz parte integrante da porca. A mola mantém as seções de frenagem e de suporte de carga a uma certa distância, de modo que os dois setores de fios de rosca fiquem defazados; ou seja, tão espaçado, que um parafuso sendo atarrachado através da seção de suporte de carga deve empurrar a seção de frenagem, de encontro a força da mola, para engrazar propriamente na rosca da seção de frenagem.

Dessa forma, a mola, através da metade da seção de frenagem, exerce uma constante força, apertando a porca. Nesta porca, a seção de suporte de carga tem uma rosca; com a resistência de uma porca padrão das mesmas dimensões; enquanto a seção de frenagem exerce pressão contra a rosca do parafuso, travando a porca com firmeza em sua posição.

Somente com a aplicação de uma ferramenta a porca soltará o parafuso. A porca pode ser removida e reutilizada sem perder sua eficiência. As porcas autofreno tipo boot são fabricadas com três diferentes estilos de molas e em vários formatos e tamanhos. O tipo borboleta, o mais comum, varia do tamanho nº 6 até 1/4", o *rol-top*, de 1/4" até 9/16"; e o tipo *bel-lows*, do tamanho nº 8 até 3/8". As porcas, tipo borboleta, são fabricadas com ligas de alumínio anodizado, aço carbono banhado em cádmio ou, de aço inoxidável. As porcas, tipo *rol-top* são de aço com banhada em cádmio, e as do tipo *bel-lows* são feitas somente de liga de alumínio.

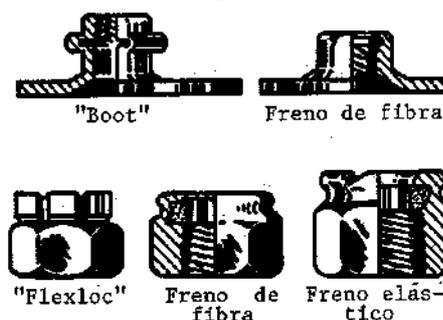


Figura 6-7 Porcas autofreno.

Porcas autofreno de aço inoxidável

São porcas que podem ser colocadas ou retiradas, girando-as com os dedos, porque sua ação de frenagem só é efetiva quando a porca estiver apertada, contra uma superfície sólida.

A porca consiste de duas partes; o corpo, com um ressalto chanfrado para frenagem com chaveta e uma peça com rosca; um ressalto de frenagem, e uma ranhura de encaixe para a chaveta.

A porca pode ser girada facilmente no parafuso, porque a rosca da peça interna é da mesma medida. No entanto, quando a porca encosta na superfície sólida e é apertada, o ressalto de frenagem da peça interna é puxado para baixo, e forçado, de encontro ao ressalto do corpo da porca. Esta ação comprime a peça com rosca e causa o aperto do parafuso.

A porca em corte é vista na fig. 6-8, mostrando como a chaveta do corpo da porca encaixa na ranhura da peça interna, no caso da porca ser girada, a peça interna gira com ela. Isso permite que a ranhura diminua e a peça interna seja comprimida quando a porca estiver apertada.

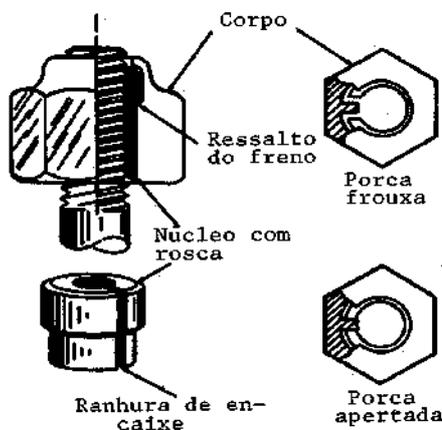


Figura 6-8 Porcas autofreno de aço inoxidável.

Porca *elastic stop*

É uma porca padrão, com a altura aumentada, para acomodar um colar de fibra para frenagem. Este colar de fibra é bastante duro e resistente, não sendo afetado quando imerso em água quente ou fria, ou em solventes comuns como éter, tetracloreto de carbono, óleos ou gasolina. O colar não causa danos à rosca ou à camada protetora do parafuso.

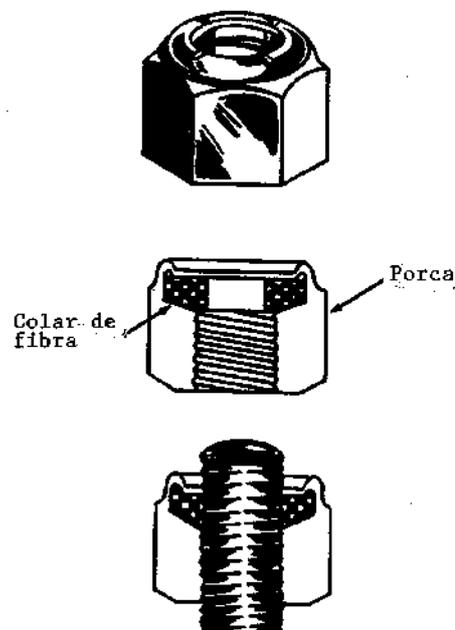


Figura 6-9 Porcas "Elastic Stop".

A Figura 6-9 mostra que o colar de fibra não tem fios de rosca, e que o seu diâmetro interno é menor do que o maior diâmetro da parte roscada, ou o diâmetro externo de um parafuso correspondente à porca. Quando a porca é atarrachada ao parafuso, ela atua como uma porca comum, até que o parafuso atinja o colar de fibra. Quando o parafuso é atarraxado no colar de fibra, a fricção (ou arrasto), empurra o colar para fora da porca, criando uma pressão para dentro da parte suportadora de carga e, automaticamente forçando a parte suportadora de carga da porca a entrar em um contato positivo com a rosca do parafuso. Após o parafuso ter sido forçado por toda espessura do colar de fibra, a pressão para baixo permanecerá constante, mantendo a porca seguramente frenada em sua posição, mesmo sob severa vibração.

Quase todas as porcas *elastic stop* são de aço ou liga de alumínio. Esse tipo de porca é encontrado em qualquer tipo de metal. As porcas *elastic stop* de liga de alumínio são fornecidas com um acabamento anodizado e as de aço, com banho de cádmio.

Normalmente, as porcas *elastic stop* podem ser usadas muitas vezes, em completa segurança, sem perderem sua eficiência de frenagem. Quando reutilizar uma porca *elastic stop*, certifique-se de que a fibra não perdeu sua capacidade de frenagem, nem se tornou quebradiça. Se uma porca desse tipo puder ser girada, até o fim com os dedos, deve ser substituída.

Depois que a porca tiver sido apertada, assegure-se de que a ponta do parafuso ou prisioneiro ultrapassou completamente a parte superior da porca no mínimo 1/32". Parafusos com o diâmetro de 1/16", ou mais, com orifício para contrapino, podem ser usados com porcas autofreno, mas somente se estiverem livres de lima-lhas ou arestas nas margens dos furos. Parafusos com fios de rosca danificados ou ponta áspera não são aceitáveis. Não se deve abrir rosca na fibra da porca autofreno.

A ação de frenagem da porca *elastic stop*, é o resultado do próprio parafuso ter aberto a rosca no colar de fibra.

Não instale a porca *elastic stop* em locais em que a temperatura ultrapasse 110° C (250°F), porque a ação de frenagem da fibra perde a eficiência a partir desse ponto. Porcas autofreno podem ser usadas em motores de aeronaves e acessórios, quando o seu uso for especificado pelo fabricante do motor.

Porcas autofreno são fabricadas em diferentes formas e materiais, para serem rebitadas ou soldadas, na estrutura ou outras partes. Certas aplicações requerem a instalação das porcas autofreno, em canais ou trilhos que permitem a fixação de várias porcas com apenas um pequeno número de rebites (ver Figura 6-10). Nesses canais ou trilhos, as porcas são colocadas em intervalos regulares e, podem ser fixas ou removíveis.

As do tipo removíveis são flutuantes, resolvendo o problema de deslindamento, entre as peças que estão sendo unidas, e podem ser removidas ou instaladas nos trilhos, tornando possível a substituição de porcas danificadas. Porcas do tipo *clinck* e *spline*, que dependem de fricção para sua fixação, não são aceitáveis para o uso em estruturas de aeronaves.

Porcas de chapa

Do mesmo modo que as porcas rápidas, as porcas de chapa são usadas com parafusos de rosca soberba, em locais que não sejam estruturais. Elas são encontradas em várias utilizações, suportando braçadeiras de tubulações e conduítes, equipamento elétrico, portas de acesso; e são encontradas em vários tipos. Elas são fabricadas em aço de mola e são arqueadas antes do endurecimento. Esse arqueamento da mola, funciona como trava, impedindo a perda do aperto do parafuso. Essas porcas, somente devem ser

usadas, quando tiverem sido instaladas durante a fabricação da aeronave.

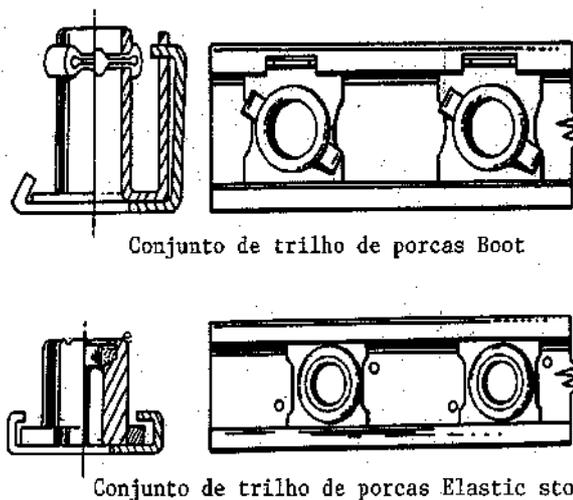


Figura 6-10 Porcas autofreno em trilhos.

Porcas com encaixe interno e externo

São encontrados dois tipos comerciais de porcas de alta resistência, com encaixe interno ou externo para ferramentas; elas são porcas do tipo *elastic stop* e do tipo *umbrako*. Ambas são do tipo autofreno, com tratamento térmico, e capazes de oferecer uma alta resistência à carga de tensão do parafuso.

Identificação e códigos

As porcas são designadas por números de parte (PN). Os mais comuns e seus respectivos números de parte são: Lisa, AN 315 e AN 335; Castelo, AN 310; Castelada fina, AN 320; Hexagonal fina, AN 430. Os tipos patenteados de porcas autofreno têm como número de parte (PN) de MS 20363 até MS 20367. As porcas boots, a flexloc, a autofreno de fibra e a *elastic stop* pertencem a este grupo.

A porca tipo borboleta tem como número de parte AN 350.

Letras e números após o número de parte indicam itens como material, tamanho, fios de rosca por polegada; e se a rosca é esquerda ou direita. A letra "B" após o número de parte indica que o material da porca é o latão; um "D" indica liga de alumínio 2017-T; "DD" indica liga de alumínio 2024-T; um "C" indica aço inoxidável; e, um traço, no lugar da letra, indica aço carbono banhado a cádmio.

O algarismo (ou dois algarismos), após o traço, ou, após o código de números e letras da porca, indica o tamanho do corpo e o número de

fios de rosca por polegada do parafuso para aquela porca.

Um traço seguido de um 3, por exemplo, indica que a porca fixará um parafuso AN3 (10-32); um traço e o número 4 quer dizer que fixará um parafuso AN4 (1/4-28); um traço e o número 5, um parafuso AN5 (5/16-24); e assim sucessivamente.

O número de código para as porcas auto-freno é formado por três ou quatro dígitos. Os últimos dois dígitos referem-se ao número de fios de rosca por polegada e, o dígito ou dígitos anteriores indicam o tamanho da porca em 16 avos da polegada.

Outras porcas comuns e seus números de código, são:

Código AN310D5R:

AN310 = porca castelo para aeronaves.

D = liga de alumínio 2024-T.

5 = diâmetro de 5/16".

R = rosca direita (usualmente 24 fios por polegada).

Código AN320-10:

AN320 = porca castelada leve, de aço carbono com banho de cádmio.

10 = diâmetro 5/8", 18 fios de rosca por polegada (esta porca é usualmente de rosca direita).

Código AN350 B1032:

AN350 = porca borboleta para aeronaves.

B = latão

10 = parafuso número 10.

32 = número de fios de rosca por polegada.

ARRUELAS DE AVIAÇÃO

Arruelas de aviação usadas no reparo de células de aeronaves podem ser arruelas planas, freno ou de tipos especiais.

Arruelas planas

Tanto a AN960 como a AN970 são usadas sob as porcas sextavadas. Elas proporcionam uma superfície plana de apoio, e atuam como um calço, para obter uma correta distância para um conjunto porca e parafuso; são usadas

para ajustar a posição do entalhe das porcas casteladas, com o orifício do parafuso, para o contrapino. Arruelas planas devem ser usadas sob as arruelas freno para evitar danos na superfície do material.

Arruelas de alumínio e de liga de alumínio podem ser usadas, sob as cabeças dos parafusos ou porcas, em estruturas de liga de alumínio ou de magnésio, quando houver a possibilidade de corrosão causada por metais diferentes.

Quando usadas desta maneira, qualquer corrente elétrica que fluir no conjunto, será entre a arruela e o parafuso de aço.

Contudo, é prática comum usar uma arruela de aço banhada em cádmio, sob a porca, em contato direto com a estrutura, devido a maior resistência contra a ação de corte da porca ser oferecida pela arruela de aço, do que por uma de liga de alumínio.

A arruela de aço AN970 proporciona uma área maior de apoio do que a AN960 e é usada em estruturas de madeira tanto sob a cabeça do parafuso como sob a porca para evitar o esmagamento da superfície.

Arruelas freno

Tanto a arruela freno AN935 quanto a AN936, são usadas com parafusos de máquina ou parafusos de aviação, onde as porcas auto-freno ou castelada não devem ser instaladas.

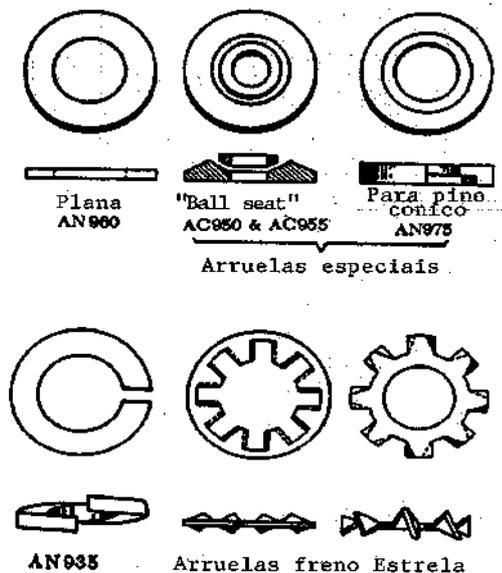
A ação de mola da arruela freno (AN935), proporciona fricção suficiente para evitar o afrouxamento da porca, devido a vibração.

A arruela freno AN935 é também conhecida como arruela de pressão (Essas arruelas são mostradas na Figura 6-11).

As arruelas freno nunca devem ser usadas nas seguintes condições:

- A. Com prendedores em estruturas primárias ou secundárias;
- B. Com prendedores, em qualquer parte da aeronave, onde a falha poderá resultar em perigo ou dano pessoal, ou material;
- C. Quando a falha provocar a abertura de uma junção para o fluxo de ar;

- D. Quando o parafuso estiver sujeito a constantes remoções;
- E. Quando a arruela estiver exposta ao fluxo de ar;
- F. Quando a arruela estiver sujeita à condições de corrosão;
- G. Quando a arruela estiver de encontro a materiais macios, sem uma arruela plana por baixo para evitar cortes na superfície.



Arruelas freno à prova de vibração

São arruelas circulares com uma pequena aba, a qual é dobrada de encontro a uma das faces laterais de uma porca ou, da cabeça de uma parafuso sextavado, travando na posição.

Existem vários métodos de segurança com arruelas, como uma aba, que dobrada a 90° é introduzida em um pequeno orifício na face da unidade, ou uma aba interna, que fixará um parafuso com uma ranhura própria para o freno.

As arruelas freno com aba podem suportar maiores temperaturas do que outros métodos de segurança, e podem ser usadas, sob condições de severa vibração, sem perder a segurança.

Elas deverão ser usadas somente uma vez, porque as abas tendem a quebrar-se quando dobradas uma segunda vez.

Arruelas especiais

As arruelas AC950 (ball socket) e a AC955 (*ball seat*), são arruelas especiais, usadas quando um parafuso precisa ser instalado em ângulo com a superfície ou quando for necessário um perfeito alinhamento entre o parafuso e a superfície.

Essas arruelas são usadas em conjunto e são mostradas na Figura 6-11.

As arruelas NAS 143 e MS 20002 são usadas com parafusos das séries NAS 144 até NAS 158 (parafusos com encaixe interno para ferramentas).

Estas arruelas tanto podem ser planas, para serem usadas sob a porca, como escareadas (designadas como NAS 143 e MS 20002C) para parafusos com cabeça em ângulo (para orifícios escareados).

Figura 6-11 Vários tipos de arruelas

INSTALAÇÃO DE PARAFUSOS E PORCAS

Parafusos e medidas dos furos

Pequenas folgas nos furos para os parafusos, são aceitáveis, onde quer que sejam usadas sob tensão, e não estejam sujeitas a inversão de carga. Algumas das aplicações, nas quais a folga nos furos, é permitida. São elas: suportes de polias, caixas de conduítes, revestimento e diversos suportes.

Os furos para os parafusos devem ser adequados a superfície envolvida, para proporcionar um total apoio à cabeça do parafuso e a porca, e não devendo ser maior do que o necessário, nem ovalizado. Um parafuso em um furo desse tipo não produzirá nenhum esforço, até que as partes tenham cedido ou deformado o suficiente para permitir o contato da superfície do furo ovalizado com o parafuso. Convém lembrar que os parafusos, quando apertados não preenchem os furos como os rebites.

Em casos de furos maiores do que o necessário, ou ovalizados em peças críticas, obtenha informação nos Manuais do Fabricante, da aeronave ou do motor, antes de alargar o furo ou furar para atingir a medida de um parafuso de maior diâmetro.

Usualmente, alguns fatores como distância da borda, folga ou fator de carga, devem ser considerados. Em peças de pouca importância, os furos ovalizados são alargados para a medida maior, mais próxima.

Muitos furos, principalmente para os parafusos de fixação de elementos primários, têm tolerância mínima.

Geralmente, é permitido o uso da broca com a medida imediatamente superior ao diâmetro do parafuso, exceto onde for usado parafuso AN de cabeça hexagonal, em aplicações em que o furo seja ajustado para aquela medida, e onde parafusos NAS de tolerância mínima ou Clevis AN são usados.

Furos ajustados para parafusos (especificados nos desenhos de reparos como folga máxima de 0,0015" entre o parafuso e o furo), são requeridos em locais onde os parafusos são usados em reparos, ou onde eles são colocados na estrutura original.

A fixação de um parafuso em um furo não pode ser definida em termos de diâmetros, como eixo e furo; ela é definida em termos de fricção, entre o parafuso e o furo, quando o parafuso é introduzido no lugar.

Um ajustamento forte (*tight-drive*), por exemplo, necessita de pequenas batidas com um martelo de 12 a 14 onças, para introduzir o parafuso.

Um parafuso que requeira uma pancada firme e permaneça apertado, é considerado justo, demais. Um ajustamento leve (*light-drive*), fará com que um parafuso seja introduzido, entretanto, apenas o peso do martelo sobre a cabeça do parafuso é o suficiente para movê-lo.

Práticas de instalação

Examine as marcações das cabeças dos parafusos para determinar o material correto de cada parafuso. É de extrema importância usar parafusos iguais nas substituições, e em todos os casos, recorrer ao Manual de Manutenção e ao Manual de Partes aplicáveis. Esteja certo de que as arruelas estão colocadas sob a cabeça dos parafusos e porcas. Uma arruela protege, contra danos mecânicos, o material que está sendo aparafusado e evita a corrosão dos membros estruturais.

Uma arruela de liga de alumínio deverá ser usada sob a cabeça e a porca de um parafuso de aço, quando fixando peças de liga de alumínio ou de liga de magnésio.

Se ocorrer alguma corrosão, a arruela será atacada antes das peças. Arruelas de aço de-

verão ser usadas, quando unindo peças de aço, com parafusos também de aço.

Sempre que possível, o parafuso deverá ser colocado com a cabeça para cima ou para frente. Este posicionamento impede que o parafuso saia da posição no caso da perda da porca.

Esteja certo de que o pescoço do parafuso (parte do corpo do parafuso sem fios de rosca) tem o comprimento correto. Geralmente, o pescoço do parafuso deve ser igual a espessura do material que está sendo aparafusado. Porém, parafusos de pescoço, ligeiramente maior, podem ser usados, se forem colocadas arruelas sob a porca e sob a cabeça do parafuso. No caso de arruelas planas, adicione calços (*shims*) sob as arruelas.

Frenagem de parafusos e porcas

É muito importante que todos os parafusos e porcas, exceto as do tipo autofreno, sejam frenadas após a instalação. Métodos de frenagem serão apresentados em capítulos posteriores.

TORQUE E TORQUÍMETROS

Quando a velocidade de uma aeronave aumenta, cada membro estrutural torna-se cada vez mais sujeito à tensão. Por este motivo é extremamente importante que cada parte suporte, nem mais nem menos do que a carga, para a qual foi designada. Com a finalidade de distribuir a carga, com toda segurança através de uma estrutura, é necessário que o torque adequado seja aplicado em todas as porcas, parafusos e prisioneiros. Usando o torque apropriado permitirá que a estrutura desenvolva a resistência designada e reduzirá a possibilidade de falha devido à fadiga.

Torquímetros

Os três torquímetros mais utilizados são: barra flexível, estrutura rígida e estrutura de catraca (Figura 6-12).

Quando usando o torquímetro de barra flexível ou o de estrutura rígida, o valor do torque é lido visualmente no mostrador ou escala montada no punho do torquímetro.

Para usar o do tipo catraca, solte a trava e ajuste na escala tipo micrômetro do punho, a tensão desejada; e recoloque a trava. Instale a soquete ou o adaptador adequado no local próprio do torquímetro.

Coloque o conjunto sobre a porca ou parafuso e puxe o punho, no sentido dos ponteiros do relógio, com um movimento suave, porém, firme. Um movimento rápido ou aos trancos resultará numa indicação incorreta. Quando o torque aplicado atinge o valor solicitado na regulagem, o punho automaticamente libera a trava, percorrendo livre em uma pequena distância.

A liberação da trava é facilmente sentida, não deixando dúvidas de que a aplicação do torque foi completada. Para assegurar-se de que a correta quantidade de torque é aplicada nos parafusos e porcas, todas os torquímetros devem ser testados, pelo menos uma vez por mês, ou mais vezes se necessário.

Nota : Não é aconselhável o uso de extensão em um torquímetro do tipo barra flexível. Nos outros tipos de torquímetros, somente a extensão não causará efeito na leitura da indicação do torque.

O uso de uma extensão em qualquer tipo de torquímetro, deve ser feito de acordo com a fórmula da Figura 6-12.

Quando aplicando a fórmula, a força deve ser aplicada do punho do torquímetro no ponto do qual a medida foi tomada. Se isto não for feito, o torque obtido estará errado.

Tabelas de torque

A tabela padrão de torque deverá ser usada como um guia, no aperto de porcas, para-

fusos e prisioneiros, sempre que os valores dos torques não estejam especificados nos procedimentos de manutenção.

As seguintes regras são aplicáveis para o uso correto da tabela de torque da Figura 6-13:

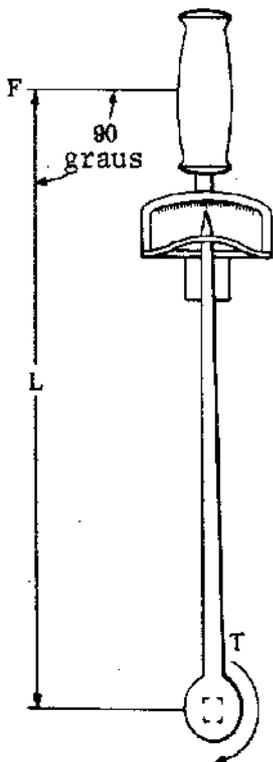
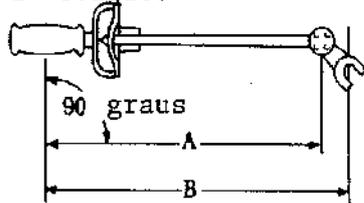
- A. Para obter os valores em libra/pé, divida as libras/polegadas por 12.
- B. Não lubrifique as porcas ou os parafusos, exceto para as partes de aço resistentes à corrosão, ou, quando houver instrução específica para este procedimento.
- C. Sempre aperte girando a porca em primeiro lugar, se possível. Quando a questão de espaço não permitir, aperte pela cabeça do parafuso, até uma medida próxima do valor de torque indicado. Não exceder o valor máximo de torque permitido.
- D. O valor máximo de torque deverá ser usado somente quando os materiais e superfícies a serem unidos forem suficientes em espessura, área e capacidade, que resistam à quebra, torção ou outros danos.
- E. Para porcas de aço resistentes à corrosão, use os valores de torque para as porcas do tipo cisalhamento.
- F. O uso de algum tipo de extensão em um torquímetro, modifica a leitura do mostrador, requerida para obter o valor corrigido na tabela padrão. Quando usando uma extensão, a leitura do torque deve ser computada usando a fórmula apropriada, contida no Manual, que acompanha o torquímetro.

Fórmula básica $F \times L = T$

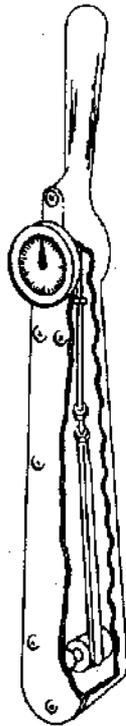
F= Força aplicada

L= Comprimento (Length) da haste, entre o centro de rotação e o centro de aplicação da força (F deve estar a 90º de L).

T= Torque.



BARRA FLEXÍVEL



ESTRUTURA RÍGIDA



CATRACA

Fórmula para uso com extensão: $T_w = \frac{T_e \times A}{B}$

"A": Comprimento da barra do torquímetro

"B": Comprimento da barra mais a extensão

"Te": Torque requerido no parafuso

"Tw": Torque lido no mostrador do torquímetro

Figura 6-12 Torquímetro comuns.

Alinhamento do furo para contrapino

Quando apertando porcas casteladas em parafusos, o furo para contrapino pode estar desalinhado com a ranhura da porca ao atingir o valor de torque recomendado. Exceto em casos de partes do motor altamente fatigadas, a porca pode ser superapertada para permitir o alinhamento

da próxima ranhura com o furo do contrapino. As cargas de torque especificadas podem ser usadas para todas as porcas de aço com banho de cádmio, não lubrificadas, de rosca fina ou rosca grossa, as quais possuírem aproximadamente o mesmo número de fios de rosca e iguais áreas de contato. Estes valores não se aplicam quando forem especificadas medidas

especiais de torque no manual de manutenção. Se a cabeça do parafuso tiver que ser girada em vez da porca, os valores de torque podem ser aumentados em uma quantidade igual a fricção do parafuso, fazendo esta medição anteriormente com o torquímetro.

OUTROS TIPOS DE PARAFUSOS DE AVIAÇÃO (SCREWS)

Estes parafusos são os prendedores rosqueados mais usados nas aeronaves. Eles diferem dos parafusos já estudados (*BOLTS*) por serem fabricados de materiais menos resistentes. Eles podem ser instalados com uma rosca com folga e o formato da cabeça permite o encaixe de chaves de fenda ou de boca. Alguns destes parafusos têm claramente definida a parte do corpo sem rosca, enquanto outros, possuem fios de rosca em todo o seu comprimento.

Diversos tipos destes parafusos para uso em estruturas diferem dos parafusos padrão somente no estilo da cabeça. O material de que são fabricados é o mesmo e possuem o pescoço (parte sem rosca) bem definido. O AN 525 com arruela fixa na cabeça e a série NAS 220 até o NAS 227 são desses parafusos.

Os parafusos mais usados desta classe estão divididos em três grupos:

1. Parafusos para estruturas - os quais têm a mesma resistência e medidas iguais as dos parafusos comuns (*BOLTS*);
2. Parafusos de máquina - a maioria dos parafusos utilizados em reparos gerais;
3. Parafusos de rosca soberba - aqueles utilizados para fixar pequenas partes.

Um quarto grupo, parafusos de encaixe, não são realmente parafusos, são pinos. Eles são colocados nas peças metálicas com um martelo ou macete e suas cabeças não possuem fendas ou encaixes.

Parafusos para estrutura

São feitos de liga de aço, termicamente tratados, e podem ser usados como um parafuso padrão. Eles pertencem as séries NAS 204 até NAS 235, AN 509 e AN 525. Eles têm um aperto definido e uma resistência ao cisalhamento semelhante a dos parafusos comuns da mesma medida.

As tolerâncias são semelhantes as dos parafusos AN de cabeça sextavada e a rosca é do tipo filete fino (*National Fine*). Os parafusos para estruturas têm cabeça redonda, chata e escareada. Os parafusos com encaixe na cabeça são girados, ou por chaves *Phillips*, ou *Reed and Prince*.

O parafuso AN 509 (100°) de cabeça plana, é usado em orifícios escareados, quando for necessária uma superfície plana.

O parafuso AN 525 de arruela fixa é usado onde as cabeças protuberantes não causam problemas. É um parafuso que oferece uma grande área de contato.

Parafusos de máquina

São os fornecidos com cabeça redonda, escareada e de arruela fixa. Estes parafusos são para uso geral e são fabricados de aço de baixo carbono, latão, aço resistente a corrosão e de liga de alumínio.

Os parafusos de cabeça redonda AN 515 e AN 520, têm a cabeça com fenda ou cruz. O AN 515 tem rosca grossa e o AN 520, rosca fina.

Os parafusos de máquina escareados, são relacionados como: AN 505 e AN 510 com o ângulo da cabeça de 82°; e o AN 507 de 100°. Os AN 505 e AN 510 são semelhantes quanto ao material e o uso dos de cabeça redonda AN 515 e AN 520.

Os parafusos de cabeça cilíndrica AN 500 até AN 503, são de uso geral e utilizados em tampas de mecanismos leves, como por exemplo coberturas de alumínio de caixas de engrenagens.

Os parafusos AN 500 e AN 501 são fornecidos em aço de baixo carbono, aço resistente à corrosão e latão. O AN 500 possui rosca grossa enquanto o AN 501 tem rosca fina. Eles não têm definida a parte do corpo sem rosca (pescoço). Os parafusos acima do nº 6 têm um furo na cabeça para frenagem.

Os parafusos AN 502 e AN 503 de cabeça cilíndrica são de liga de aço, com tratamento térmico, têm o pescoço curto e são fornecidos com rosca fina e rosca grossa. Estes parafusos são usados onde é requerida grande resistência. Os de rosca grossa são, normalmente, usados como parafusos de fixação de tampas de liga de alumínio e magnésio, fundidos, em virtude da fragilidade do metal.

Medida dos parafusos e prisioneiros		Valores de torque em lbs/pol para aperto de porcas			
		Em parafusos e prisioneiros padronizados tendo a resistencia a tensao de 125000 a 140000 p.s.i.		Em parafusos e prisioneiros com resistencia a tensao 140000 a 160000	Em parafusos e prisioneiros de alta tensao, resist.a tensao de 160000 p.s.i. e acima.
		Porcas tipo cizalhamento; AN320, AN364 ou equivalente.	Porcas tipo tensao fixando partes de maquina (AN310 AN365 ou equiv.	Qualquer porca, exceto tipo cizalhamento (Shear).	Qualquer porca exceto do tipo cizalhamento.
8-32	8-36	7-9	12-15	14-17	15-18
10-24	10-32	12-15	20-25	23-30	25-35
1/4-20		25-30	40-50	45-49	50-68
	1/4-28	30-40	50-70	60-80	70-90
5/16-18		48-55	80-90	85-117	90-144
	5/16-24	60-85	100-140	120-172	140-203
3/8-16		95-110	160-185	173-217	185-248
	3/8-24	95-110	160-190	175-271	190-351
7/16-14		140-155	235-255	245-342	255-428
	7/16-20	270-300	450-500	475-628	500-756
1/2-13		240-290	400-480	440-636	480-792
	1/2-20	290-410	480-690	585-840	690-990
9/16-12		300-420	500-700	600-845	700-990
	9/16-18	480-600	800-1,000	900-1,220	1,000-1,440
5/8-11		420-540	700-900	800-1,125	900-1,350
	5/8-18	680-780	1,100-1,300	1,200-1,730	1,300-2,160
3/4-10		700-950	1,150-1,600	1,380-1,925	1,600-2,250
	3/4-16	1,300-1,500	2,300-2,500	2,400-3,500	2,500-4,500
7/8-9		1,300-1,800	2,200-3,000	2,600-3,570	3,000-4,140
	7/8-14	1,500-1,800	2,500-3,000	2,750-4,650	3,000-6,300
1"-8		2,200-3,000	3,700-5,000	4,350-5,920	5,000-6,840
	1"-14	2,200-3,300	3,700-5,500	4,600-7,250	5,500-9,000
1 1/8-8		3,300-4,000	5,500-6,500	6,000-8,650	6,500-10,800
	1 1/8-12	3,000-4,200	5,000-7,000	6,000-10,250	7,000-13,500
1 1/4-8		4,000-5,000	6,500-8,000	7,250-11,000	8,000-14,000
	1 1/4-12	5,400-6,600	9,000-11,000	10,000-16,750	11,000-22,500

Figura 6-13 Tabela de torque padrão (lb-pol).

Parafusos de rosca soberba

Os parafusos de máquina, de rosca soberba, são relacionados como: AN 504 (de cabeça redonda) e AN 506 (cabeça escareada a 82°). Estes parafusos são usados para fixar peças removíveis; tais como, chapas de inscrição, peças fundidas e partes nas quais o próprio parafuso corta os fios de rosca.

Os parafusos AN 530 e AN 531 de rosca soberba, para chapas metálicas, tais como os parafusos *Parker-Kalon* tipo Z, para chapas metálicas, não têm ponta fina; e são usados em fixações temporárias de chapas metálicas, a serem rebitadas; e em fixações permanentes de conjuntos não estruturais. Parafusos de rosca soberba não devem ser usados como substitutos de parafusos padrão, porcas ou rebites.

Parafusos de encaixe (*drive screws*)

São parafusos AN 535 correspondentes ao *Parker-Kalon* tipo U. Eles têm a cabeça lisa, rosca soberba; e são usados para fixação de chapas de inscrição, em peças fundidas, na vedação de furos de dreno e em estruturas tubulares à prova de corrosão.

Não é prevista a remoção destes parafusos após a instalação.

Identificação e códigos

O sistema de códigos usado para identificar estes diferentes tipos de parafuso (screws), é semelhante ao usado para os bolts. Os do tipo NAS são parafusos para estruturas. Os números de parte 510, 515, 520, e assim por diante, classificam os parafusos em classes; tais como, cabeça redonda, cabeça plana, cabeça com arruela fixa, e etc. Letras e números indicam o material de sua composição, comprimento e diâmetro. Exemplos de códigos AN e NAS, são dados a seguir:

AN501B - 416-7

AN = Padrão *Air Force - Navy*

501 = Cabeça cilíndrica, rosca fina

B = Latão

416 = 4/16" de diâmetro

7 = 7/16" de comprimento

A letra "D" no lugar de "B", indica que o material é de liga de alumínio 2017-T. A letra

"C", indica aço resistente à corrosão. Uma letra "A", colocada antes do código do material, indica que a cabeça do parafuso é furada para frenagem.

NAS 144DH - 22

NAS = *National Aircraft Standard*

144 = Tipo de cabeça; diâmetro e rosca. parafuso de 1/4"-28, com encaixe interno para ferramenta.

DH = cabeça com furo para frenagem

22 = comprimento em 16 avos da polegada - $22/16" = 1 \frac{3}{8}"$

O número básico, NAS, identifica a parte. As letras em sufixo, e os números separados por traços, identificam os diferentes tamanhos, camada protetora do material, especificações da furação, etc. Os números, após os traços e as letras em sufixo, não obedecem a um padrão. Algumas vezes é necessário consultar os manuais específicos para a legenda.

REPAROS EM ROSCAS INTERNAS

Instalação ou remoção de parafusos são tarefas simples, comparadas com a instalação ou remoção de prisioneiros. As cabeças dos parafusos e das porcas são instaladas externamente, enquanto que, os prisioneiros são instalados em roscas internas.

As roscas, danificadas em parafusos ou porcas, são facilmente identificadas, e só requerem a substituição da parte danificada. Quando roscas internas se danificam, existem duas alternativas: a substituição da peça e o reparo, ou a substituição da rosca.

A recuperação da rosca danificada, é normalmente, o recurso mais barato e mais conveniente. Os dois métodos de reparo são: substituição de buchas e instalação de roscas postizas *Heli-Coils*.

Substituição de buchas

As buchas são materiais de uso especial (buchas de aço ou latão na cabeça dos cilindros para colocação das velas). São materiais resistentes ao desgaste do uso, onde é freqüente a substituição. A rosca externa é, normalmente, de filetes grossos. Quando a bucha é instalada, um produto de vedação pode ou não ser usado, para evitar perdas. Muitas buchas têm rosca esquerda na parte externa e rosca direita na interna. Com

esta providência, a remoção do parafuso ou prisioneiro (com rosca direita), tende a apertar o embuchamento.

Buchas para instalações comuns, como velas de ignição, podem ser supermedidas, acima de .040 (em incrementos de .005). A instalação original e a substituição em oficinas de revisão geral, são efetuadas com tratamento antagônico de temperatura, isto é, a cabeça do cilindro é aquecida e a bucha é congelada.

Rosca postiça *heli-coil*

É um arame de aço inoxidável 18-8, de seção rômica, enrolado com rigorosa precisão, em forma de mola helicoidal (fig. 6-14).

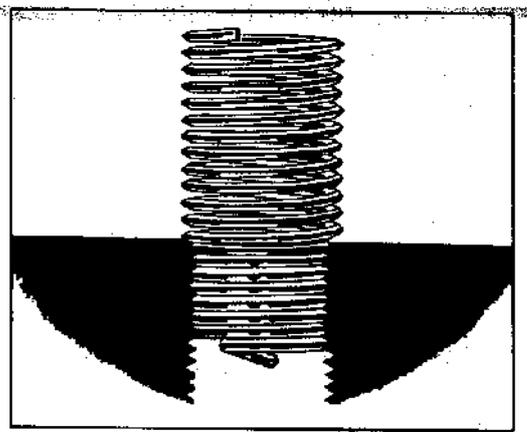


Figura 6-14 Rosca postiça “*Heli-coil*”.

Após inserido em um furo rosqueado, devidamente preparado, a rosca postiça *Heli-coil* constitui uma rosca fêmea calibrada (*Unified Coarse* ou *Unified Fine*, classes 2-3B), correspondente ao diâmetro nominal da rosca desejada, em perfeita obediência às dimensões e tolerâncias estabelecidas pelo sistema de rosca correspondente (métrico ou polegada). O conjunto instalado acomoda peças com rosca externa. Cada rosca postiça tem um pino de arrasto com um entalhe, para facilitar a remoção do pino, depois que a rosca postiça estiver instalada no furo rosçado.

Elas são usadas como uma bucha. Além de serem usadas para restaurar roscas danificadas, elas são usadas em projetos originais de mísseis, motores de aeronaves e todo o tipo de equipamentos mecânicos e seus acessórios, para proteger e fortalecer o rosqueamento interno de materiais frágeis, metais e plásticos, particularmente, em locais que requerem freqüentes mon-

tagens e desmontagens, e/ou, onde uma ação de frenagem de parafuso é desejada.

Instalação da rosca postiça

A instalação consiste em uma seqüência de 5 a 6 itens (Figura 6-15), dependendo de como o quinto item for classificado, descarta-se o sexto item.

As seguintes instruções do fabricante deverão ser seguidas durante a instalação:

- 1 Determinar quais as roscas que estão danificadas.
- 2
 - a) Em novas instalações da rosca postiça, broquear a rosca danificada para a profundidade mínima especificada.
 - b) Com *Heli-Coil* previamente instalada, usando o extrator no tamanho adequado, colocar a borda da lâmina a 90° da borda do conjunto. São dadas pequenas pancadas com o martelo, para assentar a ferramenta; girando para a esquerda, com pressão, até remover o conjunto. Os fios de rosca não ficarão danificados se o conjunto for removido corretamente.
- 3 **Abridor de rosca** - Use o abridor de rosca macho, na medida requerida. O procedimento de abrir rosca é o padronizado. O comprimento da parte rosqueada deve ser igual ou maior do que o requerido.
- 4 **Medidor** - Os fios de rosca devem ser verificados com um medidor de rosca *Heli-Coil*.
- 5 **Instalação do conjunto *Heli-Coil*** - Usando a ferramenta adequada, instalar o conjunto até uma profundidade que permita que o final superior da espiral fique de 1/4 a 1/2 espira abaixo da superfície do furo.
- 6 **Remoção do pino de arrasto** - Selecione a ferramenta própria para a quabra do pino de arrasto. Os pinos devem ser removidos em todos os furos passantes. Nos furos cegos os pinos de arrasto podem ser removidos quando necessário se o furo tiver profundidade bastante por baixo do pino do conjunto instalado.

Estas instruções não são consideradas como específicas para instalação de roscas postiças do tipo *Heli-Coil*. Para instalar um conjunto de roscas postiças, devem ser seguidas as instruções fornecidas pelo fabricante.

As roscas postiças *Heli-Coil* são fornecidas com os seguintes tipos de roscas: grossa, fina, métrica, de vela de ignição e *National Taper Pipe*.

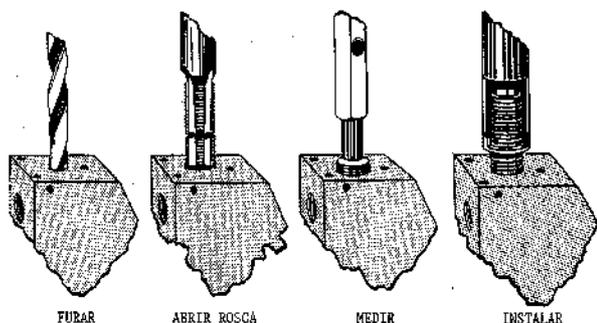


Figura 6-15 Instalação da rosca postiça.

REPARO COM LUVAS ACRES

Luvax prendedoras acres são elementos tubulares, de parede fina, com a cabeça em ângulo para furos escareados. As luvax são instaladas em furos destinados a parafusos padrão e rebites.

O furo existente deve ser supermedido em 1/16" para a instalação da luva. As luvax são fabricadas em incrementos de polegada. Ao longo do seu comprimento, ranhuras proporcionam locais para a quebra ou o corte do excesso do comprimento, para a medida exata. As ranhuras proporcionam também um espaço para manter o adesivo ou selante quando colando a luva no furo.

Vantagens e limitações

As luvax são usadas em orifícios que possam ser supermedidos em 1/64", para remoção de corrosão ou outros danos. O orifício supermedido, com a luva instalada, permite o uso de um prendedor de diâmetro original, no orifício já reparado.

As luvax podem ser usadas em áreas de alta corrosão galvânica, desde que esta corrosão esteja em uma parte que possa ser prontamente removida. O alargamento do furo reduz a espessura da seção em corte do local e

só deverá ser efetuado quando absolutamente necessário. O fabricante da aeronave, do motor ou dos componentes, deverá ser consultado antes que o reparo dos orifícios danificados seja efetuado com as luvax acres.

Identificação

As luvax são identificadas por um código padronizado de números (Figura 6-16A), que representam o tipo, o formato, o código do material, o diâmetro do corpo, a letra código do acabamento e o aperto da espiga da luva. O tipo e o material da luva são representados pelo número básico do código.

O primeiro número, após o traço, representa o diâmetro da luva para o prendedor a ser instalado (parafuso, rebite etc), e o número após o segundo traço representa o comprimento da luva.

O comprimento da luva é determinado na instalação, e o excesso é cortado. Uma luva JK5512A-O5N-10 tem a cabeça com perfil baixo, ângulo de 100°, e o material é de liga de alumínio. O diâmetro é para um parafuso ou rebite de 5/32", a superfície não tem acabamento e o seu comprimento é de 5/8".

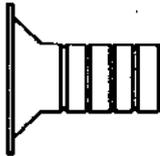
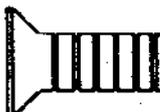
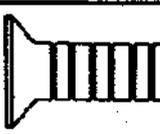
Preparação do furo

Veja na Figura 6-16B o número da broca para o furo padrão ou para a aproximação. Após feito, inspecione o furo, para assegurar-se de que toda a corrosão foi removida, antes da instalação da luva. O furo deve estar também com o contorno perfeito e sem rebarbas. O escareado deve ser aumentado para receber a parte chanfrada da luva de modo que ela fique no mesmo plano da superfície.

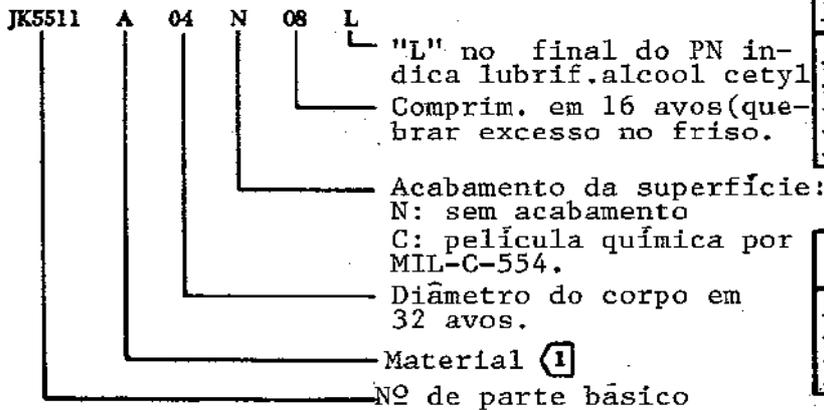
Instalação

Depois que o tipo correto e o diâmetro da luva forem selecionados, use a ferramenta 6501, para cortar o excesso da luva no final da instalação.

A luva pode ser instalada no furo, com ou sem, selante. Quando instalado com selante, use o MIL-S-8802A1/2. Reinstale o prendedor (parafuso, rebite etc), na medida original, e aplique o torque previsto.

LUVAS ACRES	TIPO	Nº de parte básico
	100º 509 Tensão Cabeça mais Flange	JK5610
	Cabeça redonda (Shear)	JK5511
	100º Cabeça de perfil baixo	JK5512
	100º Perfil padrão da cabeça (tipo 509)	JK5516
	Cabeça redonda (tensão)	JK5517
	100º Cabeça de tensão super-medida (paraf. 1/64")	JK5533

LUVA	PARAF. MEDIDA	LUVA COMPRIM.
JK5511(04(X)) JK5512(04(X)) JK5516(04(X)) JK5517(04(X))	1/8	8
JK5511(05(X)) JK5512(05(X)) JK5516(05(X)) JK5517(05(X))	#6	8
JK5511(05(X)) JK5512(05(X)) JK5516(05(X)) JK5517(05(X))	5/32	10
JK5511(05(X)) JK5512(05(X)) JK5516(05(X)) JK5517(05(X)) JK5610(05(X))	#8	10
JK5511(08(X)) JK5512(08(X)) JK5516(08(X)) JK5517(08(X)) JK5610(08(X))	#10	12
JK5511(08(X)) JK5512(08(X)) JK5516(08(X)) JK5517(08(X)) JK5610(08(X))	1/4	16
JK5511(10(X)) JK5512(10(X)) JK5516(10(X)) JK5517(10(X)) JK5610(10(X))	5/16	16
JK5511(12(X)) JK5512(12(X)) JK5516(12(X)) JK5517(12(X)) JK5610(12(X))	3/8	16



LUVA PN Nº	PARAF. MEDIDA	LUVA COMPRIMENTO
JK5533(08(X))	13/64	12
JK5533(08(X))	17/64	16
JK5533(10(X))	21/64	16
JK5533(12(X))	25/64	16

NOTAS:

- 1** Luvas Acres JK 5533 1/64" superm. apenas em aço A286.
- 2** O comprim. das luvas Acres é em 16 avos da polegada.

MATERIAL	CÓDIGO
5052 Liga de al. (1/2 duro)	A
6061 Liga de al. (cond. T6)	B
A286 Aço Inox. ("passivate")	C

Figura 6-16A Identificação das luvas ACRES.

PREPARAÇÃO DO FURO PARA PARAFUSO SUPERMEDIDO 1/64"

MEDIDA PARAFUSO	BROCA Nº	DIAM. FURO
13/64	7/32	0.2187
17/64	9/32	0.2812
21/64	11/32	0.3437
25/64	13/32	0.4062

PREPARAÇÃO DO FURO

MEDIDA DO PARAFUSO	PADRÃO		TOLERÂNCIA	
	BROCA Nº	DIAM. FURO	BROCA Nº	DIAM. FURO
1/8	9/64	0.1406	28	0.1405
#6	23	0.1540	24	0.1520
5/32	11/64	0.1719	18	0.1695
#8	15	0.1800	16	0.1770
#10	5	0.2055	6	0.2040
1/4	14	0.2660	17/64	0.2658
5/16	21/64	0.3281		
3/8	25/64	0.3908		

INSTALAÇÃO

- A-FURE PARA REMOVER A CORROSÃO OU DANOS, SUPERMEDIDO EM 1/64".
- B-SELECIONE A LUVA ACRES PARA O TIPO E TAMANHO DO PARAFUSO.
- C-COLE A LUVA NO ORIFÍCIO DA ESTRUTURA COM SELANTE MIL-5-8802 CLASSE A 1/2.

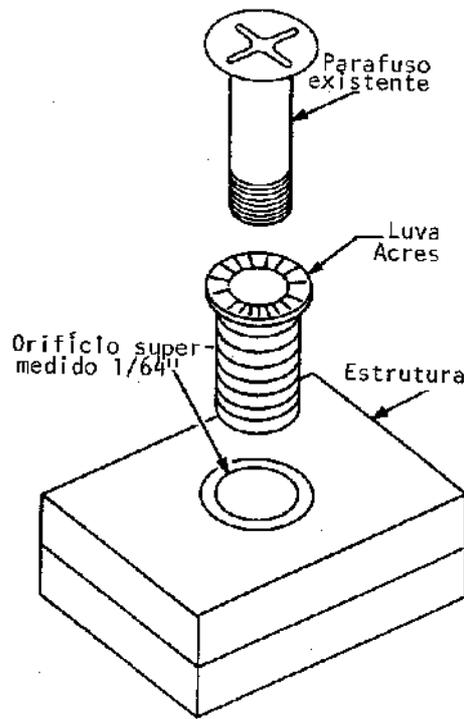


Figura 6-16B Identificação das luvas ACRES.

Remoção da luva

As luvas sem selante podem ser removidas, usando-se um pino com a medida externa da luva, ou então deformando a luva e removendo-a com uma ferramenta pontiaguda. As luvas com selante podem ser removidas por este método, porém, muito cuidado deve ser tomado para não danificar estrutura do furo.

Se este método não puder ser utilizado, broqueie a luva com uma broca, com 0.004 a 0.008 à menos do que a broca que abriu o furo para instalar a luva.

A porção remanescente da luva pode ser removida usando uma ferramenta pontiaguda e aplicando um solvente para a remoção do selante.

PRENDEDORES DE ABERTURA RÁPIDA

São prendedores usados para fixar janelas de inspeção, portas e outros painéis removíveis da aeronave. São conhecidos também pelos termos: rápida ação, trava rápida e prendedores

para painéis trabalhantes. A mais desejável aplicação para estes prendedores é permitir a rápida remoção de painéis de acesso, para inspeção e serviços.

Estes prendedores são fabricados e supridos por vários fabricantes e sob várias marcas registradas. Os mais comuns são: *Dzus*, *Camloc* e *Airloc*.

Prendedores Dzus

Consiste em um pino prisioneiro, um ilhós e um receptáculo. A Figura 6-17 ilustra as diversas partes que compõem a instalação de um Dzu.

O ilhós é feito de alumínio ou liga de alumínio. Ele atua como um dispositivo de fixação do pino prisioneiro. Os ilhoses podem ser fabricados de tubulações de alumínio 1100, se não forem encontrados através do fornecimento normal.

A mola é feita de aço, com banho de cádmio para evitar corrosão, e fornece a força que trava ou prende o pino no lugar, quando os dois conjuntos são unidos.

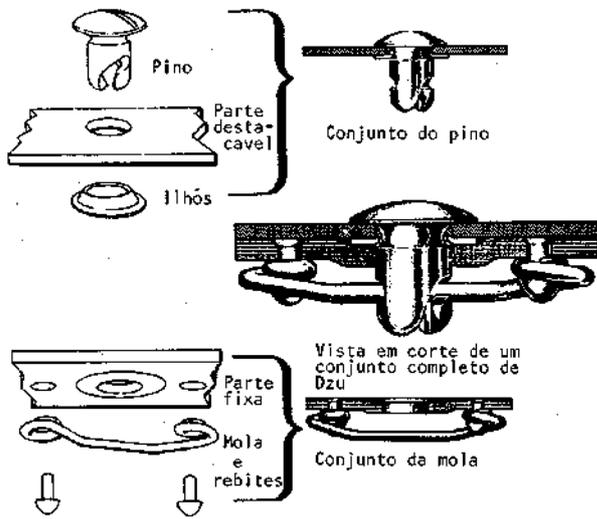


Figura 6-17 Prendedores Dzus.

Os pinos prisioneiros são fabricados de aço e banhados com cádmio. São fornecidos com três tipos de cabeças: borboleta, plana ou oval. O diâmetro do corpo, o comprimento e o tipo de cabeça podem ser identificados ou determinados pelas marcas na cabeça do pino prisioneiro (Figura 6-18). O diâmetro é sempre medido em 16 avos de polegada. O comprimento do prisioneiro é medido em centésimos de polegada, que é a distância da cabeça até a parte inferior do orifício para a mola.

Um quarto de volta do prisioneiro (no sentido dos ponteiros do relógio), trava o prendedor. O prendedor somente pode ser destravado girando-se o pino prisioneiro no sentido contrário dos ponteiros do relógio. Os Dzus são, travados ou destravados, com uma chave de fenda comum ou uma chave especial para Dzus.

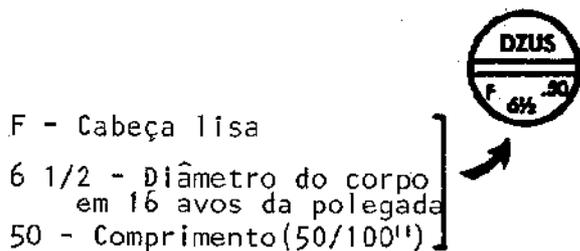


Figura 6-18 Identificação de Dzus.

Prendedores Camloc

São feitos em uma variedade de estilos e formatos. Os mais utilizados são os das séries 2600, 2700, 40S51 e 4002, na linha regular, e os prendedores de painéis trabalhantes na linha de trabalho pesado. Estes últimos são usados em

painéis trabalhantes que suportam cargas estruturais.

O prendedor *Camloc* é usado para prender coberturas e carenagens da aeronave. Ele consiste de três partes: um conjunto prisioneiro, um ilhós e um receptáculo. Dois tipos de receptáculos são fornecidos: o rígido e o flutuante. A Figura 6-19 mostra o prendedor *Camloc*.

O prisioneiro e o ilhós são instalados na parte removível, enquanto o receptáculo é rebitado na estrutura da aeronave. O conjunto prisioneiro e o ilhós são instalados em orifícios planos, mameados, escareados ou rebaixados, dependendo da localização e da espessura do material envolvido.

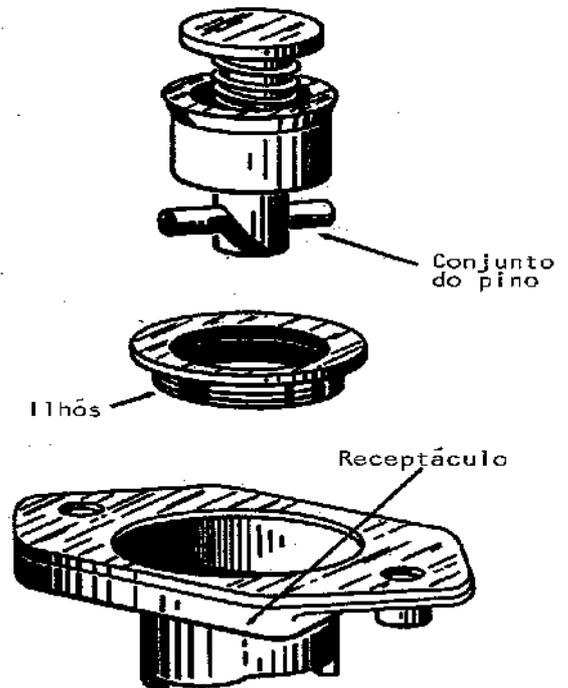


Figura 6-19 Prendedor *Camloc*.

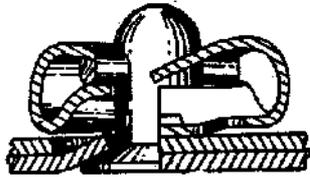
Um quarto de volta (no sentido dos ponteiros do relógio) do prisioneiro, trava o prendedor, e ele somente será destravado quando girado no sentido contrário dos ponteiros do relógio.

Prendedores Airloc

Os prendedores *Airloc* mostrados na Figura 6-20 consistem de três partes: um prisioneiro, um pino e um receptáculo. O prisioneiro é feito de aço cimentado para evitar o desgaste excessivo. O orifício do prisioneiro é ajustado para fixar o pino sob pressão.

A espessura total do material que será fixado com o *Airloc* deve ser conhecida antes de

selecionar o comprimento do prisioneiro que será instalado. A espessura do material que cada prisioneiro poderá fixar está estampada na cabeça do prisioneiro em milésimos de polegada (.040, .070, .190, etc). Os prisioneiros são manufaturados em três estilos de cabeça: lisa, oval e borboleta.

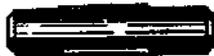


Prendedor instalado



Receptáculos do pino

Pinos



Pinos de travamento

Figura 6-20 Prendedor *Airloc*.

O pino (Figura 6-20), é manufaturado de aço cromo-vanádio, e com tratamento térmico para proporcionar um máximo de resistência, utilização e conservação de força. Ele nunca deverá ser usado uma segunda vez. Tendo sido removido, deverá ser substituído por um novo. Os receptáculos para os prendedores *airloc* são fabricados nos tipos rígidos e flutuantes.

Os tamanhos são classificados por números: nº 2, nº 5 e nº 7. Eles são também classificados pela distância entre os furos dos rebites que fixam o receptáculo: nº 2, 3/4"; nº 5, 1" e nº 7, 1 3/8". Os receptáculos são fabricados em aço de alto índice de carbono, com tratamento térmico. O encaixe superior, tipo borboleta assegura a ejeção do prisioneiro, quando ele for destravado, e permite ao pino ser mantido na posição travado, entre a borboleta superior, o ressalto e o batente, independente da tensão para a qual o receptáculo está subordinado.

CABOS DE COMANDO

Cabos são os meios mais amplamente utilizados para acionamento das superfícies primárias dos controles de vôo. Comandos através de cabos são também utilizados nos controles de motores, sistemas de extensão, em emergência do trem de pouso, e vários outros sistemas das aeronaves.

Os comandos, por meio de cabos, têm muitas vantagens sobre os outros tipos. Ele é forte, de pouco peso, e sua flexibilidade torna fácil sua rota através da aeronave. Um cabo de comando tem uma alta eficiência, e pode ser acionado sem folga, tornando-o de muita precisão nos controles.

As ligações com cabos têm também algumas desvantagens. A tensão deve ser ajustada freqüentemente com o esforço e as variações de temperatura. Os cabos de controle de aeronaves são fabricados de aço carbono ou aço inoxidável.

Construção de cabos

O componente básico de um cabo é o arame. O diâmetro do arame determina o diâmetro total do cabo. Um número de arames são preformados em uma forma helicoidal ou espiral antes, de sua adaptação no cabo, e podem ser desenroladas independentes. As designações de um cabo são baseadas no número de pernas e no número de fios em cada perna. Os cabos mais comuns usados em aeronaves são o 7x7 e o 7x19.

O cabo 7x7 consiste de sete pernas de sete fios, cada uma. Seis destas pernas são enroladas em torno de uma perna central (veja na Figura 6-21). Esse é um cabo de média flexibilidade e é usado para comando de compensadores, controle dos motores e comando de sistemas de indicação.

O cabo 7x19 é feito de sete pernas de dezenove fios, cada um. Seis dessas pernas são enroladas em torno de uma perna central (veja na Figura 6-21). Esse cabo é extremamente flexível, e é usado nos sistemas primários de comando, e em outros locais, onde, a ação sobre roldanas é freqüente.

Os cabos de comando de aeronaves variam em diâmetro, que variam de 1/16" a 3/8". O diâmetro de um cabo é medido como mostra a Figura 6-21.

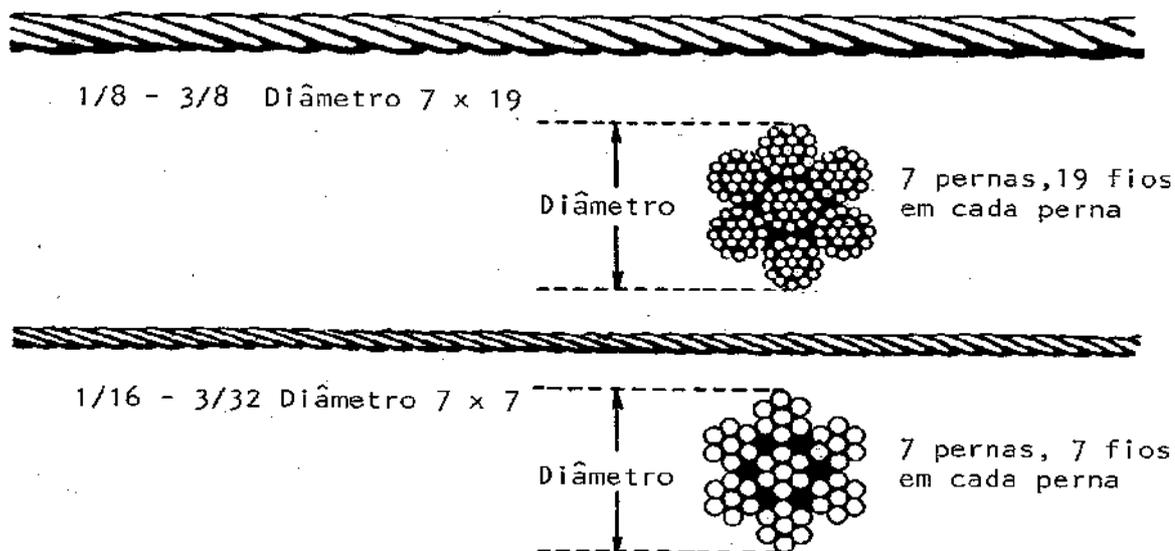


Figura 6-21 Seção em corte de cabo de comando.

As designações de um cabo são baseadas no número de pernas e no número de fios em cada perna. Os cabos mais comuns usados em aeronaves são o 7x7 e o 7x19.

O cabo 7x7 consiste de sete pernas de sete fios, cada uma. Seis destas pernas são enroladas em torno de uma perna central (veja na Figura 6-21). Esse é um cabo de média flexibilidade e é usado para comando de compensadores, controle dos motores e comando de sistemas de indicação.

O cabo 7x19 é feito de sete pernas de dezenove fios, cada um. Seis dessas pernas são enroladas em torno de uma perna central (veja na Figura 6-21).

Esse cabo é extremamente flexível, e é usado nos sistemas primários de comando, e em outros locais, onde, a ação sobre roldanas é frequente.

Os cabos de comando de aeronaves variam em diâmetro, que variam de 1/16" a 3/8". O diâmetro de um cabo é medido como mostra a Figura 6-21.

Terminais de cabos

Os cabos podem ser conectados com diversos tipos de terminais, sendo os mais utilizados os do tipo prensado, com formato de bola, garfo, rosqueado e outros.

O terminal rosqueado, o em garfo e o em olhal são usados para conectar o cabo a um esticador, uma articulação ou outra ligação do sistema.

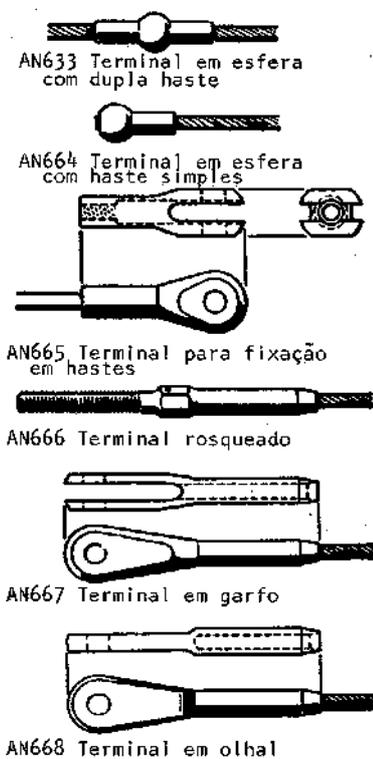


Figura 6-22 Tipos de terminais de cabos de comando.

O terminal em esfera é usado para ligação de cabos em quadrantes e conexões especiais, quando o espaço é limitado. A Figura 6-22 ilustra os diferentes tipos de terminais.

Os terminais sapatilha "*bushing* e *shackle*", podem ser utilizados no lugar de alguns tipos de terminais.

Quando as condições de suprimento forem limitadas e a substituição do cabo tenha que ser feita imediatamente.

Esticadores

Um esticador é um mecanismo formado por dois terminais roscados, e uma peça intermediária, que, ao ser girada em um sentido, tende a separar os terminais. Em outra direção, tende a junta-los, possibilitando assim, a regulação da tensão dos cabos de comando ligados aos terminais. Um dos terminais possui rosca esquerda e o outro rosca direita. A peça central possui rosca esquerda de um lado e direita do outro, sendo ambas internas.

Quando instalando um esticador, em um sistema de controle, é necessário atarrachar ambos os terminais em igual número de voltas na parte central. É também essencial, que após a introdução dos terminais, na parte central, fiquem expostos, no máximo, três fios de rosca em cada terminal (ver Figura 6-23).

O tamanho correto e o tipo dos esticadores (longo ou curto), deve ser observado por ocasião de cada instalação de cabo. Deve ser observado o estado dos fios de rosca** e a sua lubrificação. As roscas, esquerda e direita, devem ser verificadas quanto ao sentido correto e o tipo de terminal do cabo correspondente, de acordo com os desenhos; devem ser lubrificadas, segundo as especificações da fábrica; todo o excesso de lubrificante deverá ser removido. Após a regulação, o esticador deverá ser frenado. Os métodos de frenagem serão vistos em capítulo posterior.



Figura 6-23 Conjunto típico de esticador.

CONEXÕES RÍGIDAS DE CONTROLE

São tubos, utilizados como ligação, em vários tipos de sistemas, operados mecanicamente. Este tipo de ligação elimina o problema de tensão e permite a transferência, tanto de compressão como de tração, por meio de um simples tubo.

Um conjunto de conexão rígida consiste de um tubo de liga de alumínio ou aço, com um terminal ajustável, e uma contraporca em cada extremidade (Figura 6-24).

As contraporcas fixam os terminais, depois que o conjunto tiver sido ajustado para o seu correto tamanho. As conexões rígidas são,

geralmente, feitas em pequenas seções, para evitar vibração e curvaturas, quando sob carga de compressão.

PINOS

Os três principais tipos de pinos usados em estruturas de aeronaves são: pino de cabeça chata e contrapino.

Os pinos são usados em aplicações cisa-lháveis e por segurança. Pinos cônicos têm tido sua aplicação aumentada em construção aeronáutica.

Pino cônico

Liso ou com rosca (AN385 e AN386), são usados em juntas que sofrem carga de cisalhamento, e quando a ausência de folga é essencial.

O pino liso é furado e usualmente frenado com arame. O com rosca é usado com aruela (AN975) e porca (contrapinada) ou porca auto-freno.

Pino de cabeça chata

Normalmente chamado de pino Clevis, o (MS20392) é usado em terminais de tirantes e controles secundários os quais não estejam sujeitos a contínuas operações.

O pino deve ser instalado com a cabeça para cima, como prevenção, para o caso de perda ou falha do contra-pino, garantindo a permanência do pino no seu devido lugar.

Contra-pino

O (AN380) contra-pino de aço de baixo-carbono e banhado com cádmio é usado na frenagem de parafusos, porcas, outros pinos e em várias aplicações, quando a segurança se faz necessária. O AN381 é um contra-pino de aço resistente à corrosão, usado em locais onde é requerido material não magnético, ou em locais onde a resistência a corrosão é necessária.

Rollpins

É um pino colocado sob pressão e com as pontas chanfradas, tem a forma tubular e cortado em todo o seu comprimento. O pino é colocada no lugar por meio de ferramentas manuais, sendo comprimido e girado na posição.

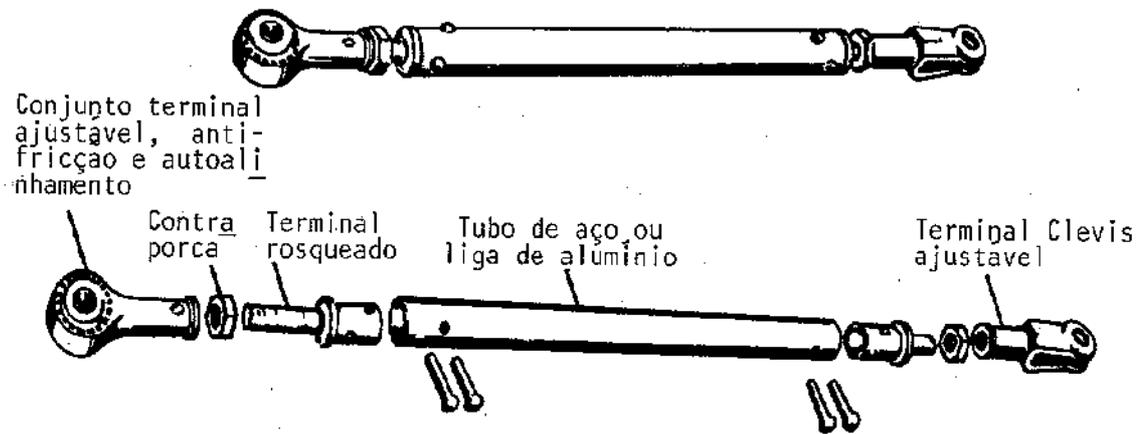


Figura 6-24 Conjunto de haste rígida de comando.

A pressão exercida pelo pino nas paredes do orifício é que o mantém fixo, até sua remoção com um punção de montagem ou com um toca-pino.

MÉTODOS DE SEGURANÇA

São os processos de segurança empregados em toda a aeronave em parafusos, porcas, pinos e outros elementos de fixação, os quais não podem trabalhar frouxos devido a vibração. É necessária uma familiarização, com os vários métodos e meios de frenagem do equipamento na aeronave, com a finalidade de executar a manutenção e inspeção.

Existem vários métodos de segurança para as partes de uma aeronave. Os mais utilizados são: arame de freno, contra-pinos, arruelas-freno, anéis de pressão e porcas especiais, como a auto-freno e contra-porca. Algumas dessas porcas e arruelas já foram apresentadas.

Frenagem com arame

É o mais positivo e satisfatório meio de segurança para bujões, prisioneiros, porcas, cabeças de parafuso e esticadores, os quais não podem ser frenados por outro processo mais prático.

É o método de frenar duas ou mais unidades, de tal maneira, que qualquer tendência de afrouxar uma delas será anulada pelo aperto do arame de freno.

Porcas e parafusos

Porcas e parafusos podem ser frenados com arame simples ou duplo torcido. O fio du-

plo torcido é o método mais utilizado em frenagem com arame.

O fio simples de arame pode ser usado em pequenos parafusos, em um espaço reduzido, próximos e geometricamente colocados, em partes do sistema elétrico, e em lugares de difícil acesso.

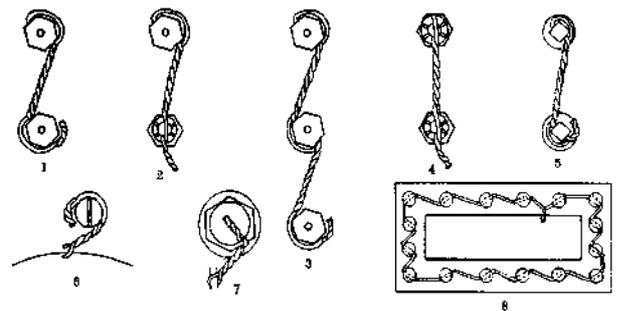


Figura 6-25 Métodos de frenagem com arame.

A Figura 6-25, é uma ilustração dos vários métodos, que são, normalmente usados na frenagem com arame de porcas e parafusos.

Um estudo cuidadoso da Figura 6-25 mostra que:

- a. Os exemplos 1, 2 e 5 ilustram o método próprio de frenagem de parafusos, plugues com cabeça quadrada, e partes semelhantes, quando frenadas aos pares;
- b. O exemplo 3, ilustra alguns componentes frenados em série;
- c. O exemplo 4, ilustra o método próprio, de frenagem de porcas, castelo e prisioneiros. (Observar que o arame não circunda a porca);

d. Os exemplos 6 e 7, ilustram um tipo simples de componente roscado, frenado à carcaça ou outro ponto de fixação.

e. O exemplo 8, ilustra vários componentes em espaço reduzido, geometricamente colocados, e usando um simples fio de arame na frenagem.

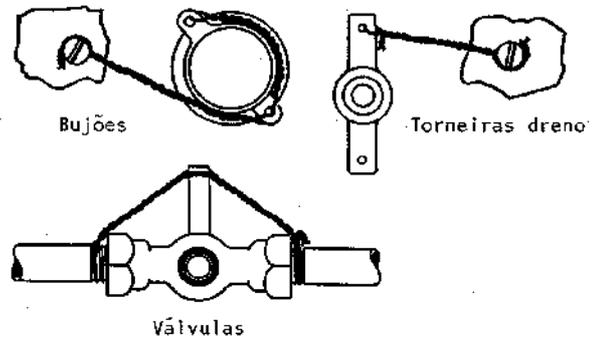


Figura 6-26 Frenagem com arame de bujões, drenos e válvulas.

Conectores elétricos

Sob condições de severa vibração, a porca de um conector pode vibrar se estiver solta e com suficiente vibração; o conector poderá soltar-se. Quando isto ocorre, o circuito alimentado pelos fios ficará interrompido. A proteção indicada, para evitar esta ocorrência, é a frenagem com arame, como mostra a Figura 6-27. A frenagem deve ser a mais curta possível e a tensão do arame deverá atuar no sentido do aperto de porca no plugue.

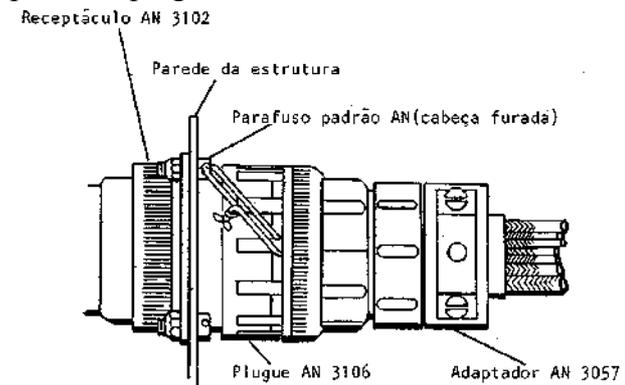


Figura 6-27 Frenagem de plugues conectores.

Esticadores

Após um esticador ter sido adequadamente ajustado, ele deverá ser frenado. Existem vários métodos de frenagem de esticadores, porém, somente dois deles serão aqui apresentados (Figura 6-28 A e B). O clip de travamento é o mais recente; o mais antigo é o que requer arame de feno, obedecendo a uma seqüência no enrolamento.

Quando frenando juntos parafusos de cabeça furada, ou partes semelhantes, eles estarão mais convenientemente seguros se forem frenados em séries, do que individualmente.

O número de porcas ou parafusos que podem ser frenados juntos depende da aplicação. Quando frenando parafusos muito afastados com fios duplos torcidos, um grupo de três deverá ser o máximo em uma série.

Quando frenando parafusos, próximos um do outro, o número que couber em 24 polegadas de extensão de arame, é o máximo de cada série.

O arame deverá ser colocado de modo que a tendência de afrouxar um parafuso encontre resistência no arame que está forçando na direção de aperto.

As partes a serem frenadas deverão ser apertadas, até o valor de torque previsto, e os furos alinhados antes da operação de frenagem. Nunca apertar, além do torque previsto, ou afrouxar uma porca já torquada para linhar os furos para a frenagem.

Bujões de óleo, torneira dreno e válvulas

Estas unidades são frenadas como mostra a Figura 6-26. No caso do bujão de óleo, o arame de feno está preso à cabeça de um parafuso próximo.

Este sistema aplica-se a qualquer outra unidade, a qual tenha que ser frenada individualmente.

Ordinariamente, pontos de frenagem, são convenientemente localizados próximos a estas partes individuais.

Quando não houver esta facilidade, a frenagem deve ser feita em alguma adjacente parte do conjunto.

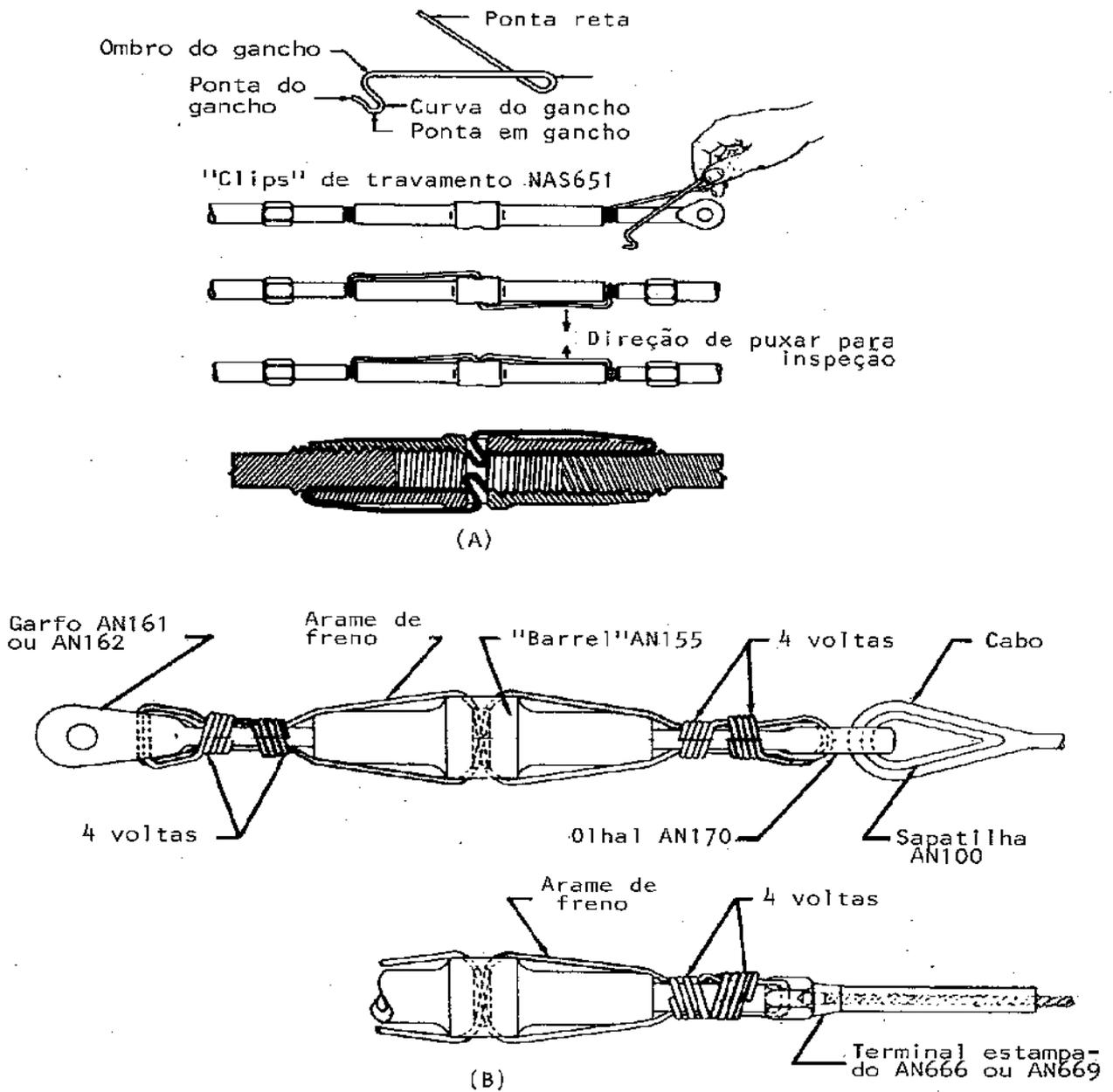


Figura 6-28 Frenagem de esticadores;(A) Método "clip" de travamento; (B) Método frenagem com arame.

Método de enrolamento duplo de arame

Dos métodos de frenagem de esticadores, o enrolamento duplo é o preferido, embora o método de enrolamento simples seja satisfatório. O método de enrolamento duplo é mostrado na Figura 6-28B.

Usando dois pedaços separados do arame, indicado na tabela da Figura 6-29, passe uma das pontas, de um dos pedaços, pelo orifício central do esticador, dobrando o arame; e levando as pontas em direções opostas. O procedimento com o outro pedaço de arame deve

ser repetido. Em cada extremidade do esticador, os arames são passados em sentidos opostos, pelo orifício do terminal (olhal, garfo, etc), dando em cada terminal quatro voltas com cada ponta dos arames, cortando o excedente. O mesmo procedimento deverá ser aplicado em cada extremidade do esticador.

Quando o terminal for do tipo roscado, sem olhal e sem uma passagem mais ampla para as duas pontas do arame, passe apenas uma delas, e após cruzar sobre a outra ponta livre, faça o enrolamento no terminal com cada uma das pontas do arame.

Medida do cabo em polegadas	Tipo do enrolamento	Diâmetro do arame de freio	Material (recozido)
1/16	Simples	020	Aço inoxidável
3/32	Simples	040	Cobre, Latão 1
1/8	Simples	040	Aço inoxidável
1/8	Duplo	040	Cobre, Latão 1
1/8	Simples	057 Min.	Cobre, Latão 1
5/32	Simples	057	Aço inoxidável

1 - Arame de aço galvanizado ou estanhado ou ainda de ferro doce são também aceitáveis.

Figura 6-29 Guia de frenagem de esticadores.

Método de enrolamento simples

Os métodos descritos nos parágrafos seguintes são aceitáveis, mas não tão eficientes quanto os de enrolamentos duplos.

Passa um pedaço de arame de freio através do terminal do cabo (olhal, garfo ou orifício do terminal roscado) em uma das extremidades do esticador. Cruze cada uma das pontas do arame, em direções opostas, em volta da primeira metade da parte central do esticador, de modo que os arames se cruzem duas vezes.

Passando ambos os arames pelo orifício central, o terceiro cruzamento dentro da passagem é feito. Mais uma vez, cruze os arames em direções opostas, em volta da outra metade do esticador. Depois é só passar a ponta do arame pelo olhal do terminal, garfo ou orifício do terminal roscado e, da maneira já descrita anteriormente, enrole cada ponta no terminal por quatro voltas, cortando o excesso.

Uma alternativa do método descrito é passar um arame pelo orifício central do esticador, dobrar as pontas em direções opostas passando cada ponta pelo olhal, garfo ou orifício do terminal roscado e enrolar cada ponta quatro voltas no respectivo terminal, cortando o excesso de arame. Após a frenagem, somente três fios de rosca dos terminais deverão ficar expostos.

Regras gerais para frenagem com arame

Quando utilizando os métodos de frenagem com arame, as seguintes regras gerais deverão ser seguidas:

1. A frenagem deve terminar com uma ponta de arame torcido de 1/4" a 1/2" (três a seis espiras). Esta ponta deverá ser torcida para

trás ou para baixo para não se tornar um estorvo.

2. Em cada frenagem deve ser usado arame novo.
3. Quando frenando porcas castelo com arame, o aperto final deverá ser dado na porca cuidando em alinhar o orifício do parafuso com o castelo da porca.
4. Todas as frenagens com arame deverão ser apertadas depois de efetuadas, mas nunca excessivamente para não enfraquecer o arame que poderá quebrar-se com o manuseio ou com a vibração.
5. O arame deve ser colocado de modo que a tensão exercida por ele seja no sentido de apertar a porca.
6. O arame de freio deve ser torcido com aperto uniforme e entre as porcas, na frenagem em série, deve ser tão esticado quanto possível sem que fique torcido em demasia.
7. O arame de freio deverá sempre ser instalado e torcido de modo que a curva em torno da cabeça do parafuso permaneça em baixo e não tenha a tendência a passar para a parte superior da cabeça, causando uma folga prejudicial.

Frenagem com contrapino

A instalação de contrapinos é mostrada na Figura 6-30. As porcas de castelo são usadas com parafusos, que devem ter o orifício para o contrapino.

Este aliás, deverá estar em perfeitas condições ao ser instalado no orifício e com pequena folga lateral. As regras gerais para a frenagem com contrapino, são as seguintes:

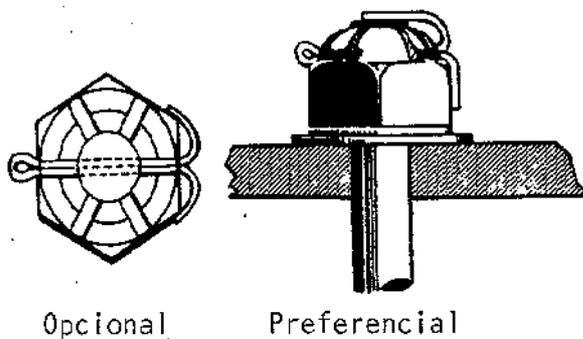


Figura 6-30 Instalação de contrapino.

1. A ponta que circunda a parte final do parafuso, não deverá ultrapassá-la, devendo ser cortada, se for o caso.
2. A ponta dobrada para baixo não deverá atingir a arruela. (Cortar, se for o caso.)
3. Se for usado o método opcional de frenagem, contornando lateralmente a porca com o contrapino, as pontas não deverão ultrapassar a parte lateral da porca.
4. As pernas do contrapino deverão ser dobradas em um ângulo razoável. Curvas muito acentuadas poderão causar a quebra. Pequenas pancadas com um macete é o melhor método de dobragem das pontas.

Anel de pressão

É um anel de metal, de seção circular ou chata, o qual é temperado para ter ação de mola. É esta ação de mola que o mantém firmemente assentado na ranhura.

Os do tipo externo têm por finalidade contornar a parte externa de eixos ou cilindros, assentados em ranhuras.

Os do tipo interno são fixados em ranhuras na parte interna de cilindros. Um tipo especial de alicate é destinado à instalação de cada tipo de anel de pressão.

Os anéis de pressão poderão ser reutilizados; enquanto a sua forma e ação de mola forem mantidas.

Os do tipo externo, poderão ser frenados; mas, os internos, nunca são frenados. A frenagem de um anel do tipo externo é mostrada na Figura 6-31.

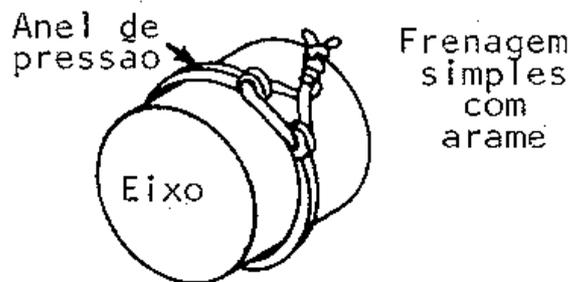


Figura 6-31 Frenagem de anel de pressão externo.

REBITES

Uma aeronave, apesar de sempre ser feita com os melhores materiais e as mais resistentes partes, terá um valor duvidoso, a menos que todas as partes estejam firmemente ligadas.

Vários métodos são usados para manter as partes de metal unidas; eles incluem a utilização de rebites, parafusos, solda ou solda forte. O processo usado pode produzir uma união tão forte quanto o material de cada uma das partes.

O alumínio e as suas ligas são difíceis de serem soldados. Entretanto para se fazer uma resistente e boa união as partes de alumínio devem ser soldadas, aparafusadas ou rebitadas umas com as outras. A rebiteagem é mais satisfatória no ponto de vista de firmeza e acabamento; ela é bem mais fácil de ser feita do que a solda. Este método é o mais utilizado na junção e união de ligas de alumínio, na construção e no reparo de aeronaves.

O rebite é um pino metálico usado para manter duas ou mais peças de metal, lâminas, placas, ou peças de material unidas; sua cabeça é formada em uma das pontas durante a fabricação. A espiga do rebite, é introduzida no orifício feito nas peças do material, e a ponta, é então, rebatida para formar uma segunda cabeça, para manter as duas peças seguramente unidas. A segunda cabeça pode ser formada, tanto manualmente, como por meio de equipamento pneumático; e é chamada de "cabeça de oficina", ou "contracabeça", cuja função é a mesma de uma porca ou um parafuso.

Em adição ao seu uso em unir seções de chapas, os rebites são também usados para unir seções de nervuras, para manter seções de cantoneiras no lugar, para prender tirantes, conexões e inúmeras partes unidas.

Os dois tipos principais de rebites usados em aeronaves são: o rebite sólido, o qual é reba-

tido usando-se uma barra encontradora; e o tipo especial, o qual pode ser instalado quando o local não permite usar a barra encontradora.

Rebites sólidos

Os rebites sólidos são geralmente usados nos trabalhos de reparos. Eles são identificados pela espécie de material de que são feitos, o tipo de cabeça, o tamanho da espiga e suas condições de têmpera. A designação para os tipos de cabeça são: universal, redonda, chata, escareada e lenticilha (brazier), de acordo com o desenho em corte da cabeça (ver Figura 6-33). As designações da têmpera e da resistência são indicadas por marcas especiais na cabeça do rebite.

O material usado para a maioria dos rebites sólidos é a liga de alumínio. A resistência e as condições da têmpera dos rebites de liga de alumínio são identificadas por dígitos e letras semelhantes aos adotados para a identificação da resistência e condições de têmpera das chapas de alumínio e de liga de alumínio em estoque. Os rebites 1100, 2017-T, 2024-T, 2117-T e 5056 são os tipos mais disponíveis.

O rebite 1100, o qual é composto de 99.45% de puro alumínio, é muito macio. Ele é usado para rebitar as ligas de alumínio macias, tais como as 1100, 3003 e 5052, as quais são usadas em partes não estruturais (todas as partes em que a resistência não é um fator a ser considerado). A rebiteagem de um porta-mapas é um bom exemplo de onde um rebite de liga de alumínio 1100, pode ser usado.

O rebite 2117-T, conhecido como o rebite de campo (field rivet), é usado mais do que qualquer outro na rebiteagem de estruturas de liga de alumínio. O rebite de campo é muito procurado por estar pronto para o uso, quando recebido não necessitando tratamento à quente ou recozimento. Ele também tem uma alta resistência à corrosão.

Os rebites 2017-T e 2024-T são usados em estruturas de liga de alumínio, quando for necessária maior resistência do que a obtida com o mesmo tamanho do rebite 2117-T. Estes rebites são recozidos, e depois mantidos refrigerados até que sejam colocados na chapa. O rebite 2017-T deverá ser colocado dentro de aproximadamente uma hora e o 2024-T dentro de 10 a 20 minutos depois de retirado da refrigeração.

O rebite 5056 é usado para rebitar estruturas de liga de magnésio, por suas qualidades

de resistência à corrosão, quando combinado com o magnésio.

Rebites de aço macio são usados para rebitar peças de aço. Os rebites de aço resistente a corrosão são empregados para rebitar aços, como paredes de fogo, braçadeiras de escapamento e estruturas semelhantes.

Rebites de Monel são usados para rebitar ligas de aço-níquel. Eles podem ser substituídos por aqueles feitos de aço resistente à corrosão em alguns casos. O uso de rebites de cobre em reparos de aeronaves é muito limitado. Eles podem ser usados somente em ligas de cobre ou materiais não metálicos, como o couro.

A têmpera do metal é um importante fator no processo de rebiteagem, especialmente com rebites de liga de alumínio. Os rebites de liga de alumínio têm as mesmas características com relação ao tratamento à quente das chapas de liga de alumínio em estoque. Eles podem ser endurecidos ou recozidos, conforme são chapas de alumínio. O rebite deve estar macio ou relativamente macio, antes que uma boa cabeça possa ser formada. O 2017-T e o 2024-T são rebites recozidos, antes de serem cravados; pois endurecem com o passar do tempo.

Os processos de tratamento à quente (recozimento) de rebites são muito semelhantes ao das chapas estocadas. Tanto pode ser necessário o tratamento em forno elétrico ou a ar, como em banho de sal ou de óleo quente. A temperatura para o tratamento depende do tipo de liga e deve estar entre 329°C a 510°C (625°F a 950°F). Para facilitar o manuseio, os rebites devem ser aquecidos em uma bandeja ou cesta de arame; e imersos em água fria a 20°C (70°F), imediatamente, após o tratamento a quente.

Os rebites 2017-T e 2024-T quando tratados à quente, iniciam a fase de endurecimento dentro de uns cinco minutos, após serem expostos à temperatura ambiente. Por este motivo, eles devem ser usados imediatamente após a imersão em água fria, ou então, serem estocados em um lugar frio. O meio mais comum de manter os rebites tratados à quente em uma temperatura abaixo de zero graus centígrados (abaixo de 32°F), é mantê-los em um refrigerador elétrico. Eles são denominados "rebites de geladeira" ("*icebox rivets*"). Sob estas condições de estocagem, os rebites permanecerão suficientemente macios, para serem cravados por um período superior a duas semanas.

Os rebites não utilizados dentro deste período, deverão ser novamente tratados à quente.

Os rebites de geladeira atingem em aproximadamente uma hora, a metade da sua resistência máxima, depois de cravados; e a total resistência em quatro dias. Quando os rebites 2017-T são expostos à temperatura ambiente por uma hora ou mais, eles são submetidos novamente ao tratamento a quente. Isto também se aplica ao rebite 2024-T quando exposto à temperatura ambiente por um período que exceda 10 minutos.

Um rebite de geladeira, que tenha sido retirado do refrigerador, não deverá ser recolocado junto aos mantidos em estoque. Se forem retirados do refrigerador mais rebites do que o necessário para serem usados em quinze minutos, eles deverão ser colocados em uma vasilha separada e guardados para repetição do tratamento à quente. Este tratamento à quente de rebites, quando feito adequadamente, pode ser repetido várias vezes. A temperatura adequada e o tempo previsto são:

Tempo de aquecimento em forno a ar		
Liga do rebite	Tempo à Temperatura	Temperatura do tratamento
2024	1 hora	487°C – 498°C (910°F – 930°F)
2017	1 hora	496°C – 510°C (925°F – 950°F)
Tempo de aquecimento em banho de sal		
2024	30 minutos	487°C – 498°C (910°F – 930°F)
2017	30 minutos	496°C – 510°C (925°F – 950°F)

A maioria dos metais e, portanto, os rebites de aeronaves mantidos em estoque, estão sujeitos a corrosão, que tanto pode ser causada pelas condições climáticas como também pelos processos usados na fabricação. Isto poderia ser reduzido ao mínimo, usando-se metais que são altamente resistentes à corrosão e possuem a correta relação peso-resistência. Metais ferrosos colocados em contato com o ar salino enferrujam se não forem propriamente protegidos. Metais não ferrosos, não enferrujam, mas um processo similar toma lugar. O sal em mistura com o ar (nas áreas costeiras) ataca as ligas de alumínio. Uma experiência muito comum, é inspecionar os rebites de uma aeronave que operou próximo a água salgada, e encontrá-los bastante corroídos.

Se um rebite de cobre for cravado em uma estrutura de liga de alumínio, teremos dois

metais diferentes em contato um com o outro. Lembramos que dois metais diferentes em contato, um com o outro, na presença de umidade causa um fluxo de corrente elétrica entre eles, formando sub-produtos. Isto resulta: principalmente, na deterioração de um dos metais.

Certas ligas de alumínio reagem com as outras e, portanto, devem ser de metais diferentes. As ligas de alumínio usadas podem ser divididas em dois grupos como mostra a fig. 6-32.

GRUPO A	GRUPO B
1100	2117
3003	2017
5052	2124
6053	7075

Figura 6-32 Grupos de alumínio.

Os membros contidos no grupo A, ou no grupo B, podem ser considerados semelhantes entre si, e não reagirão uns com os outros do mesmo grupo. Uma ação corrosiva terá lugar se algum metal do grupo A for colocado em contato com um do grupo B, na presença de umidade.

O uso de metais diferentes deve ser evitado sempre que possível. Sua incompatibilidade é um fator que foi considerado quando o "AN Standard" foi adotado. Para cumprir com o padrão AN os fabricantes devem pôr uma camada de proteção nos rebites, que podem ser de cromato de zinco, metal pulverizado ou acabamento anodizado. A camada de proteção de um rebite é identificada por sua cor. Um rebite coberto com cromato de zinco é amarelo, um com a superfície anodizada é cinza perolado; e, o com metal pulverizado é identificado pela cor cinza prateado. Se surgir uma situação na qual uma camada protetora tenha que ser aplicada durante o serviço, o rebite tem que ser pintado com cromato de zinco antes da operação e, novamente, após a cravação.

Identificação

Marcações são feitas nas cabeças dos rebites para classificar suas características. Estas marcações tanto podem ser de um ponto em relevo, dois pontos em relevo, um ponto em depressão, um par de traços em relevo, uma cruz em relevo, um simples triângulo ou um traço em relevo. Alguns rebites não têm marcas na cabeça. As diferentes marcas indicam a composição

dos rebites e, como já explanado anteriormente, diferentes colorações identificam o tipo de camada de proteção usada pelo fabricante.

Rebites de cabeça redonda são usados no interior da aeronave, exceto quando é exigida uma folga entre as partes a serem unidas e os membros adjacentes. Os rebites de cabeça redonda têm uma depressão no centro da cabeça, que é grande o bastante para fortalecer a chapa ao redor do orifício, ao mesmo tempo em que oferece resistência à tensão. O rebite de cabeça chata, do mesmo modo que o de cabeça redonda, é usado na parte interna da aeronave, quando, o máximo de resistência é necessário e quando não existe suficiente espaço para utilizar o de cabeça redonda. Ele, raramente, é usado na parte externa de uma aeronave.

O rebite de cabeça de lentilha (brazier head), tem uma cabeça de grande diâmetro, que o torna particularmente adaptável na rebiteagem de chapas finas de revestimento. Ele oferece apenas uma pequena resistência ao fluxo de ar e, em virtude disso, é freqüentemente usado na rebiteagem do revestimento externo, especialmente na seção trazeira da fuselagem e na empenagem. Ele é usado para rebitar chapas finas expostas ao sopro da hélice. Um rebite de cabeça de lentilha é também fabricado com uma cabeça de menor diâmetro.

O rebite de cabeça universal, é uma combinação do cabeça redonda, do cabeça chata e cabeça de lentilha. Ele é usado na construção e em reparos, tanto no interior, como no exterior das aeronaves. Quando for necessária uma substituição, os rebites de cabeças protuberantes--redonda, chata ou lentilha - podem ser substituídos pelos rebites de cabeça universal.

O rebite de cabeça escareada tem a parte superior lisa e chanfrada em direção ao corpo, de maneira que, ao ser introduzido em um orifício chanfrado ou escareado a cabeça fique nivelada com a superfície. O ângulo formado pela cabeça do rebite chanfrado varia de 78° a 120°. O rebite mais comum e mais usado é o de 100°. Estes rebites são usados para prender chapas sobre as quais outras chapas serão fixadas. Eles também são usados nas superfícies externas da

aeronave por oferecerem pouca resistência ao deslocamento do ar e auxiliarem a diminuição da turbulência.

As marcações nas cabeças dos rebites indicam o material de que são feitos e, portanto, sua resistência. A Figura 6-33 identifica as marcações e o material que elas indicam. Embora uma cabeça lisa indique três materiais, é possível distinguir suas diferenças pela coloração. O 1100 tem a cor de alumínio; o de aço macio tem a cor típica do aço; e o rebite de cobre é da cor do cobre. A mesma marca pode aparecer na cabeça de rebites de formatos diferentes, porém, indicando serem do mesmo material. Cada tipo de rebite é identificado por um número de parte (Part Number), para que o operador possa selecionar o rebite certo para o seu serviço.

O tipo da cabeça do rebite é identificado por números padrão AN ou MS. Os números são selecionados em séries e cada série representa um particular tipo de cabeça (ver Figura 6-33) Os números mais comuns e os tipos de cabeça que eles representam são:

AN426 ou MS20426 - rebites de cabeça escareada (100°)
AN430 ou MS20430 - rebites de cabeça redonda
AN441 - rebites de cabeça chata
AN456 - rebites cabeça de lentilha
AN470 ou MS20470 - rebites de cabeça universal.

Poderão ter letras e números adicionados ao número de parte. As letras designam o tipo de liga; os números, o diâmetro e o comprimento dos rebites. As letras mais comuns na designação de ligas são:

A - Liga de alumínio, 1100 ou 3003.
AD - Liga de alumínio, 2117-T.
D - Liga de alumínio, 2017-T.
DD - Liga de alumínio, 2024-T.
B - Liga de alumínio, 5056.
C - Cobre.
M - Monel.

A ausência de uma letra após o número padrão AN, indica um rebite fabricado de aço macio.

Material	Marcação na cabeça	Código Material	AN 425 / 80 Cabeça Escar.	AN 426 / 100° Escar.	AN427 / 100° Escar.	AN430 Cabeça redonda	AN435 Cabeça redonda	AN441 Cabeça chata	AN442 Cabeça chata	AN455 Cabeça redonda	AN456 Cabeça redonda	AN470 Cabeça univ.	Tratam. a quente antes do uso	Resist. cizalh. P.S.I.	Resist. rolam. P.S.I.
1100	Plana	A	X	X		X			X	X	X	X	Não	10000	25000
2117T	Ponto fundo	AD	X	X		X			X	X	X	X	Não	30000	100000
2017T	Ponto relevo	D	X	X		X			X	X	X	X	Sim	34000	110000
2017T-HD	Ponto relevo	D	X	X		X			X	X	X	X	Não	39000	120000
2024T	Duplo traço relevo	DD	X	X		X			X	X	X	X	Sim	41000	130000
5056T	Cruz relevo	B		X		X			X	X	X	X	Não	27000	90000
7075-T73	Três traços relevo		X	X		X			X	X	X	X	Não		
Aço carbono	Triângulo fundo				X		X						Não	35000	90000
Aço resistente à corrosão	Traço fundo	F			X		X						Não	63000	90000
Cobre	Plana	C			X		X						Não	23000	
Monel	Plana	M			X			X					Não	48000	
Monel Liga Ni-Cu	Ponto duplo fundo	C					X						Não	40000	
Latão	Plana						X						Não		
Titânio	Pontos fundos Grande e Pequ.			MS 20426									Não	95000	

* Novas especificações estão em projeto

Figura 6-33 Carta de identificação de rebites.

O primeiro número, após, a letra indicadora da composição do material, expressa o diâmetro do corpo ou espiga do rebite em 32 avos da polegada. Por exemplo: 3, significa 3/32"; 5 significa 5/32"; etc.

O último número, separado por um traço do número precedente, expressa o comprimento da espiga do rebite em 16 avos de polegada. Por exemplo: 3, significa 3/16"; 7, seriam 7/16"; etc (Figura 6-34).

Um exemplo da identificação de um rebite é:

AN470AD3-5 - Número de parte completo.

AN - *Air Force-Navy*;

470 - rebite de cabeça universal;

AD - liga de alumínio 2117-T;

3 - diâmetro de 3/32";

5 - comprimento de 5/16".

REBITES ESPECIAIS

Rebites cegos - Existem muitos locais em uma aeronave cujo acesso a ambos os lados de uma estrutura rebitada, ou parte estrutural, é impossível de ser alcançado; ou, onde o espaço é tão limitado que não permite a utilização de uma barra encontradora. O mesmo ocorre na fixação de muitas partes não estruturais, como acabamento interno, assoalho, ou outras semelhantes, em que o total comprimento de um rebite sólido não é necessário.

Os rebites especiais, que tenham sido designados para esses locais, devem permitir a cravação pela parte frontal. Eles, algumas vezes são mais fracos do que os rebites sólidos, no entanto, são amplamente mais fortes do que o necessário para aquela utilização.

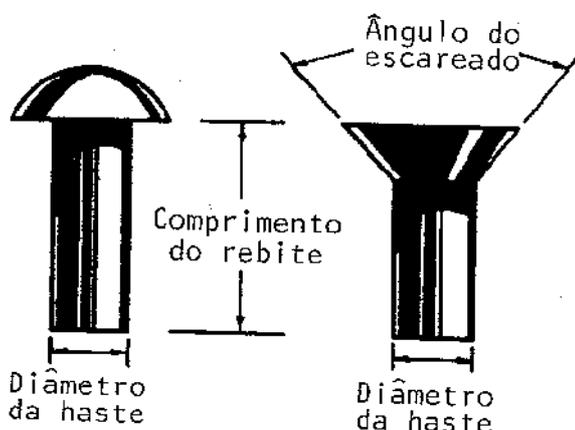


Figura 6-34 Métodos de medição de rebites.

Estes rebites são produzidos por muitos fabricantes e têm como características comuns o fato de necessitarem de: ferramentas especiais para instalação; e especiais procedimentos de instalação e de remoção.

Por isso, são chamados de rebites especiais. São também chamados de rebites cegos, porque muitas vezes são instalados em locais onde uma das cabeças (geralmente a cabeça de oficina) não pode ser vista.

Rebites cravados mecanicamente

Dois classes de rebites cravados mecanicamente serão aqui apresentadas:

1 - Não estruturais

- a. Rebites de auto-cravação (travados por atrito);
- b. Rebites *Pul-Thru*

2 - Rebites travados mecanicamente, quebrante à cabeça e auto-cravação

Auto-cravação

Os rebites cegos de auto-cravação (travados por atrito) são fabricados por várias companhias; mas, as informações básicas sobre sua fabricação, composição, usos, seleção, instalação, inspeção e procedimentos de remoção, são aplicáveis a todos eles.

Rebites de auto-cravação (travados por atrito) são fabricados em duas partes: uma cabeça; um corpo oco ou luva; e uma haste, que se estende através do corpo oco. A Figura 6-35 ilustra rebites de auto-cravação, com cabeça redonda e escareada, produzidos por um dos fabricantes.

Vários eventos ocorrem, em seqüência, quando uma força é aplicada para puxar a haste do rebite: (1) a haste é puxada para dentro do corpo do rebite; (2) a parte cônica da haste força o corpo do rebite a se expandir; e (3) quando a fricção (ou pressão causada pela tração da haste) atingir um determinado valor, causará a quebra da haste em uma das suas ranhuras. Uma porção da parte cônica (parte inferior da haste) é retida no interior do rebite, dando a ele uma resistência bem maior do que a que seria obtida de um rebite oco.

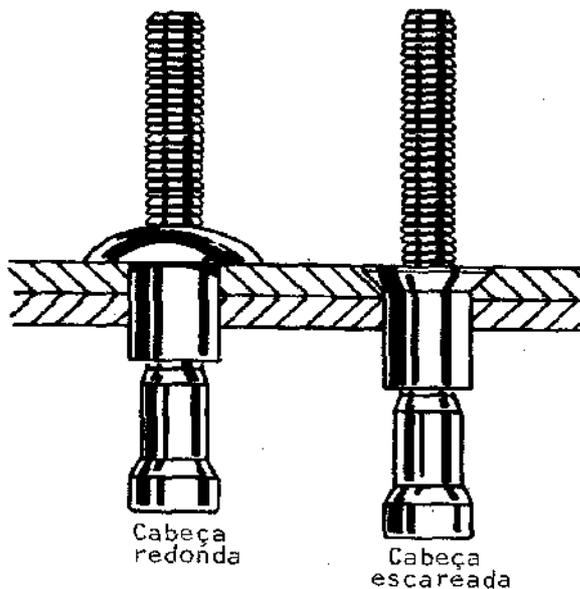


Figura 6-35 Rebites de auto-cravação (Travados por atrito).

Rebites de auto-cravação (travados por atrito) são fabricados nos dois tipos mais comuns de cabeça: (1) cabeça redonda, semelhante ao MS 20470 ou cabeça universal; e (2) cabeça escareada, a 100°. Outros tipos de cabeças são fornecidos por alguns fabricantes.

A haste dos rebites de auto-cravação (travados por atrito), podem ter um ressalto na parte superior ou ela pode ser serrilhada, como é mostrado na Figura 6-35.

Os rebites de auto-cravação (travados por atrito) são fabricados de vários materiais. Eles são fornecidos com as seguintes combinações de materiais: haste de liga de alumínio 2017 e luva de liga de alumínio 2117; haste de liga de alumínio 2017 e luva de liga de alumínio 5056; e haste de aço e luva de aço.

Os rebites de auto-cravação (travados por atrito) são projetados de maneira que a instalação seja executada por somente uma pessoa; não é necessário ter acesso ao trabalho em ambos os lados. A haste, ao ser puxada, executa um trabalho uniforme e sempre seguro. Por não ser necessário acessar o lado oposto ao trabalho, os rebites de auto-cravação (travados por atrito), podem ser usados para fixar conjuntos, como tubo ocos, chapas corrugadas, caixas ocas etc. Como não é necessária a aplicação de marteladas para a cravação desses rebites, eles podem ser utilizados para fixar compensados ou plásticos. Os fatores a serem considerados na seleção correta dos rebites para instalação são: (1) localização da instalação; (2) composição do ma-

terial que será rebitado; (3) espessura do material a ser rebitado; e (4) resistência desejada.

Se o rebite é para ser instalado em uma superfície aerodinamicamente lisa, ou, se for necessária uma distância entre conjuntos, os rebites de cabeça escareada devem ser os escolhidos. Em outras áreas onde o espaço e o acabamento liso não são fatores importantes, o rebite de cabeça protuberante pode ser utilizado.

Quanto ao material de que é feito, o rebite será escolhido de acordo com o material a ser rebitado. Os rebites fabricados de liga de alumínio 2117 podem ser usados na maior parte das ligas de alumínio. Os rebites de liga de alumínio 5056 devem ser usados quando o material a ser rebitado for de magnésio. Os rebites de aço devem sempre ser escolhidos para rebitar conjuntos fabricados de aço.

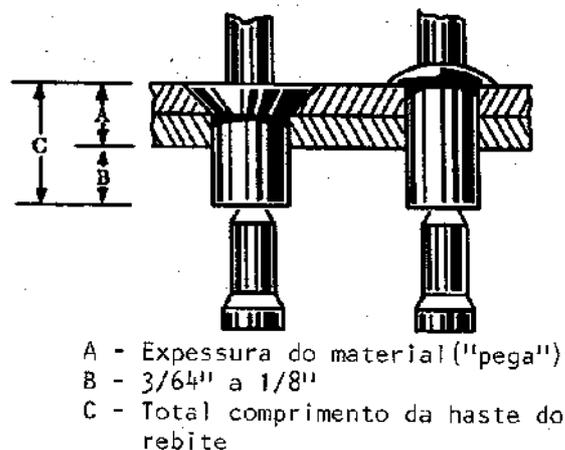


Figura 6-36 Determinação do comprimento do rebite de auto-cravação.

A espessura do material que está sendo rebitado, determina o comprimento do corpo do rebite. Como regra geral, o corpo do rebite deverá estender-se além da espessura do material, aproximadamente 3/64" a 1/8", antes da haste ser puxada (ver Figura 6-36).

Rebites *Pull-Thru*

Os rebites cegos do tipo *Pull-Thru* são fabricados por várias companhias; a mesma informação básica sobre sua fabricação, composição, uso, seleção, instalação, inspeção e procedimentos de remoção são comuns a todos eles.

Os rebites *Pull-Thru* são fabricados em duas partes: um rebite com cabeça, de corpo oco ou luva; e, uma haste que atravessa o corpo oco.

A Figura 6-37 apresenta um rebite *Pull-Thru* de cabeça redonda e um de cabeça escareada.

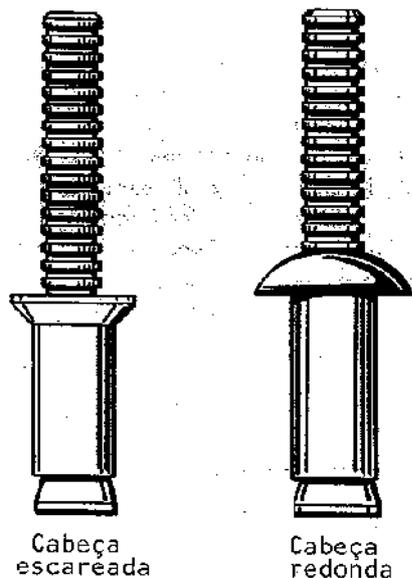
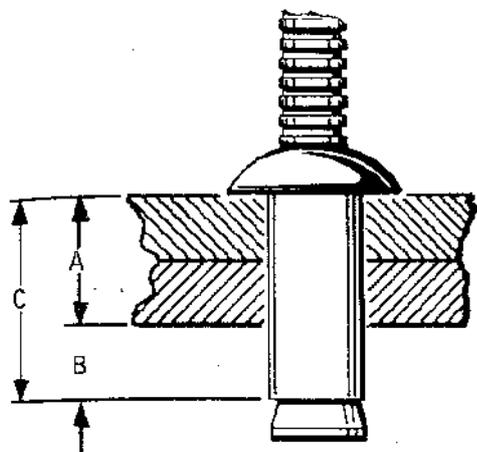


Figura 6-37 Rebites "Pull-thru".

Vários eventos ocorrem, em seqüência, quando uma força é aplicada para puxar a haste do rebite: (1) a haste é puxada para dentro do corpo do rebite; (2) a parte cônica da haste força o corpo do rebite a se expandir, formando uma cabeça cega que fecha o furo do rebite.



- A- Espessura do material
- B- 3/64" a 1/8"
- C- Comprimento total da haste do rebite

Figura 6-38 Determinação do comprimento dos rebites "Pull-thru".

Os rebites *Pull-Thru* são fabricados nos dois tipos mais comuns de cabeça: (1) cabeça redonda, semelhante ao MS 20470 ou cabeça universal, e (2) cabeça escareada a 100°. Outros

tipos de cabeça são fornecidos por alguns fabricantes.

Os rebites *Pull-Thru* são fabricados em vários materiais. Os mais comuns são os seguintes: liga de alumínio 2117-T4, liga de alumínio 5056 e Monel.

Os rebites *Pull-Thru* são projetados de maneira que a instalação seja executada por somente uma pessoa; não é necessário o acesso ao trabalho em ambos os lados.

Os fatores a serem considerados na seleção correta dos rebites para instalação são: (1) localização da instalação; (2) composição do material que será rebitado; (3) espessura do material a ser rebitado; e (4) resistência desejada.

A espessura do material que está sendo rebitado determina o comprimento do corpo do rebite. Como regra geral, o corpo do rebite deverá estender-se além da espessura do material, aproximadamente 3/64" a 1/8" antes da haste ser puxada (ver Figura 6-38).

Cada companhia que fabrica os rebites *Pull-Thru* tem um número de código para auxiliar os usuários a obterem o correto rebite para as necessidades de uma particular instalação. Além disso, números MS são usados para fins de identificação. Estes números são semelhantes aos apresentados anteriormente.

Rebites *Cherry-Lock* com bulbo

A grande e cega cabeça deste rebite contribuiu para a introdução da palavra "bulbo" na terminologia dos rebites cegos. Em conjunto com a carga residual desenvolvida pela quebra da haste, ele tem comprovada resistência à fadiga, tornando-o único rebite cego intercambiável com os rebites sólidos (fig 6-39).

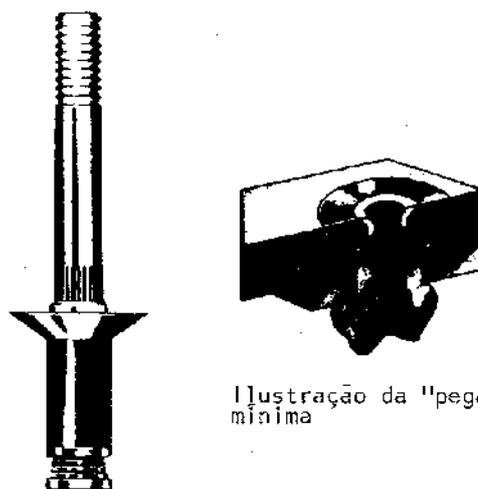


Figura 6-39 Rebite "Cherry-lock" com bulbo.

Rebites *Cherry-Lock Wiredraw*

Este rebite possui uma extensa gama de tamanhos, materiais e níveis de resistência. Este prendedor é especialmente escolhido para aplicações de selagem e funções que requerem uma excessiva quantidade de chapas (fig. 6-40).

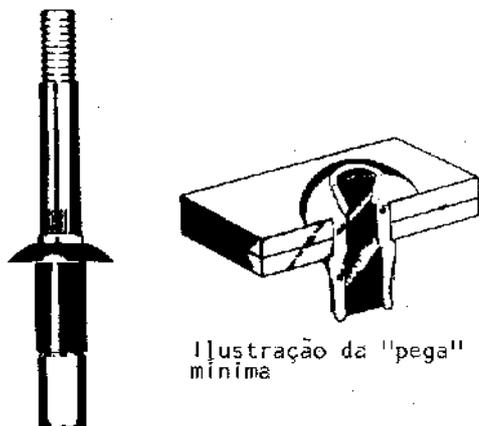


Figura 6-40 Rebites *Cherry-Lock Wiredraw*.

Rebites travados mecanicamente

Rebites de auto-cravação, travados mecanicamente, são semelhantes aos travados por atrito, exceto pela maneira de retenção da haste na luva do rebite.

Este tipo de rebite tem um colar com um travamento mecânico positivo para resistir às vibrações, que causam o afrouxamento dos rebites, travados por atrito e conseqüente possibilidade de falha. Também, a haste do rebite travado mecanicamente quebra-se rente à cabeça e, normalmente, não requer posterior ajustagem da haste quando propriamente instalado.

Estes rebites apresentam todas as características de resistência de um rebite sólido e, na maioria dos casos, um pode ser substituído pelo outro.

Os rebites de auto-cravação e, travados mecanicamente, são fabricados em duas seções: um corpo com cabeça (incluindo um recesso cônico e um colar de travamento na cabeça); e uma haste serrilhada que se estende através do corpo do rebite.

Como diferença do rebite de trava por atrito, o rebite travado mecanicamente tem um colar, que forma um travamento positivo para retenção da haste no corpo do rebite. Este colar é colocado em posição durante a instalação do rebite.

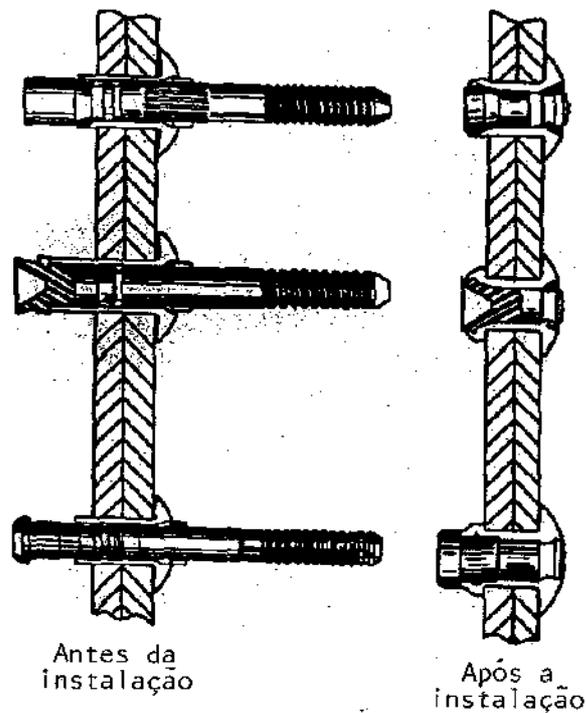


Figura 6-41 Rebites de auto-cravação (travados mecanicamente).

Material

Os rebites de auto-cravação travados mecanicamente são fabricados com luvas (corpo do rebite) de ligas de alumínio 2017 e 5056, monel ou aço inoxidável.

Este tipo de rebite pode ser usado nas mesmas aplicações do rebite de trava por atrito. Em virtude das suas características de grande retenção da haste, a sua instalação é recomendada em áreas sujeitas a considerável vibração.

As mesmas exigências gerais, para a seleção de um rebite travado por atrito, devem ser satisfeitas para a seleção de um rebite travado mecanicamente.

A composição do material que será unido determina a composição do rebite. Por exemplo: para a maioria das ligas de alumínio, o rebite de liga de alumínio 2017; e, para as peças de magnésio, os rebites de liga de alumínio 5056.

A Figura 6-42 apresenta a seqüência da instalação de um rebite travado mecanicamente. A forma e a função podem variar ligeiramente entre os estilos de rebites cegos.

As especificações deverão ser obtidas do fabricante.

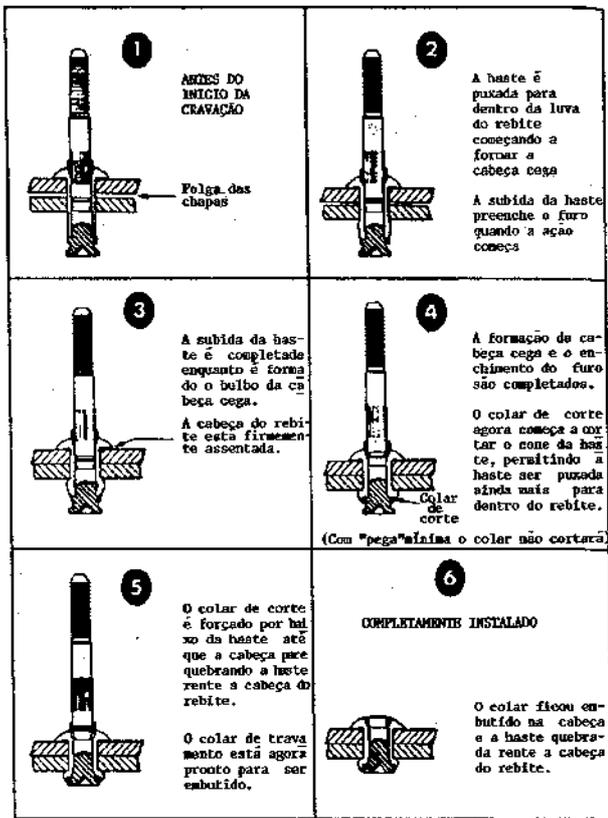


Figura 6-42 Instalação de rebites *Cherry-Lock*.

Estilos de cabeça

Os rebites cegos de auto-cravação e travados mecanicamente são disponíveis em vários estilos de cabeça dependendo das necessidades de instalação, conforme apresentado na figura 6-43.

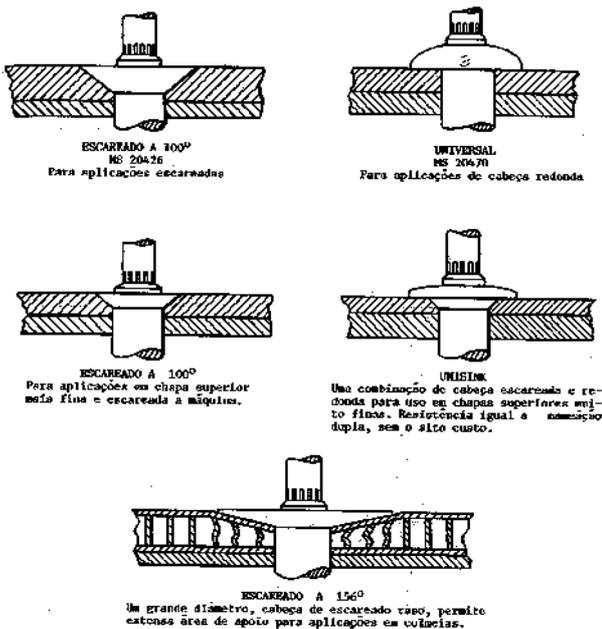


Figura 6-43 Cabeças de rebites *Cherry-Lock*.

Diâmetros

Os diâmetros do corpo dos rebites são medidos em incrementos de $1/32''$ e são identificados, geralmente, pelo primeiro número após o traço, por exemplo: - 3 significa um diâmetro de $3/32''$; - 4 significa $4/32''$ de diâmetro; etc.

Tanto são fornecidos os de medida nominal como também os de diâmetro supermedidos em $1/64''$.

Espessura do material

É a espessura total a ser rebitada e é medida em $1/16''$. É geralmente identificada pelo segundo número após o traço. A maioria dos rebites cegos têm marcado em suas cabeças, a espessura máxima de fixação; e, tem uma total variação de espessura de $1/16''$. A Figura 6-44 demonstra uma típica acomodação.

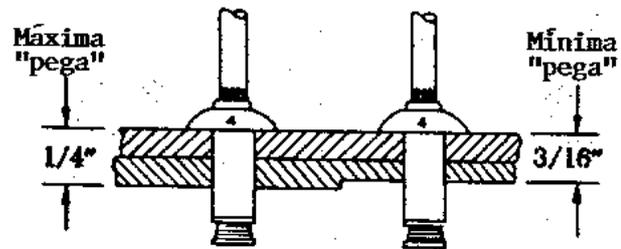


Figura 6-44 Comprimento típico de "pega".

Para determinar o rebite apropriado ao uso, é feita a medição da espessura do material, com um medidor especial (fornecido pelo fabricante do rebite cego). A Figura 6-45 apresenta o uso correto de um medidor especial de espessura.

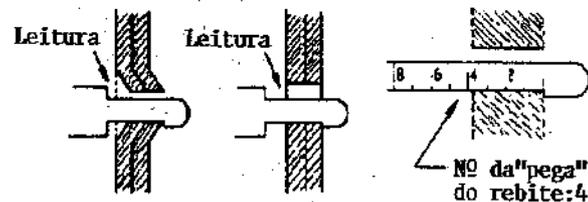
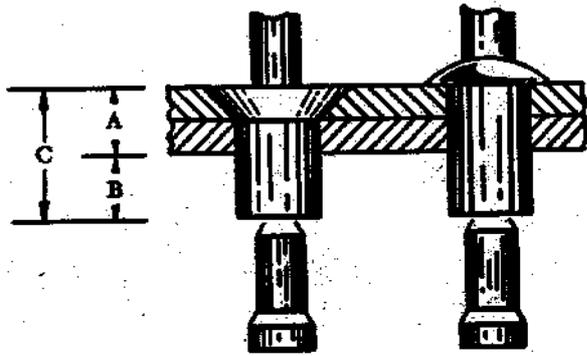


Figura 6-45 Uso do medidor de espessura ("pega").

A espessura do material a ser rebitado determina o comprimento do corpo do rebite. Como regra geral, o corpo do rebite deve ultrapassar a espessura do material, aproximadamente, $3/64''$ a $1/8''$, antes da haste ser puxada (ver Figura 6-46).



- A- Espessura do material (Grip range)
- B- De 3/64" a 1/8"
- C- Comprimento total do rebite

Figura 6-46 Determinação do comprimento do rebite.

Identificação de rebites

Cada companhia que fabrica rebites de auto-cravação (trava por atrito), tem um número de código, para auxiliar o usuário a obter o correto rebite, para uma determinada espessura de material, para uma particular instalação. Além disso, números MS são usados para fins de identificação.

Os exemplos seguintes de números de parte para rebites de auto-cravação (travados por atrito), são representativos de cada companhia.

Huck Manufacturing Company -

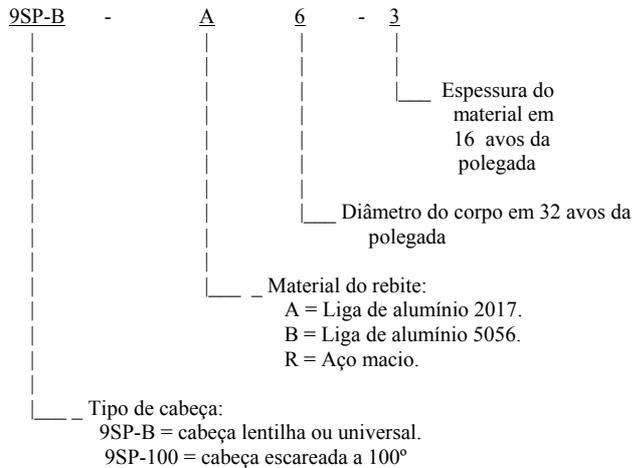


Figura 6-47.

Olympic Screw and Rivet Corporation -

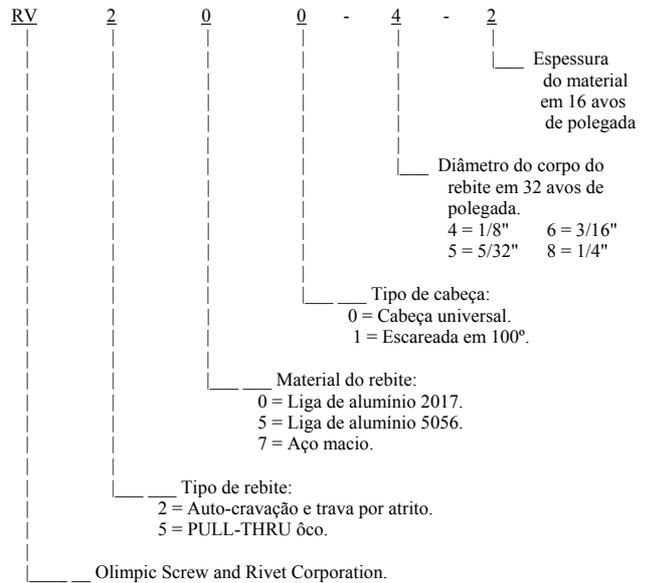


Figura 6-48.

Townsend Company, Cherry Rivet Division

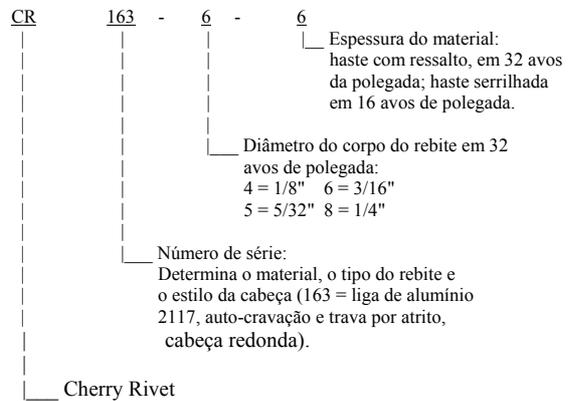


Figura 6-49.

Número Military Standard (MS) -

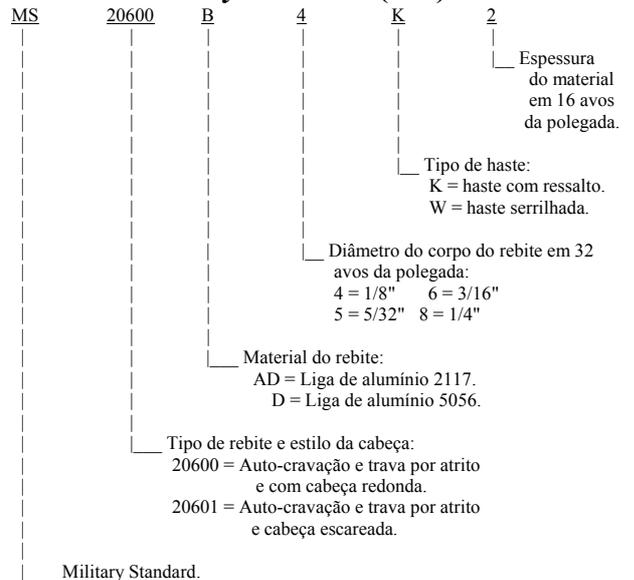


Figura 6-50.

Porca - Rebite (*Rivnut*)

Esta é a marca registrada de um rebite oco e cego, feito de liga de alumínio 6053, escareada e com rosca na parte interna. As porcas-rebites podem ser instaladas por apenas uma pessoa, usando uma ferramenta especial, que forma a cabeça do rebite no lado cego do material. A porca-rebite é atarraxada no mandril da ferramenta e introduzida no furo do material a ser rebitado. A ferramenta deve ser mantida em ângulo reto, com o material e o cabo da ferramenta acionado; e, o mandril, girado no sentido dos ponteiros do relógio, após cada acionamento, até que uma forte resistência seja sentida, indicando que o rebite está devidamente instalado.

A porca-rebite é usada, principalmente, como uma porca fixa, na fixação do revestimento de borracha do sistema de degelo do bordo de ataque das asas. Ela pode ser usada como um rebite em estruturas secundárias, ou, ainda, para a fixação de acessórios, como braçadeiras, instrumentos ou materiais de isolamento acústico.

As porcas-rebite são fabricadas em dois tipos de cabeça e, para cada tipo de cabeça, dois tipos de ponta; uma é a de cabeça chata com a ponta aberta e com a ponta fechada; a outra é a de cabeça escareada, com a ponta aberta e a ponta fechada. Todas as porcas-rebites (*Rivnuts*), com exceção das que possuem cabeça escareada do tipo fino, são disponíveis com ou sem pequenas projeções (chavetas) sob a cabeça, para impedirem que a porca-rebite gire.

As porcas-rebites com chaveta, são usadas como porca fixa, enquanto que as sem chaveta são usadas em reparos, com uma seqüência de rebites cegos, onde não serão impostas cargas de torque. Quando instalando porcas-rebites com chaveta, é necessário a utilização da ferramenta cortadora do encaixe para a chaveta.

A porca-rebite do tipo escareada é feita com dois ângulos diferentes de cabeça: de 100°, com espessura da cabeça de .048 e de .063 de polegada; e de 115°, com espessura da cabeça de .063 de polegada. Cada um desses estilos de cabeça são feitos em três medidas: 6-32, 8-32 e 10-32. Esses números representam a medida do parafuso de máquina para a rosca interna do Rivnut. O diâmetro externo do corpo da porca-rebite de 3/16" para o parafuso 6-32; de 7/32" para o tamanho 8-32 e de 1/4" para o 10-32.

Porcas-rebites com ponta aberta são mais amplamente usadas e recomendadas do que os de ponta fechada. Contudo, as porcas-rebites de ponta fechada devem ser usadas em compartimentos pressurizados.

		
Chata - 0,32 Espessura da cabeça		
6-45 8-45 10-45 6B45 8B45 10B45 6K45 8K45 10K45 6KB45 8KB45 10KB45	6-75 8-75 10-75 6B75 8B75 10B75 6K75 8K75 10K75 6KB75 8KB75 10KB75	6-100 8-100 10-100 6B100 8B100 10B100 6K100 8K100 10K100 6KB100 8KB100 10KB100
100° - 0,48 Espessura da cabeça		
6-91 8-91 10-91 6B91 8B91 10B91	6-121 8-121 10-121 6B121 8B121 10B121	6-146 8-146 10-146 6B146 8B146 10B146
100° - 0,63 Espessura da cabeça		
6-106 8-106 10-106 6B106 8B106 10B106 6K106 8K106 10K106 6KB106 8KB106 10KB106	6-136 8-136 10-136 6B136 8B136 10B136 6K136 8K136 10K136 6KB136 8KB136 10KB136	6-161 8-161 10-161 6B161 8B161 10B161 6K161 8K161 10K161 6KB161 8KB161 10KB161

Figura 6-51 Dados sobre porcas-rebites (*Rivnut*).

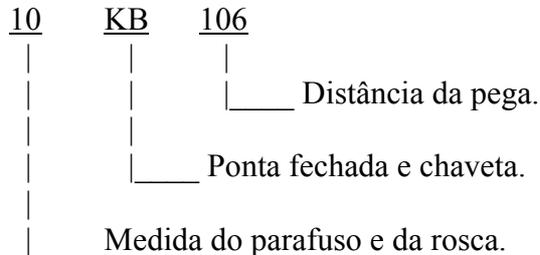
As porcas-rebites são fabricadas em seis medidas de pega (espessura do material a ser rebitado). A porca-rebite de menor medida de pega, tem a cabeça lisa, isto é, sem marcas; a imediatamente superior possui um traço no sentido radial (ver Figura 6-51) na cabeça. Cada medida subsequente recebe um traço a mais, até um total de cinco marcas, que indicam a maior medida de pega.

Na Figura 6-51 encontramos alguns números de parte, em código, que consistem de um "6", um "8" ou um "10", seguidos de um traço e mais dois ou três números. Em alguns, o traço é substituído pelas letras "K" ou "KB". O primeiro número indica a medida do parafuso de máquina e da rosca e, os últimos dois ou três números, indicam a distância máxima de pega em milésimos de polegada. Um traço entre as Figuras indica que a porca-rebite (*Rivnut*) tem a ponta aberta e não possui a chaveta sob a cabeça; um "B" no lugar do traço significa que ela

tem a ponta fechada e é sem chaveta; um "K" significa que ela tem a ponta aberta e possui a chaveta sob a cabeça; e um "KB" indica que ela tem a ponta fechada e tem chaveta.

Se os últimos dois ou três números forem divisíveis por cinco, a porca-rebite tem a cabeça chata; se eles não forem divisíveis por cinco a porca-rebite tem a cabeça escareada.

Exemplo de um número de parte:



Rebites *Dill*

Dill "Lok-Skrus" e "*Lok-Rivet*" (ver a Figura 6-52) são marcas registradas de rebites com rosca interna. Eles são usados na fixação cega de acessórios, como carenagens, coberturas de porta de acesso, molduras de portas e janelas, painéis do piso e outros semelhantes. *Lok-Skrus* e *Lok-Rivet* são semelhantes ao *Rivnut*, tanto na aparência, como na aplicação; contudo, eles são constituídos de duas partes e necessitam de mais espaço no lado cego do material, do que o *Rivnut* para acomodar o corpo.

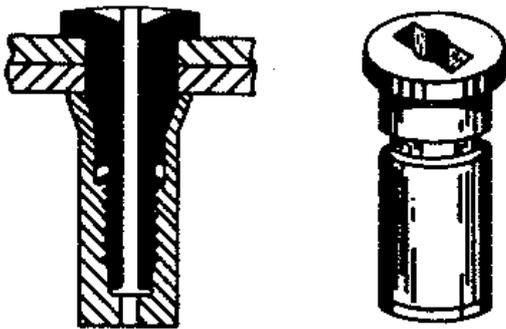


Figura 6-52 Rebite de rosca interna.

O *Lok-Rivet* e o *Lok-Skru* são semelhantes em construção; exceto que o *Lok-Skru* é roscado internamente, para fixar um acessório, usando um parafuso; enquanto que o *Lok-Rivet* não é roscado e só pode ser usado como um rebite. Tanto o *Lok-Skrus* como o *Lok-Rivet* são instalados da mesma maneira, por esse motivo o

texto a seguir para o *Lok-Skrus* também se aplica ao *Lok-Rivet*.

As principais partes de um *Lok-Skru* são o corpo, a cabeça e um parafuso de fixação.

O corpo é de liga de alumínio e a ponta aberta ou fechada. A cabeça é de liga de alumínio ou de aço e, o parafuso (ou parte roscada), é feito de aço.

Todas as partes de aço recebem banho de cádmio e todas as de alumínio são anodizadas para resistir a corrosão. Quando instalado, o corpo é roscado na cabeça, prendendo o material pela parte cega.

O parafuso de fixação é então inserido, se necessário. Existem dois tipos de cabeça: a chata e a escareada. O *Lok-Skru* é roscado para os parafusos 7-32, 8-32, 10-32 ou 10-24 e o diâmetro varia de .230 de polegada para os parafusos de 6-32, a .292 de polegada para os parafusos de 10-32. A distância da pega varia de .010 a .225 de polegada.

Rebites *Deutsch*

Esse é um rebite cego, de alta resistência usado nos antigos modelos de aeronaves. Ele tem uma resistência mínima ao cisalhamento de 75.000 p.s.i. e pode ser instalado por apenas um homem.

O rebite *Deutsch* consiste de duas partes: uma luva de aço inoxidável e um pino de aço temperado (ver Figura 6-35). O pino e a luva são cobertos com um lubrificante e um anti-corrosivo.

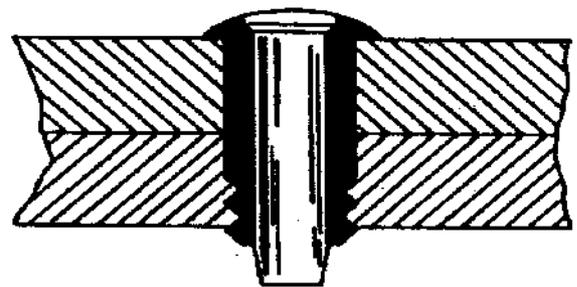


Figura 6-53 Rebite *Deutsch*.

O rebite *Deutsch* é disponível nos diâmetros de 3/16" ou 3/8". A distância de pega para este rebite varia de 3/16" a 1". Algumas variações são permitidas na distância de pega quando instalando o rebite. -+-. Por exemplo: um rebite com uma distância de pega de 3/16" pode

ser usado onde a total espessura do material estiver entre 0.198 e 0.228 de polegada.

Para a cravação de um rebite *Deutsch*, são usados ou um martelo comum, ou uma rebidadora pneumática. O rebite é colocado no furo, previamente feito, e em seguida o pino é cravado dentro da luva.

A ação de cravação ocasiona uma pressão do pino contra a luva, forçando os lados da luva para fora. Essa dilatação forma uma cabeça de oficina na extremidade do rebite, ocasionando uma fixação positiva. O sulco, na cabeça do rebite, trava o pino dentro do rebite ao serem dadas as últimas batidas.

Rebites *Hi-Shear*

São pinos rebites classificados como especiais; mas, não são do tipo cego. Para instalar esse tipo de rebite, é necessário o acesso em ambos os lados do material. Esse rebite tem a mesma resistência ao cisalhamento de um parafuso de igual diâmetro, tem em torno de 40% do peso de um parafuso e requer somente 1/5 do tempo de instalação de um conjunto de parafuso, porca e arruela.

Eles são aproximadamente três vezes mais resistentes do que os rebites sólidos.

Os rebites *Hi-Shear* são essencialmente parafusos sem rosca. Ele é um pino com cabeça em uma das pontas e, na outra ponta, um encaixe abaulado em toda a circunferência. Um colar de metal é estampado no encaixe abaulado, efetuando uma firme e forte fixação (ver Figura 6-54).

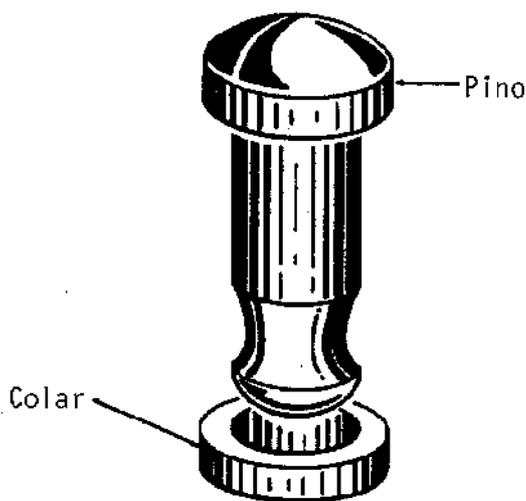
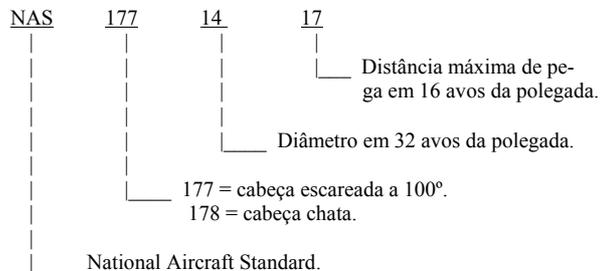


Figura 6-54 Pino-rebite (*Hi-shear*).

Os pinos-rebites *Hi-Shear* são fabricados em uma variedade de materiais, mas, deverão ser usados somente em aplicações de cisalhamento. Eles nunca deverão ser usados em locais em que a distância da pega for menor do que o diâmetro do rebite.

Os números de parte para os rebites *Hi-Shear* identificam o diâmetro, o tipo de cabeça e a distância da pega de cada rebite. Um típico número de parte é apresentado a seguir:



PLÁSTICOS

Os plásticos são usados em muitas aplicações, por todas partes, aeronaves das modernas. Estas aplicações vão desde componentes estruturais de termo-plástico reforçado com fibra de vidro (*thermosettings*) a acabamentos decorativos de materiais termoplásticos (*thermoplastic*).

Plásticos transparentes

Os materiais usados em capotas de aeronaves, parabrisas e outras janelas transparentes semelhantes podem ser divididas em duas classes principais ou grupos. Estes plásticos são classificados de acordo com a sua reação ao calor. As duas classes são termoplásticos (*thermoplastic*) e termo-endurecidos (*thermo-setting*).

Os materiais termoplásticos amolecem com o calor e endurecem quando resfriados. Eles podem ser aquecidos até amolecerem e colocados em fôrmas para tornarem a aparência desejada. Quando esfriados, eles manterão aquela forma. A mesma peça de plástico pode ser reaquecida e reformada por várias vezes sem perder a composição química do material.

Os plásticos termo-endurecidos, endurecem quando aquecidos e, se reaquecidos não amolecerão. Estes plásticos não podem ser reformados após terem sido endurecidos pela ação do calor.

Como reforço ao explanado acima, os plásticos transparentes são fabricados em duas

formas: bloco (sólido) e laminado. Os plásticos laminados transparentes são feitos de folhas de plástico transparente, unidas com uma camada interna de material, usualmente, *Polyvinyl Butyral*.

Em virtude das qualidades de resistência à rachaduras, o plástico laminado é superior ao plástico sólido e é usado em muitas aeronaves pressurizadas. A maioria das folhas transparentes usadas em aviação são fabricadas de acordo com as diversas especificações militares.

Um novo desenvolvimento em plástico transparente é o acrílico alongado, que é um tipo de plástico que, antes de receber uma forma, ele é puxado em ambas direções, para refazer a sua estrutura molecular.

Um painel de acrílico alongado tem maior resistência ao impacto e está menos sujeito a quebra; sua resistência química é maior, é mais simples e os cortes, fissuras e arranhões causam menos danos.

As folhas de plástico são cobertas individualmente com papel, com adesivo sensível à pressão para aderência. Esse papel auxilia na proteção contra arranhões acidentais durante a estocagem e manuseio. Muito cuidado deverá ser tomado contra arranhões e cortes, quando arrastando uma chapa contra a outra, ou, sobre uma mesa suja ou áspera.

As folhas devem ser estocadas nos depósitos com uma inclinação de 10° da vertical, se possível. Se elas forem estocadas horizontalmente, as pilhas não deverão ter mais do que 45 cm (18") de altura, e as folhas menores deverão ser estocadas em cima das maiores para evitar desequilíbrio.

A estocagem deverá ser em um local frio, seco e longe de vapores de solventes, aquecedores, radiadores e tubulações de vapor. A temperatura no local de estocagem não deverá exceder 44°C (120°F).

Embora a luz direta do sol não danifique o plástico acrílico, ela causará o endurecimento e secará a máscara adesiva de papel, causando dificuldade na sua remoção.

Se o papel não descolar facilmente, coloque a chapa em um forno na temperatura de 100°C (250°F), por um minuto no máximo. O calor amolecerá a máscara adesiva, facilitando a remoção do papel.

Se um forno não estiver disponível, uma endurecida máscara de papel poderá ser removida, amolecendo o adesivo com nafta alifática

(*aliphatic naphtha*). Esfregando a máscara de papel, com um pano saturado com nafta, o adesivo amolecerá, liberando o papel do plástico. Após este tratamento, a chapa de plástico deverá ser lavada imediatamente com água limpa, tomando-se o cuidado de não arranhar a superfície.

Nota: Nafta alifática (*ALIPHATIC NAPHTHA*) não deve ser confundida com nafta aromática (*AROMATIC NAPHTHA*) ou outro solvente de limpeza, os quais produzem efeitos danosos ao plástico. Como a nafta alifática é inflamável, todas as precauções referentes ao uso de líquidos inflamáveis devem ser observadas.

Plástico Reforçado

Plástico reforçado é um material term endurecido usado na construção de radomes, acabamento de antenas e de pontas de asa e, como isolante de várias peças de equipamento elétrico e células de combustível. Ele possui excelentes características dielétricas, que o tornam ideal para radomes; contudo, a sua alta razão de resistência-peso, resistência ao mofo, oxidação, deterioração e fácil fabricação, torna-o igualmente adequado para outras partes da aeronave.

Os componentes de plástico reforçado, da aeronave, são formados tanto por laminados sólidos como por laminados tipo sanduíche. As resinas usadas para impregnar o tecido de formação da fibra de vidro são do tipo contato-pressão (requerendo pouca ou nenhuma pressão durante a cura).

Estas resinas são fornecidas na forma líquida, podendo variar em viscosidade da consistência da água a consistência de xarope. A cura ou polimerização é efetuada pelo uso de um catalizador, usualmente o peróxido de benzoila (*Benzoyl peroxide*).

Os laminados sólidos são construídos de três ou mais camadas de tecido, impregnado de resina (laminado molhado), para formar uma sólida chapa plana ou, com um formato moldado.

Os laminados tipo sanduíche são construídos em duas ou mais sólidas folhas planas ou, com um formato moldado, incluindo um núcleo, tipo colméia de fibra de vidro, ou do tipo espuma. O núcleo tipo colméia é feito de tecido de fibra de vidro impregnado com uma

resina de "polyester" ou uma combinação de náilon e resina fenólica. A densidade específica e o tamanho das células da colméia variam consideravelmente. Núcleos tipo colméia são normalmente fabricados em blocos que são mais tarde cortados para a desejada medida com uma serra de fita.

Os núcleos de espuma são formados da combinação de resinas *alkidicas* e *metatolueno diisocyanato*. Os componentes de fibra de vidro do tipo sanduíche e com núcleo tipo espuma são fabricados para excederem a tolerância mínima, em toda a extensão na espessura da superfície moldada e do material do núcleo. Para obter esta precisão, a resina é derramada dentro de uma forma com tolerância mínima.

A resina transforma-se imediatamente em espuma, para preencher o espaço moldado, formando uma união entre a parte externa e o núcleo.

BORRACHA

A borracha é usada para evitar a entrada de poeira, água, ou ar e, para evitar a perda de fluidos, gases ou ar. Ela é também usada para absorver vibração, reduzir ruído e amortecer o impacto de cargas.

O termo "borracha" é tão abrangente como o termo "metal". Ele é usado para denominar não somente a borracha natural, mas também todas as borrachas sintéticas e silicone.

Borracha natural

A borracha natural tem propriedades físicas melhores do que a borracha sintética ou silicone. Estas propriedades incluem: flexibilidade, elasticidade, resistência à tensão, resistência a rasgos e baixa geração de calor quando sob flexão (histerese).

A borracha natural é um produto de aplicação geral; entretanto, sua aplicação em aeronaves é limitada devido a sua pouca resistência na maioria das causas de deterioração. Embora proporcione um excelente selo para muitas aplicações, ela se dilata e, muitas vezes, amolece em contato com combustível de aeronaves e com solventes (naftas, etc).

A borracha natural se deteriora mais rapidamente do que a borracha sintética. Ela é usada como material selante para água e sistemas de metanol.

Borracha Sintética

A borracha sintética é disponível em diversos tipos e, cada um deles, é composto de diferentes materiais para fornecer as desejadas propriedades. As mais amplamente usadas são: *Butyl*, *Bunas* e *Neopreno*.

O *Butyl* é um hidrocarboneto com superior resistência à penetração de gás. Ele é também resistente a deterioração; no entanto, comparativamente, suas propriedades físicas são bem menores do que as da borracha natural. A borracha feita de *butyl* resistirá ao oxigênio, óleos vegetais, gordura animal, álcalis, ozônio e ao desgaste.

Assim como a borracha natural, borracha feita de *butyl* dilata-se em contato com o petróleo ou solventes minerais. Ela tem uma baixa razão de absorção de água e boa resistência ao calor e a baixa temperatura. Dependendo da classificação, ela é adequada para o uso em temperaturas de 18°C a 130°C (-65°F a 300°F). A borracha de *butyl* é usada com fluidos hidráulicos, como o *skydrol*, fluidos de silicone, gases e acetonas.

A borracha *Buna-S* é semelhante a borracha natural, tanto na fabricação, como nas características de desempenho. Ela é resistente à água como a borracha natural, mas possui algumas características de durabilidade, melhores do que a borracha natural.

Uma dessas características é a boa resistência ao calor, mas somente na ausência de severa flexão. Geralmente, a *Buna-S* tem pouca resistência à gasolina, óleo, ácidos concentrados e solventes. A *Buna-S* é, normalmente, usada para pneus e câmaras de ar como substituta da borracha natural.

A borracha *Buna-N* é importante em sua resistência aos hidrocarbonetos e outros solventes; no entanto, ela tem pouca elasticidade em solventes a baixa temperatura. Os compostos de *Buna-N* têm boa resistência em temperaturas acima de 130°C (300°F), e podem ser requisitados para aplicações em temperaturas abaixo de -20°C (-75°F). A *Buna-N* é resistente a rasgos, a exposição a luz do sol e ao ozônio. Ela tem boa resistência ao abrasão e as propriedades de descolamento, quando usada em contato com metal. Quando usada como vedador de um pistão hidráulico, ela não gruda na parede do cilindro. A *Buna-N* é usada para tubulações de óleo e gasolina, forro de tanques, gaxetas e selos.

A Borracha *Neopreno* pode ser submetida a condições mais severas do que a borracha natural e possui melhores características em baixa temperatura. Ela possui excepcional resistência ao ozônio, luz do sol, calor e ao envelhecimento. A *Neopreno* tem aparência e reação ao tato, semelhante a borracha natural; no entanto, em algumas características, é menos parecida com esta, do que a *Buna* e a *Butyl*.

As características físicas da *Neopreno*, tais como a resistência a tensão e ao alongamento, não são iguais a borracha natural, mas têm muita semelhança. Sua resistência a rasgos, bem como, sua resistência à abrasão, são ligeiramente menores do que as da borracha natural. Embora sua recuperação à distorção seja completa, não é tão rápida quanto a da borracha natural.

A *Neopreno* tem uma grande resistência ao óleo. É um material adequado para ser usado em sistemas de gasolina não aromática, por isso a pouca resistência à gasolinas aromáticas.

Ela é usada primariamente para selos contra intempéries, vedação de janelas, batentes de borracha, tubulações de óleo e diafragmas de carburadores. Ela é, também, recomendada para o uso com Freons.

Thiokol, também conhecida como borracha "*Polysulfeto*", tem uma grande resistência a deterioração; mas, ocupa um dos últimos lugares com relação a propriedades físicas.

Em geral, não é seriamente afetada pelo petróleo, hidrocarbonetos, álcool, gasolina ou água. As borrachas tipo *Thiokol* têm uma baixa classificação nas propriedades físicas, como compressão, resistência à tensão, elasticidade e resistência à abrasão. Ela é usada em tubulações de óleo, revestimento de tanques para gasolina aromática de aviação, gaxetas e selos.

"Borrachas de Silicone" é um grupo de material plástico feito de Silicone, oxigênio, hidrogênio e carbono.

Elas têm excelente estabilidade no calor e mantêm a flexibilidade em temperaturas muito baixas. Elas são adequadas para gaxetas, selos e outras aplicações em elevadas temperaturas, acima de 280°C (600°F), são alcançadas.

As borrachas de Silicone são também resistentes à temperaturas abaixo de -60°C (-150°F).

Em toda essa faixa de temperatura, a borracha de Silicone permanece extremamente flexível e usável sem endurecimento nem deterioração. Ainda que esse material tenha boa re-

sistência aos óleos, ele reage desfavoravelmente, tanto com a gasolina aromática, como com a não aromática.

Silastic, um dos mais conhecidos Silicones, é usado para isolar equipamentos elétricos e eletrônicos. Em virtude das suas propriedades dielétricas, acima de uma extensa gama de temperaturas, ele permanece flexível e livre de fissuras e rachaduras. *Silastic* é também usado para gaxetas e selos em alguns sistemas de óleo.

AMORTECEDORES DE ELÁSTICO

São amortecedores feitos de borracha natural, em fios trançados, encaixados em uma capa de algodão tratado para resistir a oxidação e ao desgaste.

Grande tensão e alongamento são obtidos pelo trançado da camisa sobre o feixe de fios de borracha, no momento em que eles são esticados, aproximadamente, três vezes do seu comprimento original.

Existem dois tipos de elásticos para amortecedores: o tipo I, um elástico reto, e o tipo II, um anel contínuo conhecido como "*Bungee*". As vantagens do tipo II são: a facilidade e a rapidez da substituição e não ter que ser fixado durante a ação de amortecimento. Os elásticos para amortecedores são fornecidos em diâmetros padronizados de 1/4" a 13/16".

Três fios coloridos são trançados por dentro e por fora em toda a extensão do elástico.

Dois desses fios são da mesma cor e indicam o ano de fabricação; o terceiro fio, de cor diferente, indica o período do ano em que o elástico foi feito.

O código cobre um período de cinco anos e, então, é repetido.

A Figura 6-55 apresenta o ano e o quarto de ano com suas respectivas cores.

CÓDIGO DO ANO			CÓDIGO DO MÊS		
ANO	FIOS	CORES	MESES	FIOS	CORES
1988-1993	2	Azul	Jan-Fev-Mar	1	vermelho
1989-1994	2	Amarelo	Abr-Mai-Jun	1	azul
1990-1995	2	Preto	Jul-Ago-Set	1	verde
1991-1996	2	Verde	Out-Nov-Dez	1	amarelo
1992-1997	2	vermelho	---	---	---

Figura 6-55 Código de cores dos elásticos para amortecedores.

VEDADORES

Vedadores (*Seals*) são usados para evitar a passagem de líquidos em determinados pontos, como também, manter o ar e a poeira fora do sistema em que são usados. O crescente aumento do uso de mecanismos hidráulicos e pneumáticos, em sistemas de aeronaves, tem criado uma necessidade de gaxetas e juntas de vedação, de várias características e formatos, para satisfazer as muitas variações de operações, velocidades e temperaturas, para as quais eles estão sujeitos. Não existe um tipo ou um estilo de vedador que satisfaça a todas as instalações; e, as razões são as seguintes:

- 1 - Pressão na qual o sistema opera;
- 2 - O tipo de fluido usado no sistema;
- 3 - O acabamento do metal e a folga entre ele e as partes adjacentes; e
- 4 - O tipo do movimento (rotação ou alternado), se houver.

Os vedadores estão divididos em três classes principais: 1 - Gaxetas; 2 - Juntas de vedação; e 3 - Limpadores.

Gaxetas (*packings*)

São feitas de borracha sintética ou natural e são usadas, geralmente, como "vedadores dinâmicos"; isto é, em unidades que contenham partes móveis, como cilindros de atuação, bombas, válvulas seletoras etc. As gaxetas são feitas no formato de anéis com a seção em "O" (*O-rings*), em "V" (*V-rings*) e em "U" (*U-rings*), sendo cada um designado para uma específica finalidade (ver Figura 6-56).

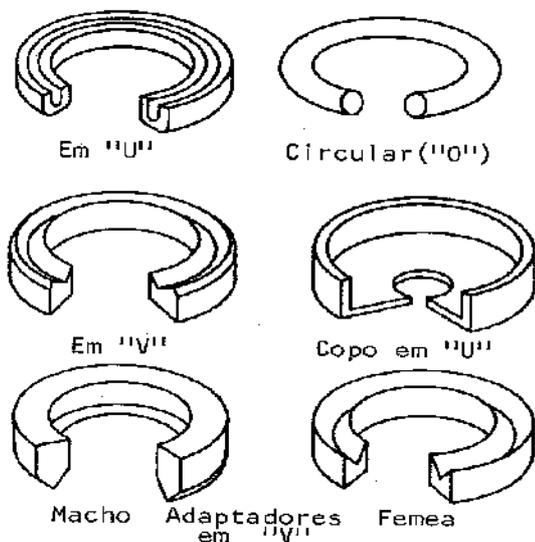


Figura 6-56 Anéis de vedação.

Gaxetas de seção circular (*O-Rings.*)

Também chamados de anéis de vedação, são usados para evitar, tanto os vazamentos internos, como os externos. Esse tipo de gaxeta veda, efetivamente, em ambas as direções, e é o tipo usado com mais frequência. Em instalações sujeitas a pressões acima de 1.500 p.s.i., anéis auxiliares são usados com os de seção circular, para evitar deformações.

Quando um anel de vedação de seção circular estiver sujeito a pressão, em ambos os lados, como em um cilindro de atuação, dois anéis auxiliares (*backup rings*) devem ser usados (um de cada lado do anel de vedação).

Quando a pressão for exercida apenas em um dos lados, usa-se simplesmente um anel auxiliar. Neste caso, o anel auxiliar deve ser colocado sempre na parte do anel de vedação que sofre a pressão.

Os materiais usados para a fabricação dos anéis de vedação devem ser compostos para as diversas condições de operação, temperaturas e tipos de fluidos. Uma gaxeta designada especificamente como um selo estacionário (estático), provavelmente, não desempenhará bem a sua função se for instalada em uma parte móvel como a de um pistão hidráulico.

Muitos anéis de vedação são semelhantes na aparência e na consistência; mas suas características podem ser muito diferentes. Um anel de vedação será inútil se não for compatível com o fluido do sistema e a temperatura de operação.

Os avanços nos modelos de aeronaves tornam necessárias novas composições, na fabricação de anéis de vedação, para acompanhar as mudanças das condições de operação.

Os anéis de vedação para sistemas hidráulicos eram originalmente controlados sob números de especificação; AN (6227, 6230 e 6290) para uso com o fluido MIL-H-5606, em temperaturas que variam de -17°C (-65°F) a +64°C (+160°F).

Quando os novos modelos elevaram a temperatura de operação para +120°C (275°F) mais compostos foram desenvolvidos e aperfeiçoados.

Recentemente um composto foi desenvolvido oferecendo melhorias no desempenho, em baixas temperaturas, sem sacrificar o desempenho em altas temperaturas, considerando as outras séries obsoletas.

Esse material superior foi adotado na série MS 28775. Esta série é agora o padrão para os sistemas que utilizam o MIL-H-5606, onde a temperatura pode variar de -17°C (-65°F) a $+120^{\circ}\text{C}$ (275°F).

Os fabricantes adotam códigos de cores em alguns anéis de vedação, embora não seja um confiável ou completo meio de identificação.

O sistema de código de cores não identifica os tamanhos, mas somente o fluido ou o vapor compatível e, em alguns casos, o fabricante.

O código de cores dos anéis de vedação que são compatíveis com o óleo MIL-H-5606 sempre terão a cor azul, mas poderão também conter a cor vermelha ou outras cores.

Gaxetas e juntas de vedação são adequadas para uso com o óleo *Skydrol*.

Elas sempre serão codificadas com um traço verde, mas poderá também ter um ponto azul, cinza, vermelho, verde ou amarelo como parte do código de cores.

O código dos anéis que são compatíveis com fluidos hidrocarbonetos sempre conterà o vermelho e nunca o azul. Um risco colorido em torno da circunferência indica que o anel de vedação é uma gaxeta com função de junta de vedação.

A cor do risco, ou da listra, indica o líquido compatível: vermelho para o combustível e azul para o fluido hidráulico.

O código em alguns anéis de vedação, não é permanente e, em outros, ele pode ser omitido, por dificultar a fabricação ou, por interferência na operação. Além disso, o código de cores fornece meios de estabelecer o tempo de vida do vedador ou suas limitações de temperatura.

Devido as dificuldades com o código de cores, os anéis de vedação são fornecidos em envelopes hermeticamente selados e etiquetados com os dados pertinentes.

Quando selecionando um anel de vedação para instalação, o número de parte básico no envelope selado fornece uma identificação digna de confiança.

Ainda que, a primeira vista, um anel de vedação tenha uma aparência perfeita, pequenos defeitos na superfície podem existir.

Estes defeitos são, muitas vezes, capazes de impedir o desempenho satisfatório sob as variações da pressão de operação do sistema da

aeronave; portanto, o anel de vedação deve ser rejeitado por defeitos que poderão afetar seu desempenho.

Alguns defeitos são difíceis de serem descobertos, por isso, os fabricantes de aeronaves recomendam o uso de uma lente que aumente quatro vezes, com iluminação adequada, para inspecionar cada anel de vedação antes da instalação.

Rolando o anel em um cone de inspeção, o diâmetro interno pode também ser inspecionado quanto a pequenas rachaduras, partículas de material estranho ou outras irregularidades; que possam causar vazamento ou diminuir o tempo de vida do anel, de vedação.

A leve esticada do anel, para a inspeção da parte interna, ajudará a revelar alguns defeitos que não seriam visíveis de outra maneira.

Anéis auxiliares de impacto (*backup rings*)

São anéis de teflon (MS 28782) que não deterioram com a idade, não são afetados por qualquer sistema de líquido ou vapor e podem tolerar temperaturas além daquelas encontradas nos sistemas hidráulicos de alta pressão.

Os seus números de identificação, além de indicar suas medidas, indicam também a medida dos anéis de vedação para os quais eles são dimensionados.

Eles são identificados por números básicos de parte e, também, são intercambiáveis; isto é, qualquer anel auxiliar de teflon pode ser usado para substituir outro anel de teflon se as suas dimensões forem próprias para apoiarem o anel de vedação.

Os anéis auxiliares de teflon não têm código de cores nem outros tipos de marcação, e devem ser identificados pelas etiquetas da embalagem.

A inspeção dos anéis auxiliares deverá incluir um teste para assegurar de que as superfícies estão livres de irregularidades; as bordas, sem as arestas cortantes; e as partes chanfradas, paralelas. Quando checando anéis de teflon em espiral, assegure-se de que as espiras não estão separadas mais de 1/4" quando livres.

Anéis de Vedação com Seção em "V"

São vedadores descartáveis (AN 6225) e são instalados sempre com a parte aberta do "V", faceando a pressão.

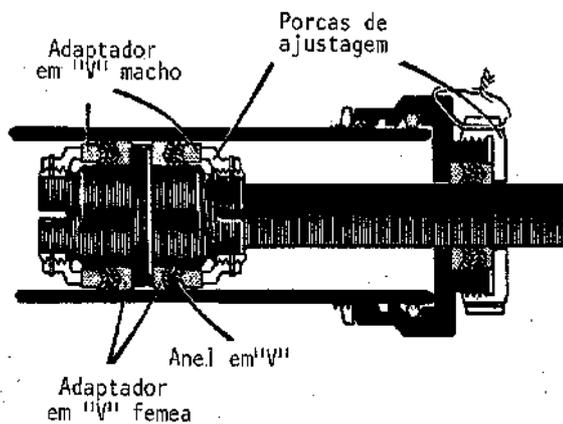


Figura 6-57 Instalação de anéis em "V".

Os anéis de vedação em "V" devem ser instalados, com adaptadores macho e fêmea, para serem mantidos na posição correta depois da instalação. É também necessário apertar o retentor dos anéis, com o torque no valor especificado pelo fabricante do componente, para que o vedador tenha um desempenho satisfatório.

A Figura 6-57 mostra um componente usando anéis de vedação em "V".

Anéis de Vedação com Seção em "U"

As gaxetas em "U", sob a forma de anel ou, em copo, são usadas em conjuntos de freio e nos cilindros mestre de freios.

Os vedadores anel em "U" e, copo em "U", só vedarão a pressão em uma direção; portanto, a parte aberta do "U" deverá estar voltada para a direção da pressão. Os anéis de vedação em "U", são primariamente, gaxetas de baixa pressão para serem usadas abaixo de 1.000 p.s.i.

JUNTAS DE VEDAÇÃO (*GASKETS*)

São usadas como selos estáticos (estacionários) entre duas superfícies planas. Os materiais mais comuns para confecção de juntas são: amianto, cobre, cortiça e borracha. Amianto laminado é usado sempre que for necessário uma junta resistente ao calor. O amianto é usado nos sistemas de escapamento - o amianto está sendo abolido por ser altamente cancerígeno. A maioria das juntas de amianto tem uma proteção de cobre nas bordas para prolongar o tempo de vida.

Uma sólida arruela de cobre é usada para a vedação de velas de ignição, onde é necessário uma junta não compreensível, porém macia.

As juntas de cortiça podem ser usadas como uma vedação, para o óleo entre o cárter do motor e os acessórios e, onde é requerida uma junta de vedação capaz de ocupar um espaço irregular ou diferente, causado por uma superfície áspera, ou ainda, sujeita a expansão e contração.

Juntas de borracha podem ser usadas onde for necessária uma junta compreensível. Ela não deverá ser usada em locais onde poderá haver o contato com gasolina ou óleo, porque a borracha deteriora-se muito rapidamente, quando em contato com essas substâncias.

As juntas são usadas nos sistemas líquidos, em torno de bujões de cilindros de atuação, válvulas e outras unidades. A junta que, geralmente, é usada para esta finalidade tem o formato semelhante a um anel de vedação.

LIMPADORES (*WIPERS*)

São usados para limpar e lubrificar a porção exposta dos eixos de cilindros. Eles evitam a entrada de poeira no sistema e, auxiliam na proteção do eixo do cilindro de atuação, contra arranhões e desgaste. Os limpadores podem ser do tipo metálico ou de feltro. Muitas vezes eles são usados juntos, com o de feltro instalado de encontro ao metálico.

SELANTES

Determinadas áreas das aeronaves são vedadas para conter a pressurização do ar, evitar vazamento de combustível, impedir a passagem de gás, ou, para evitar a corrosão, vedando contra as intempéries. A maioria dos selantes consiste em dois ou mais ingredientes, em determinadas proporções, para serem obtidos os melhores resultados.

Alguns materiais são embalados para uso imediato, enquanto outros dependem de mistura antes da aplicação.

Selantes simples (*one-part*)

São preparados pelo fabricante e estão prontos na embalagem para a aplicação. Contudo, a consistência de alguns destes compostos podem ser alteradas para satisfazer um particular método de aplicação. Se for desejada uma diluição, deverá ser usado o solvente recomendado pelo fabricante do selante.

Selantes compostos (*two-part*)

Os selantes compostos necessitam de embalagens separadas, para evitar a cura, ou, o endurecimento antes da aplicação e, são identificados como base selante e acelerador ou catalisador.

Qualquer alteração na proporção prescrita, reduzirá a qualidade do material.

Geralmente, as duas partes do selante composto são misturadas pela combinação de iguais porções (pelo peso), da base e do acelerador.

Todos os materiais selantes devem ser cuidadosamente pesados de acordo com as recomendações do fabricante.

O material selante é, normalmente, pesado com uma balança equipada com pesos especialmente preparados para as várias quantidades de selante e acelerador.

Antes da pesagem dos materiais selantes, tanto a base, quanto o acelerador, deverão ser completamente agitados.

O material acelerador que estiver seco, empurrado ou em flocos não deverá ser usado. Conjuntos de selantes já pesados (*Kits*), se forem utilizados completamente, não têm que ser pesados novamente antes de serem misturados.

Depois que a devida quantidade de base e de acelerador tiver sido determinada, adicione o acelerador ao selante base. Imediatamente após adicionar o acelerador, misture totalmente as duas partes, de modo que a consistência do material permita.

O material deverá ser misturado cuidadosamente para evitar bolhas de ar na mistura. Não convém misturar muito rápido, nem por tempo prolongado, para evitar a formação de calor na mistura, diminuindo o tempo normal de aplicação (vida útil) do selante. Para assegurar-se de que os compostos selantes estão bem mis-

turados, faça um teste com uma pequena porção sobre uma chapa de metal limpo ou vidro.

Se nódos ou torrões forem encontrados, continue misturando e, se não puderem ser eliminados, a mistura deverá ser rejeitada.

A vida útil da mistura selante é de trinta minutos a quatro horas (dependendo da classe do selante); por isso, a mistura selante deverá ser aplicada o mais rápido possível, ou então, colocada sob refrigeração.

A Figura 6-58 apresenta informações gerais sobre selantes.

O tempo de cura das misturas selantes varia com as condições de temperatura e umidade.

A cura será extremamente lenta se a temperatura estiver abaixo de 14°C (60°F). A temperatura de 22°C (77°F) com 50% de umidade relativa, é a condição ideal para a cura da maioria dos selantes.

A cura de um selante pode ser acelerada, se aumenta a temperatura, mas esta nunca deverá estar acima de 44°C (120°F), em qualquer momento do ciclo de cura.

O calor pode ser aplicado com o uso de lâmpadas de raios infravermelhos ou ar aquecido. Quando for usado o ar, ele deverá ser devidamente filtrado para remover umidade e poeira.

O calor não deverá ser aplicado em qualquer superfície de contato com selante, até que todo o trabalho esteja completado.

Todas as aplicações da superfície de contato, deverão ter as ligações permanentes ou temporárias completadas, dentro das limitações de aplicação do selante.

O selante deve ser curado para uma condição de "livre-toque", antes da aplicação do acabamento, (Livre-toque é um ponto da consistência, na qual uma folha de celofane pressionada contra o selante não ficará colada).

SELANTE BASE	ACELERADOR (CATALISADOR)	MISTURA POR PESO	VIDA ÚTIL	ESTOCAGEM DURAÇÃO APÓS MISTURADO	ESTOCAGEM	FAIXA DE TEMPERATURA	APLICAÇÃO E LIMITAÇÕES
EC-801(preto) MIL-S-7502 A Classe B-2	EC-807	12 partes de EC-807 para 100 partes de EC-801	2-4 horas	5 dias a -26°C após congelar a -48°F	6 meses	-48°C a 85°C	Superfícies de contato, enchimento, vedação de fendas.
EC-800 (vermelho)	Nenhum	Sem mistura	8-12 horas	Não aplicável	6-9 meses	-48°C a 85°C	Revestimento de rebites

EC-612 P (rosa) MIL- -P-20628	Nenhum	Sem mistura	Indefinido, não seca	Não aplicável	6-9 meses	-36°C a 85°C	Juntas acima de 1/4"
PR-1302 HT (vermelho) MIL-S-8784	PR-1302 HT-A	10 partes de PR-1302 HT-A para 100 partes de PR-1302 HT	2-4 horas	5 dias a -26°C após congelar a -48°C	6 meses	-48°C a 85°C	Juntas de janelas de inspeção
PR-727 MIL-S-8516 B	PR-727 A	12 partes de PR-727 A para 100 partes de PR-727	No mínimo 1 1/2 hora	5 dias a -26°C após congelar a -48°C	6 meses	-48°C a 85°C	Conexões elétricas e vedação de anteparos
HT-3 (verde escuro)	Nenhum	Sem mistura	2-4 horas	Não aplicável	6-9 meses	-46°C a 410°C	Vedação de tubos de ar quente através de anteparos
EC-776 (âmbar claro) MIL-S-4383 B	Nenhum	Sem mistura	8/12 horas	Não aplicável	Indefinido	-48°C a 105°C	Revestimento externo

Figura 6-58 Informação geral sobre selantes.

CONTROLE DA CORROSÃO

A corrosão de um metal é a deterioração pelo ataque químico ou eletroquímico e, pode ter lugar, tanto internamente, quanto na superfície. Do mesmo modo que o apodrecimento da madeira, esta deterioração pode alterar uma superfície lisa, enfraquecer o interior e danificar, ou, soltar partes adjacentes. Água ou vapor de água contendo sal, combina com o oxigênio na atmosfera, para produzir a principal fonte de corrosão em aeronaves.

Uma aeronave operando em um ambiente marítimo ou em área onde a atmosfera contenha vapores industriais corrosivos, está particularmente suscetível aos ataques da corrosão.

A corrosão pode causar eventual falha estrutural se não for combatida. A aparência da corrosão varia com o metal. Nas ligas de alumínio e de magnésio, ela aparece como pequenas cavidades ásperas, muitas vezes combinada com um depósito de pó branco ou cinza. No cobre e nas ligas de cobre, a corrosão forma uma película verde; no aço, uma ferrugem avermelhada.

Quando os depósitos cinza, branco, verde ou avermelhado são removidos, cada uma das superfícies pode ter a aparência áspera ou corroída, dependendo do tempo de exposição e severidade do ataque. Se não forem profundas as cavidades, elas podem não alterar significativamente a resistência do metal; no entanto, as

cavidades podem ocasionar o desenvolvimento de rachaduras.

Alguns tipos de corrosão podem movimentar-se por baixo de superfícies pintadas e, espalhar-se até que haja uma falha.

Tipos de corrosão

Existem duas classificações gerais para a corrosão, que cobrem a maior parte das formas específicas. São elas; o ataque químico direto e o ataque eletroquímico. Em ambos os tipos de corrosão o metal é convertido em compostos metálicos, como o óxido, o hidróxido, ou o sulfato. O processo de corrosão sempre envolve duas alterações simultâneas: o metal, que é atacado ou oxidado, sofre o que pode ser chamado de transformação anódica; e, o agente corrosivo, é reduzido e pode ser considerado como sofrendo uma transformação catódica.

Ataque químico direto

Também é chamado de corrosão química pura; é um ataque resultante da exposição direta de uma superfície, exposta a um líquido cáustico ou agentes gasosos. No ataque químico direto, as transformações anódicas e catódicas ocorrem no mesmo ponto, diferindo, portanto, do ataque eletroquímico, onde as transformações ocorrem à distância. Os agentes mais comuns

causadores dos ataques químicos diretos na aeronave são: **a** - O derramamento ou os gases do ácido das baterias; **b** - Resíduos de material de limpeza e de soldagem ou juntas soldadas; **c** - Soluções cáusticas de limpeza retidas. O problema relativo ao ácido e aos gases das baterias está sendo solucionado com o emprego de baterias seladas de níquel-cádmio.

Muitos tipos de fluxos, usados em soldagens são corrosivos, e atacam, quimicamente os metais ou ligas com os quais eles são usados. Por este motivo, é importante que o fluxo residual seja, imediatamente, removido da superfície do metal, após a operação de soldagem.

Os resíduos de fluxo são higroscópicos e, por este motivo, são capazes de captar e absorver umidade. Se não forem cuidadosamente removidos, poderão causar severas avarias.

Soluções cáusticas de limpeza, na forma concentrada, deverão ser mantidas firmemente fechadas e, tão distante, quanto possível, das aeronaves. Algumas soluções de limpeza usadas para remover corrosão são, potencialmente, agentes corrosivos. Particular atenção deverá ser tomada, no sentido de sua total remoção, após o uso na aeronave. Onde houver possibilidade do acúmulo de solução de limpeza, deverá ser usado um agente de limpeza não corrosivo, embora seja de efeito menos eficiente.

Ataque eletroquímico

Um ataque eletroquímico pode ser comparado, quimicamente, com a reação eletrolítica da galvanoplastia, anodização ou de uma bateria alcalina.

A reação deste ataque corrosivo, requer um intermediário, geralmente a água, que é capaz de conduzir a fraca corrente de eletricidade.

O *Lok-Rivet* e o *Lok-Skru* são semelhantes em construção; exceto que o *Lok-Skru* é roscado internamente, para fixar um acessório, usando um parafuso; enquanto que o *Lok-Rivet* não é roscado e só pode ser usado como um rebite.

Tanto o *Lok-Skrus* como o *Lok-Rivet* são instalados da mesma maneira, por esse motivo o texto a seguir para o *Lok-Skrus* também se aplica ao *Lok-Rivet*.

As principais partes de um *Lok-Skru* são o corpo, a cabeça e um parafuso de fixação. Quando um metal, entra em contato com um agente corrosivo e, está também, ligado por um

caminho de líquido ou gases, no qual os elétrons possam fluir, a corrosão começa, enquanto o metal, deteriora-se pela oxidação. Durante o ataque, a quantidade do agente corrosivo é reduzida, caso não seja renovada ou removida, podendo reagir completamente com o metal (torna-se neutralizada).

Diferentes áreas da superfície de um mesmo metal têm diferentes níveis de potencial elétrico e, se estiverem, ligadas por um condutor, como a água salgada, vão se estabelecer séries de células de corrosão; e, a corrosão começará.

Todos os metais e ligas são eletricamente ativos, e têm, um específico potencial elétrico em um determinado ambiente químico. Os elementos que constituem a liga também têm os seus específicos potenciais elétricos, os quais são geralmente diferentes uns dos outros.

A exposição da superfície de uma liga a um ambiente corrosivo, fará com que o metal mais ativo se torne anódico; e o menos ativo, catódico, estabelecendo condições para a corrosão. Esses metais são conhecidos como células locais.

Quanto maior for a diferença de potencial entre os dois metais, maior será a severidade do ataque corrosivo, caso condições apropriadas sejam permitidas para o seu desenvolvimento.

Como pode ser observado, as condições para essas reações corrosivas, são: a condutividade do fluido e, a diferença de potencial entre os metais.

Se porém, através de uma limpeza regular a de um adequado tratamento superficial, o meio for removido e o circuito elétrico for eliminado, a corrosão não poderá ocorrer; esta é a base de um eficaz controle da corrosão.

O ataque eletroquímico é responsável pela maior parte das formas de corrosão na estrutura da aeronave e em seus acessórios.

FORMAS DE CORROSÃO

Há muitas formas de corrosão. Essas dependem do metal envolvido, de seu tamanho e formato, de sua função específica, das condições atmosféricas e da presença de agentes indutores da corrosão.

As que serão descritas nesta seção são mais comuns de serem encontradas em células de aeronaves.

Corrosão superficial

A corrosão superficial aparece como uma rugosidade generalizada, uma mancha ou cavidades minúsculas na superfície do metal, freqüentemente acompanhada do resíduo pulverento dos produtos da corrosão.

A corrosão superficial pode ser causada, tanto pelo ataque químico direto, como pelo eletroquímico. Algumas vezes a corrosão se espalha por baixo da cobertura superficial (como a pintura), e não pode ser percebida, nem pela rugosidade da superfície, nem pelo depósito dos produtos dessa corrosão. Pelo contrário, a pintura ou o recobrimento metálico, podem ser deslocados da superfície em pequenos pedaços, em conseqüência da pressão (ou aumento de volume) causado pelo acúmulo dos produtos da corrosão.

Corrosão entre metais diferentes

Dano extensivo, pela formação de cavidades minúsculas, pode resultar do contato entre metais diferentes na presença de um condutor. Conquanto, possa haver ou não, corrosão superficial, a ação galvânica, parecida com a eletrodeposição, ocorre nos pontos ou áreas de contato, onde o isolamento foi rompido ou simplesmente não foi colocado. Este ataque eletroquímico pode ser muito severo e perigoso; porque, sua ação, na maioria das vezes, irrompe fora da visão comum, e o único meio de detetá-la, antes que ocorra uma falha estrutural, é através da desmontagem e separação das partes e sua inspeção.

Corrosão intergranular

Esse tipo de corrosão é um ataque em torno dos grãos de uma liga e, comumente, resulta na perda da uniformidade na estrutura da liga. Ligas de alumínio e algumas ligas do aço inoxidável, são, particularmente, suscetíveis dessa forma de ataque eletroquímico. Esta falta de uniformidade é causada por modificações que ocorrem na liga durante o aquecimento e resfriamento.

A corrosão intergranular pode existir sem evidência visível na superfície. A corrosão intergranular muito severa pode, algumas vezes, causar a "exfoliação" da superfície do metal. Ou seja: a superfície começa a ficar estufada e

descamada em flocos; conseqüência da delaminação, cujo causa é a pressão dos resíduos da corrosão em torno do grão, a medida que são formados.

Este tipo de corrosão é difícil de ser detetado em seu estágio inicial. Métodos de inspeção com ultra-som e "*Eddy current*" são usados com grande margem de acertos.

Corrosão sob tensão fraturante (*stress*)

A corrosão, sob tensão fraturante, ocorre como o resultado do efeito combinado de cargas de tensão residual e meio ambiente corrosivo.

Trincas ou rachaduras típicas de corrosão por tensão fraturante são encontradas em muitos tipos de metal; entretanto, é particularmente característico do alumínio, cobre e certos tipos de aço inoxidável, e de ligas de aço de alta resistência (acima de 240.000 libras por polegada quadrada). Geralmente, ocorre ao longo de trechos trabalhados à frio (laminados à frio, extrudados à frio, etc.) e pode ser de natureza intergranular ou transgranular (dentro do grão ou na vizinhança entre os grãos).

São suscetíveis de trincas por corrosão sob tensão fraturante, balancins de liga de alumínio com buchas deslizantes prensadas neles, suporte do amortecedor do trem de pouso com acionamento e travamento por parafuso engraxado, juntas ou emendas travadas com pinos "Clevis", prendedores retráteis, etc.

Corrosão por atrito (*FRETTING*)

A corrosão por atrito ("fretting") é uma forma particularmente danosa de ataque corrosivo, que ocorre quando duas superfícies estão em contato uma com a outra, havendo pressão entre as duas, sujeitas a um ligeiro movimento relativo.

Essa corrosão é caracterizada pela rugosidade das duas superfícies e pelo acúmulo considerável de limalha fria. Como o curso do movimento relativo é muito pequeno, a limalha encontra dificuldade para ser expulsa da área de contato, incrementando a abrasão entre as superfícies significativamente.

A presença de vapor d'água aumenta muito esse tipo de deterioração. Se as áreas de contato são pequenas e afiladas, sulcos profundos, parecendo terem sido feitos a punção, podem aparecer nessas superfícies.

FATORES QUE AFETAM A CORROSÃO

Muitos fatores afetam o tipo, a velocidade, a causa e a gravidade da corrosão dos metais. Alguns desses fatores podem ser controlados; outros, não.

Clima

As condições ambientais, sob as quais uma aeronave é mantida e operada, afetam muito as características da corrosão. Em ambiente predominantemente marítimo (com exposição à água do mar e ao ar marinho), com ar carregado de umidade, é consideravelmente mais danoso para uma aeronave do que se todas as operações fossem conduzidas em clima seco.

As considerações sobre a temperatura são importantes porque a velocidade do ataque eletroquímico aumenta com o calor, em climas úmidos.

Tamanho e tipo de metal

É bastante conhecido o fato de que alguns metais são mais facilmente atacáveis pela corrosão do que outros.

É, porém, menos conhecido, o fato de que variações no tamanho e na forma do objeto metálico, indiretamente afetam sua resistência à corrosão.

Seções estruturais, com paredes grossas, são mais suscetíveis ao ataque corrosivo que as de paredes finas, porque, as variações nas características físicas são maiores.

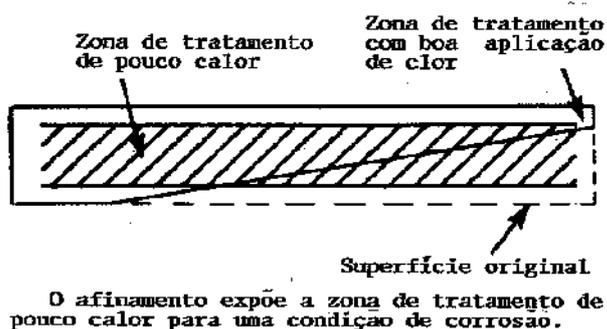


Figura 6-59 Efeito da usinagem em grossa liga de alumínio forjado tratada a quente.

Quando peças grandes são trabalhadas (à frio ou à quente) ou usinadas quimicamente, após terem recebido tratamento térmico, as se-

ções de paredes mais finas terão características físicas diferentes daquelas de paredes mais grossas (vide Figura 6-59).

Do ponto de vista do controle da corrosão, a melhor aproximação é reconhecer a natureza íntima (metalografia) e a resistência (características mecânicas) dos principais componentes estruturais, e manter proteção permanente sobre tais áreas, para prevenir o início da deterioração.

Presença de material estranho

Dentre os fatores controláveis, os quais afetam o início e o prosseguimento do ataque corrosivo, estão os materiais estranhos que se aderem à superfície do metal:

Como tais materiais estranhos, temos incluídos:

1. Terra e poeira do ar;
2. Óleo, graxa e resíduos do escapamento do motor;
3. Água salgada e condensação de ar saturado de água salgada;
4. Respingos ácidos da bateria e soluções cáusticas de limpeza; e
5. Resíduos de fluxos de soldagem (de vários tipos).

É importante que a aeronave seja mantida limpa. A frequência e a extensão com que uma aeronave deva ser limpa depende de vários fatores, tais como: localização, modelo da aeronave e tipo de operação.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Muito tem sido feito para melhorar a resistência à corrosão da aeronave: materiais mais bem selecionados, tratamentos superficiais, isolamento e acabamentos de proteção. Tudo isso teve como alvo a redução dos trabalhos de manutenção, bem como o incremento da confiabilidade. Destarte dessa melhora, a corrosão e seu controle é um problema real, que demanda manutenção preventiva contínua.

A manutenção preventiva da corrosão inclui as seguintes funções específicas:

- (1) Uma limpeza adequada;
- (2) Cuidadosa lubrificação periódica;
- (3) Detalhada inspeção, pesquisando a corrosão ou a falha dos sistemas de proteção contra a corrosão.

- (4) Tratamento rápido da corrosão e retoque das áreas pintadas danificadas;
- (5) Manutenção dos orifícios dos drenos desobstruídos;
- (6) Drenagem diária dos drenos de cada tanque de combustível;
- (7) Limpeza diária de áreas críticas expostas;
- (8) Vedação da aeronave contra água durante mau tempo e ventilação apropriada nos dias de bom tempo;
- (9) Fazer máximo uso de proteção (cobertura) nas aeronaves estacionadas.

Após qualquer período, em que a manutenção preventiva contra a corrosão é interrompida, uma quantidade maior de manutenção será geralmente necessária para reparar no mesmo nível de proteção, como tinha anteriormente.

INSPEÇÃO

Inspecionar para descobrir a corrosão é um processo contínuo e deve ser conduzido como um assunto diário. Dar muita ênfase a um problema específico de corrosão para, posteriormente, relegá-lo ao segundo plano, costuma ser uma prática insegura, custosa e que trará mais problemas adiante.

A maioria das listas de verificação dos planos de manutenção aprovados, são abrangentes o bastante para cobrir todas as peças da aeronave ou do seu motor e, nada, do que nela consta deve ser deixada sem inspeção.

Use esta lista de verificação como um guia geral, quando uma área específica for inspecionada quanto à corrosão, porventura existente.

Através da experiência percebe-se que a maioria das aeronaves possuem áreas específicas, onde há problemas com corrosão, a despeito das inspeções de rotina.

Junto às inspeções de rotina, aeronaves anfíbias ou hidroaviões devem se submeter a inspeções diárias e, as áreas críticas, limpas e tratadas, como necessário.

ÁREAS PROPENSAS À CORROSÃO

Serão discutidas nessa seção, as áreas típicas de problemas de corrosão na maioria das aeronaves. Entretanto, a discussão não será necessariamente completa e pode ser ampliada, ou expandida, para cobrir as características especiais de um particular modelo de aeronave, conforme referência de seu manual de manutenção.

Áreas posteriores aos dutos de escapamento

Tanto nos motores a jato como nos de pistão, os depósitos provenientes da exaustão são muitos corrosivos e causam problemas específicos, quando, descontinuidades, sulcos, dobradiças e carenagens estão localizadas em áreas posteriores aos dutos de escapamento desses motores, tal que depósitos possam ser formados e não possam ser alcançados pelos métodos normais de limpeza.

Atenção especial deve ser dada nas áreas em torno da cabeça dos rebites e nas juntas das chapas. Carenagens e janelas de inspeção nas áreas de exaustão devem ser removidas para inspeção.

Depósitos formados pela exaustão em áreas remotas, tais como as superfícies das empenagens, não devem ser negligenciadas.

O acúmulo de resíduos sobre essas áreas será lento-, algumas vezes pode até não ocorrer, mas freqüentemente tem se tornado um problema para algumas das aeronaves em uso.

Compartimentos das baterias e orifícios de ventilação da bateria

A despeito do aperfeiçoamento das pinturas de proteção e nos métodos de vedação e aeração, os compartimentos das baterias continuam a ser áreas com problemas de corrosão. Vapores de eletrólito superaquecidos são difíceis de contenção e se espalham pelas áreas adjacentes, causando um rápido ataque corrosivo em todas as superfícies metálicas desprotegidas..

Orifícios de ventilação da bateria na superfície (revestimento) da aeronave devem ser incluídos nos procedimentos de inspeção nos compartimentos das baterias.

Uma limpeza regular e a neutralização dos depósitos ácidos irão diminuir a corrosão.

Partes inferiores

Estas são o depósito natural para óleo hidráulico usado, água, sujeira, e toda sorte de pedacinhos. Óleo residual, com freqüência, encobre pequenas quantidades de água que migram para o fundo da aeronave (abaixo do piso) e dão início a uma célula química escondida. As partes inferiores dos hidroaviões e aviões anfíbios são protegidas por pequenos sacos de di-

cromato de potássio, um inibidor da corrosão, suspensos próximos aos pontos mais baixos de cada compartimento inferior. Esses cristais dissolvem-se em qualquer água residual, e tendem a inibir o ataque em superfícies expostas do metal.

Os procedimentos de inspeção devem incluir a substituição desses saquinhos, quando a maior parte do agente químico tiver sido dissolvida. Atenção particular deve ser dada para áreas localizadas sob as "galleys" (espécie de cozinha onde são preparados os lanches) e banheiros, especialmente, na área sob os dutos, por onde são retirados os dejetos humanos.

Esses dejetos, associados aos produtos químicos, usados nos banheiros, são muitos corrosivos para os metais comumente usados nos aviões. É imprescindível que, freqüentemente, essas áreas sejam limpas e a pintura sempre retocada.

Alojamento do trem de pouso e das rodas

Provavelmente esta área recebe mais agressão que qualquer outra, devido à lama, água, sal, cascalho, dentre outros materiais estranhos à aeronave.

Por causa das várias reentrâncias e saliências, montagens e prendedores, fica difícil aplicar e manter uma camada de tinta nessa área.

A aplicação de produtos preservativos tende mais a disfarçar a corrosão do que preveni-la.

Devido ao calor gerado pela ação dos freios, os produtos preservativos não podem ser usados nas rodas do trem de pouso principal. Durante uma inspeção destas áreas, dê particular atenção aos seguintes pontos problemáticos:

1. Rodas de magnésio, especialmente em torno das cabeças dos parafusos, das fixações ao trem de pouso, etc., especialmente quanto à presença de água residual e seus efeitos;
2. Tubos rígidos expostos, especialmente nas ferragens ou reforçadores com dobras de reforço ("*lips*"), embaixo dos prendedores e das etiquetas de identificação coladas.
3. Microinterruptores ("*microswitches*") ou transdutores de posição e outros equipamentos elétricos; e

4. Juntas entre reforçadores, cavernas e partes inferiores das superfícies de revestimento, que são típicos locais de acumulação de água e resíduos.

Áreas de acumulação de água

Especificações de projeto exigem que as aeronaves tenham drenos instalados em todas as áreas, onde a água possa ficar acumulada. Inspeções diárias dos drenos dos pontos baixos devem ser um requisito padrão.

Caso essa inspeção seja negligenciada, os drenos podem se tornar ineficazes, por causa do acúmulo de sujeira, graxa ou selantes.

Área frontal dos motores e tomadas de ar de ventilação

Essas áreas são constantemente agredidas por sujeira e pó, pedacinhos de cascalho das pistas, como também da erosão da chuva, que tendem a remover o acabamento de proteção.

Inspeções nessas áreas devem incluir todas as partes por onde circula o ar forçado (pelas hélices) de ventilação, com especial atenção aos lugares onde os depósitos de sal possam se acumular durante as operações próximas ao mar. É imperativo que a corrosão inicial seja inibida e que o retoque da pintura e a camada mais forte da proteção anticorrosiva seja mantida intacta, sobre as superfícies adjacentes ao motor, especialmente no caso de hidroaviões e aviões anfíbios.

Alojamentos dos flapes de asa e "*Spoilers*"

Sujeira e água podem ficar acumuladas nos alojamentos dos flapes de asa e "*spoilers*", e lá permaneceram despercebidas, porque estes dispositivos ficam normalmente recolhidos. Por esta razão, estes alojamentos são áreas de problemas potenciais de corrosão.

Áreas do revestimento externo

Superfícies externas são prontamente visíveis e acessíveis para inspeção e manutenção. Mesmo nesse caso, curtos tipos de configurações ou combinações de materiais tornam-se problemáticos sob certas condições de operação e exigem especial atenção.

Relativamente pouca corrosão é experimentada com revestimento de magnésio se a superfície original for revestida, isolada e devidamente mantida. Desamassamento, furação e rebitagem destroem parte do tratamento superficial original, o que nunca é completamente restituído através de procedimentos de retoque. Qualquer inspeção de corrosão deve incluir todas as superfícies de magnésio, com especial atenção aos bordos, áreas ao redor dos reforçadores e pinturas trincadas, raspadas ou que foi esquecida de ser aplicada.

Dobradiças como as de tipo igual à tampa do teclado dos pianos são caracterizadas pelo ataque corrosivo, devido ao contato entre a dobradiça de alumínio e o eixo de aço, (metais dissimilares). São também depósitos disponíveis para sujeira, sal e umidade. A inspeção desse tipo de dobradiça (e também de outros tipos) deve incluir a lubrificação e a movimentação da mesma, com o propósito de se assegurar que houve uma completa penetração do lubrificante.

A corrosão do revestimento metálico soldado por pontos (pontado), é conseqüência da entrada e fixação dos agentes corrosivos entre as camadas de metal. Esse tipo de corrosão é evidenciado pela presença de produtos da corrosão nas fendas por onde entra o agente corrosivo.

Quanto mais avançado segue a corrosão, maior o estufamento da fenda, causando, inclusive, rompimento no ponto de soldagem. O estufamento do revestimento nos seus estágios iniciais pode ser detectado observando-se ao longo da linha de pontamento, ou usando-se uma lâmina (passada) entre os pontos de soldagem. A única técnica que previne esta condição é o enchimento da fresta com selante ou composto preservativo.

Áreas gerais de problemas

As cabeças dos rotores dos helicópteros e suas caixas de redução além do fato de serem continuamente expostas às intempéries, possuem superfícies de aço sem revestimento, muitas peças externas que se movimentam e contatos entre metais dissimilares. Essas áreas devem ser inspecionadas com freqüência para se descobrir se há corrosão. A manutenção apropriada, lubrificação correta e o uso de coberturas preservativas podem prevenir a corrosão nessas áreas.

Todos os cabos de controle, quer simplesmente de aço-carbono ou de aço resistente à corrosão, devem ser inspecionados para se determinar sua condição em cada período de inspeção. Os cabos devem ser analisados quanto à corrosão, escolhendo-se aleatoriamente um pedaço dele e fazendo sua limpeza com um pedaço de pano embebido em solvente. Caso a corrosão externa seja muito evidente, sua tensão deve ser aliviada e deve ser analisado quanto à corrosão interna. Cabos com corrosão interna devem ser substituídos. A corrosão externa leve deve ser removida com escova de aço. Assim que os produtos da corrosão tiverem sido removidos, recubra os cabos com preservativo.

REMOÇÃO DA CORROSÃO

Em geral, qualquer tratamento completo de corrosão envolve o seguinte: (1) Exposição e limpeza da área corroída; (2) remoção da maior parte possível dos resíduos da corrosão; (3) neutralização de qualquer material de limpeza residual nos orifícios e frestas; (4) restauração do revestimento de proteção das superfícies; e (5) aplicação de revestimentos, temporários ou definitivos, ou de pintura de acabamento.

Os parágrafos seguintes tratam da corrosão dos efeitos da corrosão nas superfícies das aeronaves e de seus componentes, onde a deterioração não tenha progredido a ponto de necessitar nova usinagem ou reparo estrutural da peça envolvida.

Remoção da pintura e limpeza da superfície

A remoção da corrosão, necessariamente inclui, a remoção do acabamento da superfície que cobre a área atacada, ou suspeita de ter sido atacada pela corrosão. A fim de assumir a máxima eficiência do composto decapante, a área deve ser limpa de graxa, óleo, sujeira ou preservativos. Essa operação preliminar de limpeza é também um auxílio na determinação da extensão do ataque corrosivo, desde que a operação de decapagem seja conduzida da superfície para as partes mais fundas, até o limite do ataque corrosivo.

O espalhamento de uma corrosão extensiva deve ser corrigido pelo completo tratamento de toda a seção atingida.

A seleção do tipo de produtos a serem usados na limpeza irá depender da natureza do

material a ser removido. Solventes para limpeza à seco podem ser usados para remover óleo, graxa e compostos leves de preservação. Para os trabalhos pesados de remoção de preservativos ressecados ou espessos, outros compostos do tipo emulsão (solvente) estão disponíveis.

O uso de decapante de emprego geral, lavável em água, é recomendável para a maioria das aplicações. Onde for aplicável, a remoção de tinta de qualquer superfície grande, deve ser realizada em ambiente aberto e, preferencialmente, em área sombreada (não deve ser realizada ao sol).

Caso seja necessário remover a corrosão em ambiente fechado, uma ventilação adequada deve ser providenciada. Superfícies de objetos de borracha sintética (pneus de avião, tela de algodão e acrílico) devem ser cuidadosamente protegidos contra possível contato com removedor de tinta.

Todo cuidado deve ser exercido na aplicação de removedor de tinta próximo a vedadores (de borracha), recipientes de gasolina (tanques) ou os que impeçam a passagem da água; pois, esses removedores tendem a enfraquecer ou destruir a integridade dos selantes (vedadores).

Qualquer abertura pode permitir que o composto de decapagem penetre na aeronave ou em suas cavidades críticas. Os removedores de pintura são tóxicos e contêm ingredientes danosos, tanto à pele quanto aos olhos. Luvas de borracha, aventais de materiais resistentes aos ácidos e óculos de proteção devem ser usados, se qualquer remoção extensiva da pintura for realizada. O que se segue é um procedimento normal para decapagem:

1. Cubra a área inteira a ser tratada com uma cobertura de decapagem na altura de 1/32 a 1/16 de polegada. Qualquer pincel de pintura serve como um aplicador satisfatório, exceto, pelo fato de que parte das suas cerdas serão perdidas pelo efeito do removedor de tinta na sua colagem, além disso, o pincel não deverá ser usado para outros propósitos, após ter sido exposto ao removedor de tinta.
2. Deixe o decapante permanecer na superfície por um intervalo de tempo suficiente para encrestar e levantar a pintura. esse tempo pode variar de 10 minutos a algumas horas, dependendo da temperatura e da unidade, além da condição da pintura a ser removida. Esfregue a superfície com um pincel de cer-

das saturadas com removedor de pintura, para remoção da pintura residual que ainda possa ter permanecido aderida ao metal.

3. Reaplique o decapante, como necessário, em área nas quais a tinta permaneceu ainda fixada à superfície ou, onde o decapante secou, repetindo o processo acima. Somente raspadores não metálicos (plástico, madeira, etc) podem ser usados para ajudar na remoção de pinturas de acabamento.
4. Remova a tinta retirada e o decapante residual, lavando e escovando a superfície com água e um pincel ou escova (vassourinha). Se for disponível a pulverização de água sob pressão, use-a diretamente sobre o pincel ou escova, com pressão baixa ou média. Caso esteja disponível um equipamento de limpeza e, a superfície seja suficientemente grande, a limpeza pode ser realizada usando esse equipamento junto com uma solução de composto para limpeza sob pressão. em área pequena, qualquer método pode ser usado, desde que assegure a completa lavagem da área decapada.

CORROSÃO DE METAIS FERROSOS

Um dos tipos mais familiares de corrosão é o óxido de ferro (ferrugem), geralmente o resultado da oxidação atmosférica das superfícies de aço. Certos tipos de óxidos metálicos protegem a superfície do metal base, imediatamente, abaixo da camada de óxido, mas a ferrugem, absolutamente não é uma cobertura de proteção.

Sua presença, na verdade, suplementa esse ataque na medida em que atrai a umidade do ar e age como um catalizador. Em consequência, toda a ferrugem deve ser removida das superfícies de aço, a medida que o controle completo da corrosão é levada a termo.

A ferrugem primeiro aparece na cabeça dos parafusos, porcas fixadas em partes baixas; ou, outra parte estrutural desprotegida da aeronave. Sua presença nessa área não é perigosa e não tem efeitos imediatos na resistência estrutural de quaisquer de seus grandes componentes. Entretanto, é uma indicação da necessidade de manutenção e de um possível ataque corrosivo das principais áreas críticas. É também um detalhe na aparência geral do equipamento. quando ocorre falha na pintura ou um dano (mecânico), superfícies de aço são expostas e submetidas a

grandes esforços à atmosfera, mesmo uma quantidade muito pequena de ferrugem, é potencialmente perigosa nessas áreas, e deve ser removida e controlada.

Remoção mecânica da ferrugem

O meio mais prático de controle da corrosão de peças de aço é a completa remoção dos produtos da corrosão, por meios mecânicos, e sua recuperação e proteção através de recobrimentos preventivos contra a corrosão. Exceto em superfícies altamente solicitadas quanto a esforços de aço, o uso de lixas ou compostos abrasivos, pequenos polidores e compostos de polimento, escovas de aço manuais ou palha-de-aço (lã-de-aço), são todos métodos aceitáveis de limpeza.

Entretanto, deve ser reconhecido que no uso de qualquer desses abrasivos, a ferrugem residual permanecerá no fundo das frestas ou dos pequenos buracos causados pela corrosão. É praticamente impossível remover todos os produtos da corrosão somente por métodos de abrasão ou de polimento. Como consequência, desde que uma parte já tenha sido enferrujada uma vez, ela será corroída depois, mais facilmente.

Tratamento químico das superfícies de aço

Há métodos aprovados para a conversão de ferrugem ativa em fosfatos ou outras coberturas protetoras. O uso de compostos químicos à base de ácido fosfórico é um exemplo de tais tratamentos. Entretanto, esses equipamentos necessitam de instalações especiais em oficinas, e são impraticáveis para serviços externos. Outros compostos comerciais são eficientes conversores de ferrugem, onde não sejam exigidos serviços perfeitos e, onde uma cuidadosa lavagem e neutralização dos ácidos residuais seja possível.

Essas aplicações não são geralmente utilizáveis para aeronaves (mas para suas partes isoladas), posto que sua aplicação pode permitir que haja penetração do composto entre duas partes emendadas de uma montagem, o que é não somente indesejável como perigoso. Esse perigo da infiltração do composto e, as consequências de um ataque descontrolado, que possa ocorrer, quando tais produtos são usados em serviços externos (fora da oficina) sobrepassa a qualquer vantagem a ser ganha com seu uso.

Remoção da corrosão das partes e das peças submetidas a esforços elevados

Qualquer indício de corrosão na superfície das partes e das peças de aço, submetidas a esforços elevados, são potencialmente perigosas. Uma cuidadosa remoção dos produtos da corrosão é exigida. Riscos na superfície ou mudança de sua estrutura interna (degeneração da estrutura cristalina), em função de superaquecimento do metal, podem também ser a causa de uma súbita falha dessas peças ou partes.

Produtos da corrosão devem ser removidos cuidadosamente, usando-se lixa fina de óxido de alumínio ou composto de polimento finos, aplicados à politriz. É fundamental que durante o polimento à máquina (politriz), não se permita que, por atrito, a superfície se aqueça demasiadamente. Após a remoção cuidadosa da corrosão superficial, acabamentos com tintas protetoras devem ser aplicados imediatamente.

CORROSÃO DO ALUMÍNIO E DE SUAS LIGAS

Os ataques corrosivos nas superfícies de alumínio são geralmente bastante evidentes, uma vez que os produtos da corrosão são de cor branca e de volume maior que o metal base. Mesmo em seus estágios iniciais, a corrosão do alumínio torna-se evidente como uma mancha, "pits" (furinhos cônicos) ou rugosidade na superfície do alumínio.

NOTA: ligas de alumínio comumente formam uma suave oxidação superficial (geralmente de 0,001 a 0,0025 polegada de espessura), o que não é considerado degenerativo, uma vez que essa camada de óxido formada, age como uma forte barreira contra a introdução de elementos corrosivos.

Tal tipo de oxidação não deve ser confundido com aquela corrosão severa a ser discutida nos próximos parágrafos.

O ataque genérico das superfícies de alumínio penetra relativamente devagar, mas pode ser acelerado na presença de sais dissolvidos. Um ataque considerável pode ter lugar, sem que haja perda considerável da resistência estrutural em andamento. Entretanto, pelo menos três formas de ataque às ligas de alumínio são particularmente sérias: (1) A corrosão tipo "pit" (furinhos cônicos) profunda, através das

paredes dos tubos de alumínio. (2) A corrosão sob tensão fraturante, trincando e rachando os materiais submetidos a esforços contínuos; e (3) A corrosão intergranular, característica de ligas de alumínio tratadas termicamente de maneira indevida.

Em geral, a corrosão do alumínio pode ser tratada com mais eficiência do que a corrosão que ocorre em outros materiais estruturais usados em aeronaves. Esse tratamento inclui: a remoção mecânica dos produtos, gerados pela corrosão; e a neutralização e inibição do processo corrosivo, seguida pela restauração da cobertura protetora da superfície.

Tratamento das superfícies de alumínio sem pintura

O alumínio puro tem relativamente mais resistência à corrosão, comparado com as suas ligas, com maior resistência mecânica. Tira-se partido dessa realidade para se laminar uma fina camada de alumínio puro sobre as duas faces de uma chapa, relativamente mais grossa, de uma liga de alumínio com alta resistência mecânica. Esse processo metalúrgico é chamado de "*CLADDING*" ou "*ALCLAD*". A proteção assim obtida é boa e a superfície pode ser até polida. Quando, porém, da limpeza dessa superfície, cuidados devem ser tomados para evitar o desgaste da parte metálica protetora (alumínio puro), ou sua remoção mecânica, com a conseqüente exposição da liga metálica. Uma seqüência típica para tratamento da corrosão em alumínio é a que se segue:

1. Remova o óleo e a sujeira da superfície com um produto suave de limpeza, antes de limpá-la com um produto abrasivo.
2. Dê início ao polimento das áreas corroídas com abrasivo fino ou polidor de metais. O polidor de metais, usado em superfícies de aeronave de "*ALCLAD*", não deve ser usado em alumínio anodizado, uma vez que esse produto é capaz de remover o filme da proteção por anodização. Ele realmente remove manchas e produz um alto polimento sobre superfícies não pintadas de "*ALCLAD*". Caso a superfície seja difícil de limpar, um composto para limpar, e para lustrar pode ser usado antes do polimento, para reduzir o tempo e o esforço necessário para a obtenção de uma superfície limpa.

3. Trate de qualquer corrosão superficial presente, esfregando-a com material inibidor da corrosão. Um procedimento alternativo é o emprego de solução de dicromato de sódio e de trióxido de cromo. Deixe essa solução permanecer na área corroída por 5 a 20 minutos; depois seque a área com panos limpos.
4. Recubra a superfície polida com graxa à prova d'água.

As superfícies de alumínio, que venham a ser posteriormente pintadas, podem ser submetidas a procedimentos de limpeza mais severos, como também pode ser prestado um tratamento corretivo mais cuidadoso antes da pintura. É usada a seguinte seqüência:

1. Limpe cuidadosamente as superfícies afetadas de todos os resíduos de graxa ou terra, antes de mais nada. Qualquer procedimento geral para limpeza de aeronaves pode ser usado.
2. Caso permaneçam resíduos de partes pintadas, decape a área a ser tratada. Procedimentos para o uso de removedores de pintura e as precauções a serem tomadas, já foram previamente abordadas no capítulo referente à "Limpeza das superfícies e remoção de pintura".
3. Trate a superfície das áreas corroídas com uma solução de ácido crômico e ácido sulfúrico a 10%. Aplique a solução com pincel ou escova. Esfregue a área corroída com uma escova, enquanto ainda estiver úmida. Embora, o ácido crômico seja um bom inibidor para ligas de alumínio e, mesmo que, nem todos os produtos da corrosão tenham sido completamente removidos, é importante que a solução penetre fundo em todas as cavidades ("*pits*"), por baixo de toda a corrosão que possa estar presente. Cuidadosa esfregadela com uma escova de fibra dura deve dissolver ou remover a maior parte da corrosão existente, e assegurar completa penetração do agente inibidor dentro das frestas e cavidades. Permita que o ácido crômico permaneça cinco minutos, pelo menos, no local; então, remova o excesso com jato d'água ou esfregue um tecido úmido. Há diversos compostos químicos comerciais para tratamento de superfícies, semelhantes ao ti-

po descrito anteriormente, os quais também podem ser usados.

4. Seque a superfície tratada e restitua a cobertura de proteção permanente recomendada, conforme sugerido pelos procedimentos estabelecidos pelo fabricante do avião. A restauração de qualquer proteção por pintura deve ser feita, imediatamente, após a realização de tratamento superficial.

Em qualquer caso, tenha certeza que o tratamento anticorrosivo será realizado ou reaplicado no mesmo dia em que também for programada a pintura de acabamento.

Tratamento de superfícies anodizadas

Conforme previamente estabelecido, a anodização é um tratamento de superfície comum às ligas de alumínio. Quando esta cobertura for danificada em serviço, somente poderá ser parcialmente recuperada por tratamento químico da superfície.

Por essa razão, qualquer reparo em superfície anodizada, que tenha sofrido ataque corrosivo, deve-se evitar a destruição da película de óxido da área que não tenha sido afetada. Evite o uso de palha-de-aço (ou lâ-de-aço), escovas de aço ou materiais muito abrasivos.

Lã-de-alumínio, escovas com cerdas de alumínio ou escovas de fibras rígidas são as ferramentas aprovadas para a limpeza de superfícies anodizadas com corrosão.

Deve ser tomado o necessário cuidado, em qualquer processo, para ser evitado o desgaste das películas de proteção em áreas adjacentes.

Tome todos os cuidados para manter o máximo possível da cobertura de proteção em áreas não afetadas pela corrosão.

Por outro lado, trate as superfícies anodizadas do mesmo modo que outros acabamentos de proteção para o alumínio. O ácido crômico e, outros tratamentos inibidores da corrosão, tendem a recompor a película de óxido (de alumínio) protetora.

Tratamento da corrosão intergranular em superfície de ligas de alumínio tratadas a quente

Como já foi descrito, a corrosão intergranular é um ataque que ocorre na vizi-

nhança do grão metálico da liga de alumínio, que foi imprópria ou indevidamente tratada a quente, resultando na precipitação de diferentes constituintes após o tratamento térmico. Na sua forma mais grave, realmente acaba ocorrendo separação da camada de metal ou esfoliação. Uma limpeza mais profunda é uma necessidade, quando a corrosão intergranular se faz presente.

A remoção mecânica de todos os produtos da corrosão, bem como das camadas de metal delaminadas, deve ser levada a termo, para determinar a extensão da destruição e para avaliar a resistência estrutural remanescente do componente.

A profundidade da corrosão, bem como os limites possíveis de remoção de material, devem ser estabelecidos para cada aeronave. Qualquer perda de resistência estrutural deve ser avaliada antes do reparo, ou substituição da peça, ou componente.

CORROSÃO DAS LIGAS DE MAGNÉSIO

O magnésio é, dos metais usados na construção aeronáutica, o mais quimicamente ativo; assim sendo, é também o mais difícil de ser protegido.

Quando uma falha na cobertura protetora ocorre, a correção imediata e plena dessa falha é um imperativo para que se evite um sério dano estrutural.

O ataque corrosivo ao magnésio é, provavelmente, o mais fácil tipo de corrosão a ser detetado em seus estágios iniciais, posto que os produtos gerados durante o processo corrosivo, ocupam um volume várias vezes maior que o metal original destruído.

O ataque inicial é mostrado pelo levantamento da pintura (descolamento) e pelo aparecimento de manchas brancas na superfície do metal.

O seu desenvolvimento é rápido, formando produtos como "montículos de neve". Sua proteção envolve a remoção dos produtos da corrosão, a restauração parcial da cobertura de proteção através de tratamento químico; e a reaplicação da cobertura de proteção.

Tratamento de forjados e de perfis conformados a partir de chapas de magnésio

O ataque corrosivo ao revestimento (chapa) de magnésio, geralmente começa pelas

bordas desse revestimento, por baixo das arruelas dos rebites ou parafusos de fixação, ou em partes da chapa submetidas a excessiva deformação mecânica causada por cisalhamento (corte por tesoura), furação, abrasão ou impacto. Caso o pedaço da chapa corroída possa ser facilmente removido, isso deve ser feito para assegurar o completo bloqueio do processo corrosivo.

Se houver arruelas de isolamento, seus respectivos parafusos devem ser afrouxados, pelo menos, para permitir a limpeza por escova ou pincel, por baixo dessa arruela.

A remoção completa, por meios mecânicos, dos produtos da corrosão deve ser levada a termo, tanto quanto praticável.

Tal limpeza deve ser limitada a ferramentas não metálicas (plástico, borracha), particularmente se o tratamento for feito na pista (fora do hangar ou oficina). Qualquer resíduo de partículas de aço, oriunda de escovas ou de ferramentas de aço, ou esfregamento excessivo por sujeira abrasiva, podem causar mais problemas que o ataque corrosivo inicial.

O magnésio corroído, geralmente, pode ser tratado da seguinte maneira:

1. Retire a tinta e limpe a área a ser tratada (procedimentos para retirada da pintura estão desenvolvidos no início desse capítulo).
2. Usando uma escova de cerdas curtas e duras, vá espalhando e removendo, simultaneamente, os produtos da corrosão, tanto quanto possível. Escovas de arame de aço, rebolos ou ferramentas de corte (de aço) não devem ser usadas.
3. Trate a área corroída com uma solução generosa de ácido crômico, ao qual foi adicionado uma fração de ácido sulfúrico, esfregando a área onde se concentram as cavidades e rugosidades causadas pela corrosão, enquanto ainda úmida de ácido crômico, sempre usando uma escova não metálica.
4. Deixe o ácido crômico permanecer por 5, até 20 minutos, antes de enxugar o excesso com um tecido suave e limpo. Entretanto, não deixe que o excesso de solução seque e permaneça na superfície, posto que tais depósitos prejudicarão a aderência da pintura posteriormente.
5. Tão logo as superfícies estejam secas, retoque a pintura protetora original.

Tratamento das peças/partes existentes fabricadas com magnésio fundido

Peças de magnésio fundido, em geral, são mais porosas e mais propensas ao ataque corrosivo que os revestimentos de magnésio laminado (ou peças conformadas). Entretanto, para todos os propósitos, o tratamento é o mesmo. Carcaças de motor, balancins, fixações, carenagens diversas e alças são as peças mais comumente fabricadas com magnésio fundido.

Quando o ataque corrosivo incide em uma peça de magnésio fundido, o mais rápido método de tratamento deve ser iniciado; caso se deseje evitar uma corrosão perigosa. Realmente, carcaças de motor submersas em água salgada por uma noite, podem estar completamente comprometidas.

Se isso acontecer, a peça deve ser desmontada e separada, para permitir um bloqueio ao avanço da corrosão, além de prevenir um posterior progresso dessa corrosão. A mesma seqüência de tratamento geral empregada no parágrafo anterior para revestimento (laminado) de magnésio, deve ser seguida em se tratando de peças fundidas.

Caso haja necessidade de uma remoção muito extensa dos produtos da corrosão de peças estruturais, feitas com magnésio fundido; a posição do fabricante, acerca da resistência residual remanescente, será muito importante. Manuais de reparos estruturais específicos, geralmente envolvem limites dimensionais de tolerância para membros críticos de estruturas e devem ser conhecidos, caso qualquer questão sobre segurança esteja envolvida.

TRATAMENTO ANTICORROSIVO DO TITÂNIO E DE SUAS LIGAS

O ataque corrosivo às superfícies de titânio, é, geralmente, difícil de detecção. O titânio, é, por natureza, altamente resistente à corrosão, mas pode apresentar deterioração quando da ocorrência de depósitos de sal e impurezas de metal, particularmente em altas temperaturas. Assim sendo, a utilização de lâ-de-aço (palha-de-aço), desencrustadores metálicos, escovas de aço para limpeza ou para a remoção de corrosão dos componentes fabricados em titânio é proibida.

Caso as superfícies de titânio necessitem de limpeza, com polimento manual à base de

alumínio (lã-de-alumínio) ou com abrasivo suave somente as escovas de fibra são usadas. Enxugue a superfície tratada com panos secos para remover o excesso de solução, mas não faça lavagem com água.

PROTEÇÃO DO CONTATO ENTRE METAIS DIFERENTES

Certos metais passam a apresentar sinais de corrosão quando colocados em contato com outros metais. É, comumente conhecido como

corrosão eletrolítica ou corrosão entre metais diferentes. Contato entre metais diferentes e sem que haja revestimento protetor em um deles (isolante) e, havendo um ambiente úmido (água ou outro fluido condutor), faz com que seja desenvolvida uma ação eletrolítica (como em uma pilha elétrica). Esse contato, geralmente, faz com que um dos metais seja oxidado (o anodo), decompondo-se num processo semelhante à corrosão.

Dependendo dos metais envolvidos, somente o isolamento (pintura, graxa, verniz, etc.) de um ou ambos os metais, evita a corrosão.

Metais em contato	Liga de alumínio	Banho de cádmio	Banho de zinco	Aço carbono e ligas	Chumbo	Estanhados	Cobre e ligas	Níquel e ligas	Titanio e ligas	Banho de cromo	Aços resist. a corrosão	Ligas de magnésio
Liga de alumínio												
Banho de cádmio												
Banho de zinco												
Aço carbono e ligas												
Chumbo												
Estanhados												
Cobre e ligas												
Níquel e ligas												
Titanio e ligas												
Banho de cromo												
Aços resist. a corrosão												
Ligas de magnésio												

Figura 6-60 Contatos de metais diferentes que resultarão em corrosão eletrolítica

Contatos que não envolvem magnésio

Para prevenir ou evitar contatos entre metais diferentes, não sendo nenhum deles o magnésio (ou suas ligas), utiliza-se a cobertura (pintura) de duas camadas de cromato de zinco antes da tinta base normalmente usada. Sua aplicação é feita por pincel ou pulverização e deve-se aguardar seis horas entre cada demão.

Contatos que envolvem o magnésio

Para prevenir ou evitar contatos entre dos metais diferentes, sendo um deles o magnésio (ou suas ligas), cada um deles é isolado da

seguinte forma: pelo menos duas camadas de cromato de zinco são aplicadas em cada superfície.

A seguir, uma camada de filme de vinyl, 0,003 polegada, sensível à pressão, é suave, mas firmemente aplicado, para evitar as bolhas de ar e as dobras.

Para evitar um posterior encolhimento, o filme é aplicado sem que seja esticado.

Entretanto, onde a espessura do filme interfere com a montagem das peças ou quando é esperado que a peça trabalhe em temperatura relativamente alta (acima de 250° F), não se usa o filme, mas aplicam-se três camadas de tinta base.

LIMITES DA CORROSÃO

A corrosão, mesmo que suave, é um dano. Assim sendo, o dano causado pela corrosão é classificado, segundo quatro tipos padronizados, tal como qualquer outro dano:

- (1) Dano desprezível;
- (2) Dano reparável por um remendo;
- (3) Dano reparável por um reforço; e
- (4) Dano irreparável, necessitando substituição da peça, ou do componente.

O termo "desprezível", como foi usado anteriormente, não quer dizer que pouco ou nada deva ser feito, no sentido de se interromper processo corrosivo ou de se iniciar o reparo. a área corroída deve ser limpa, tratada e pintada como apropriado ao caso. Dano desprezível, geralmente, é a corrosão que tenha riscado ou comido parte da cobertura de proteção e começou a manchar a superfície do metal propriamente dito.

O dano reparável por um remendo entendido ao dano reparável por um reforço, deve ter sua reparação feita conforme o manual de reparo estrutural específico.

Quando, entretanto, o dano exceder aos limites estabelecidos, não sendo possível o reparo, o componente ou a estrutura devem ser substituídos.

MATERIAIS E PROCESSOS USADOS NO CONTROLE DA CORROSÃO

Acabamento do metal

Partes das aeronaves (peças), quase sempre recebem algum tipo de acabamento superficial, dado pelo fabricante. O principal propósito desse acabamento é prover uma resistência à corrosão; entretanto, acabamentos superficiais podem também ser aplicados para aumentar a resistência ao desgaste ou prover uma boa base aderente (primer) para a pintura.

Na maioria dos casos, o acabamento original não pode ser restaurado fora de oficina, devido a dificuldades de utilização do equipamento e de outras limitações. Entretanto, uma boa compreensão sobre os vários tipos de acabamento de metal é necessária, caso deva ser mantido apropriadamente fora da oficina e sejam necessárias técnicas de restauração parcial usadas no controle da corrosão.

Preparação da superfície

Os tratamentos superficiais originais para peças de aço, geralmente, incluem um tratamento de limpeza para remover todos os traços de sujeira, óleo, graxa, óxidos e umidade. É necessário prover uma aderência eficaz, entre a superfície do metal e o acabamento final. O processo de limpeza pode ser, tanto mecânico, quanto químico.

Na limpeza mecânica os seguintes métodos são empregados: escova de aço, palha-de-aço (lã-de-aço), lixa, jato de areia ou jato de vapor.

A limpeza química é preferível em relação à mecânica, uma vez que nada do metal base é removido durante a limpeza. Há vários processos químicos em uso hoje em dia, e o tipo a ser usado vai depender do material a ser limpo, bem como do tipo de matéria estranha a ser removida.

As peças de aço são decapadas para remover crostas, ferrugem ou outros materiais, antes do recobrimento. A solução decapante pode ser tanto o ácido muriático ou ácido sulfúrico.

Considerando-se o custo, o ácido sulfúrico é preferível, sendo porém o ácido muriático mais eficiente para certos tipos de crostas.

A solução decapante é colocada num tanque de cerâmica e, geralmente, é aquecida por resistência elétrica. As peças que não serão submetidas a processos galvânicos, após a decapagem, são imersas em banho de água de cal (alcalino) para neutralizar o ácido da solução decapante.

Eletrolimpeza é um outro tipo de limpeza química usada para remover graxa, óleo ou materiais orgânicos. Nesse processo de limpeza, o metal é posto em suspensão (pó), numa solução alcalina quente, contendo agentes especiais de limpeza, inibidores e materiais, tais que garantam a devida condutividade elétrica. Uma corrente elétrica é, então, passada através da solução de forma similar àquela usada em eletrodeposição metálica.

Peças de alumínio e de magnésio são também limpas usando os métodos já descritos. A limpeza por jateamento (areia, esferas de vidro, até mesmo cereais) não é utilizável para chapas finas de alumínio, especialmente as de "alclad". Menos ainda se forem esferas ou lima-lha de aço, em se tratando de alumínio ou outro metal resistente à corrosão.

O polimento e o tingimento das superfícies metálicas exercem um papel muito importante no acabamento. As operações de polimento são, algumas vezes usadas para preparar a superfície antes de submetê-la a uma eletrodeposição.

Eletrodeposição (galvanoplastia)

A eletrodeposição é o processo de transferência de metal de um objeto para outro, por meios químicos e elétricos. Várias são as razões para se fazer eletrodeposição ou galvanoplastia:

- 1 Para proteger o metal base (metal a ser recoberto) contra a corrosão. Alguns dos metais mais usados para a formação da cobertura protetora sobre outro metal, por ação eletrolítica, são: estanho, zinco, níquel e cádmio.
- 2 Para proteger o metal base contra o desgaste, causado por abrasão ou esfregamento. A cromação (ou cromagem) é muito usada como resistência ao desgaste. A niquelagem também pode ser usada com este propósito.
- 3 Para produzir e conservar uma boa aparência (cor ou lustro), assim como aumentar a resistência ao embaçamento. Recobrimento com ouro, níquel ou cromo, pode ser usado nesse caso.
- 4 Para proteger o metal base contra alguma reação química especial; por exemplo, recobrimento por cobre é algumas vezes usado para prevenir que certas partes de alguns componentes fabricados em aço, as quais não se deseja que absorvam carbono durante o processo de revenimento a que o componente como um todo será submetido, o façam.
- 5 Para aumentar as dimensões de uma peça. Este processo, conhecido como enchimento ("*build up*"), pode ser aplicado a peças acidentalmente usinadas abaixo da medida especificada.
- 6 Para servir como base para posteriores operações de recobrimento eletroquímico (galvanoplastia), reduzir custos de polimento e assegurar brilho a posteriores deposições de níquel e níquel/cromo. O cobre é comumente usado com esse objetivo.

Todos os processos de eletrodeposição são basicamente idênticos. O equipamento a ser usado consiste de um tanque ou banho, conten-

do uma solução líquida chamada de eletrólito, uma fonte de corrente contínua e um painel de controle.

Quando a corrente atravessa um circuito, o material a ser depositado (o metal de recobrimento) sai do eletrodo positivo (pólo positivo) ou anodo. A peça sobre a qual se fará a eletrodeposição é o eletrodo negativo (pólo negativo) ou cátodo.

A fonte de corrente contínua, o anodo, o cátodo e o eletrólito formam o circuito elétrico de recobrimento ou galvânico, que fazem com que minúsculas partículas (ions) do material de cobertura sejam depositadas na superfície da peça a ser recoberta.

O processo é mantido até que o recobrimento atinja a espessura pré-estabelecida. Tanto o eletrólito, quanto o anodo, o cátodo e a corrente do circuito vão variar com o tipo de material de recobrimento que estiver sendo usado.

Algumas operações de recobrimento não usam anodos do metal de cobertura; mas, obtêm esse metal do próprio eletrólito (que vai ficando obviamente mais diluído). Recobrimento com cromo (cromagem ou cromação) é um exemplo desse tipo de recobrimento. Anodos de chumbo, ao invés de anodos de cromo (estes não são satisfatórios), são usados para fechar o circuito elétrico. O cromo metálico para o recobrimento sai do ácido crômico do banho (eletrólito).

Metalização por pulverização

A metalização por pulverização ("metal spraying") é a aplicação de metal fundido sobre uma superfície (base) sólida, por aspensão (borrifamento).

É possível aspergir (borrifar) alumínio, cádmio, cobre, níquel, aço ou qualquer dos vários metais usados no processo. Na indústria aeronáutica, o processo normalmente usado, é a cobertura de aço por alumínio para melhorar sua resistência à corrosão.

O metal da base deve ser preparado (normalmente por jato de areia) e perfeitamente limpo, tal que o metal líquido aspergido adquira perfeita aderência a esse metal base.

O equipamento de aspensão (borrifamento) do metal líquido consiste de um suprimento de oxigênio e de acetileno, conduzido por tubos para uma pistola de pulverização. Essa mistura de gases, é então, posta a queimar (por faísca), transformando essa pistola em maçarico. Ar

comprimido é insuflado através da pistola, acionando simultaneamente um arame de solda em direção à pistola de pulverização. O arame funde-se com o calor da chama oxiacetilênica e é aspergido pelo ar comprimido contra a superfície a ser metalizada.

TRATAMENTOS QUÍMICOS

"Parco Lubrizing"

"Parco Lubrizing" é um tratamento químico para componentes de aço e ferro, o qual induz ao surgimento, na superfície do metal, de uma cobertura à base de fosfato, não-metálico e absorvente de óleo. É projetado, inicialmente, para reduzir o desgaste nas peças móveis.

O processo é uma modificação do "Parkerizing" e consiste de um tratamento de pré-limpeza, no qual o vapor desengraxante, a solução ácida de decapagem ou o "spray" de emulsão são usados, seguindo-se uma submersão por 15 minutos em uma solução (em água) com 10% (em volume) de "Parco Lubrite" (marca comercial). Posteriormente, há uma lavagem e enxágüe com água e, nova submersão em óleo solúvel (em água). O fosfato depositado anteriormente na superfície retira o óleo da solução, retendo-o.

Anodização

A anodização é o mais comum dos tratamentos das superfícies, das peças feitas de ligas de alumínio, que não sejam "cladeadas" (feitas de "alclad"). Basicamente, a chapa ou peça forjada (ou fundida) de liga de alumínio é fixada ao pólo positivo de um banho eletrolítico, onde a solução ou banho é composto de ácido crômico (ou outro agente oxidante), o que induz a deposição de uma cobertura de óxido de alumínio sobre a superfície do metal. O óxido de alumínio é naturalmente o seu protetor (da superfície do alumínio), e o processo de anodização tão somente aumenta a espessura e a densidade dessa cobertura natural.

Quando essa cobertura é danificada em serviço, ela pode ser, somente em parte, restaurada por tratamentos químicos da superfície.

Assim sendo, qualquer serviço envolvendo superfícies que foram anodizadas, inclusive remoção de corrosão, deve evitar a destruição desnecessária da cobertura de óxido.

A cobertura deixada pelo processo de anodização revela-se como excelente resistência à corrosão. Porém, essa cobertura é macia e muito fácil de ser raspada (ou arranhada), devendo ser tratada com muito cuidado antes da aplicação da tinta base.

Lã de alumínio e esponja de nylon impregnadas com abrasivo a base de óxido de alumínio ou, escovas com cerdas duras, são aprovadas para a limpeza de superfícies anodizadas. O uso de lâ-de-aço, escovas de aço ou material abrasivo áspero em qualquer superfície de alumínio não é permitido; assim como, realizar um acabamento com polidor ou escova de cerdas de arame, também não é permitido. Afora isso, as superfícies anodizadas, podem ser tratadas do mesmo modo que os outros acabamentos dados às superfícies de alumínio em geral.

Complementarmente às suas qualidades de resistir à corrosão, o recobrimento anódico (anodização) é uma excelente base ("primer") para a pintura. Na maioria dos casos, inclusive, as superfícies são pintadas (com "primer" e acabamento) tão logo ficam prontas no processo de anodização.

A cobertura anódica é um mau condutor elétrico. Assim sendo, caso o componente necessite aterramento ou outro tipo de condutividade elétrica, há necessidade de remoção da camada anodizada no ponto de ligação à fiação.

Superfícies de "alclad", que permanecerão sem pintura, não precisam passar por tratamento anódico; entretanto, se houver intenção de pintá-las, deverão ser anodizadas a fim de se garantir uma boa aderência à tinta.

Alodização

A alodização é um tratamento químico simples para todas as ligas de alumínio, para aumentar a resistência à corrosão e melhorar a aderência da pintura. Por causa da sua simplicidade, está substituindo rapidamente a anodização no reparo de aeronaves.

O processo consiste em uma pré-limpeza, com removedor ácido ou alcalino, aplicado por pulverização ou imersão da peça, que após, é enxaguada com jato d'água por 10 a 15 segundos.

Após certificar-se que a peça foi cuidadosamente enxaguada, "alodine" é aplicado por pulverização, pincelamento ou imersão. Uma

cobertura fina, mas resistente, aparece com uma coloração levemente azul esverdeada, com fraca iridescência (coloração tipo arco-íris, como se fosse gasolina/óleo sobre água), em ligas praticamente sem cobre, até um verde oliva em ligas ricas em cobre.

A peça é, então, lavada com água limpa, fria ou quente, por um período de 15 a 30 segundos. Após, passa por um banho de "DEOXYLYTE". Isso objetiva neutralizar o material alcalino existente, convertendo a superfície de alumínio alodizado para uma situação de ligeira acidez, após a secagem.

Tratamento químico da superfície e inibidores

Como já foi comentado, as ligas de alumínio e de magnésio são protegidas, originalmente, por uma variedade de tratamentos superficiais.

O aço deve ser submetido ao processo "PARCO LUBRIZING" ou ser oxidado de outra forma durante a fabricação.

A maioria dessas coberturas de proteção somente podem ser restauradas através de processos completamente impraticáveis fora da

oficina. Entretanto, áreas corroídas, onde a cobertura de proteção tenha sido destruída, requerem algum tipo de tratamento antes do acabamento.

Os materiais inibidores a seguir, são particularmente eficazes para tratamento do alumínio fora da oficina, são benéficos para as partes de magnésio expostas e, têm algum valor, até mesmo, para partes de ferro ou aço expostas.

As etiquetas nas embalagens dos produtos químicos para tratamento superficial, informam se o material a ser usado é tóxico ou inflamável.

Entretanto, a etiqueta deve ser bastante grande para acomodar uma lista de todos os possíveis danos que podem acontecer, caso esses materiais venham a ser misturados a substâncias incompatíveis.

Por exemplo: alguns produtos químicos usados em tratamento superficial, podem reagir violentamente, caso inadvertidamente seja misturado com diluidor de pintura ("thinner").

Produtos químicos para tratamento superficial devem ser manuseados com extremo cuidado e misturados exatamente de acordo com as instruções.

TIPO DA CORROSÃO	PASSO 1 LIMPEZA PARA REMOÇÃO DE MATERIAS ESTRANHAS	PASSO 2 REMOÇÃO DA PINTURA (SE APLICÁVEL)	PASSO 3 REMOÇÃO DA CORROSÃO	PASSO 4 TRATAMENTO DA SUPERFÍCIE (SE APLICÁVEL)
Pigmentação ou aspereza fraca ou forte do alumínio (Clad).	Remove as matérias estranhas com o composto Espec. MIL-C-25769	Áreas de fácil acesso: use o removedor Esp. MIL-R-25134. Em áreas confinadas: use solvente.	Remove a corrosão com o polidor Espec. MIL-C-25378.	Aplique o cromato de Espec. MIL-C-5541.
Pigmentação ou aspereza fraca ou forte do alumínio (Clad).	Como acima	Como acima	Remove a corrosão por métodos mecânicos ou com o polidor MIL-C-25378.	Como acima
Corrosão intergranular ou desfolhamento do alumínio.	Como acima	Como acima	Remove a corrosão por métodos mecânicos.	Como acima
Corrosão fraca ou forte em pequenas partes de alumínio que podem ser removidas por tratamento.	<u>Partes pintadas</u> Limpe e remova com removedor de tinta e verniz Espec. MIL-R-7751 <u>Partes não pintadas</u> Limpe com composto Espec. P-C-426, MIL-C-5543 ou desengraxante.	<u>Não requerido</u> Se a limpeza foi com removedor de tinta e verniz Espec. MIL-R-7751.	Remove a corrosão e a oxidação pela imersão das partes em uma solução de ácido cromato-fosfórico.	Imersão em cromato Espec. MIL-C-5541.
Rachaduras do do alumínio por corrosão de tensão.	Não aplicável	Ver passo 1	Ver passo 1	Ver passo 1

Figura 6-61 Procedimentos típicos de remoção e tratamento da corrosão em ligas de alumínio.

Inibidor - ácido crômico

Uma solução a 10% (em massa) de ácido crômico, ativada por uma pequena quantidade de ácido sulfúrico é particularmente eficaz no tratamento de superfícies expostas (corroídas) de alumínio. Pode também ser usada para tratar magnésio corroído.

Este tratamento tende a restaurar a cobertura de óxido protetor na superfície do metal. Tal tratamento deve ser seguido por um acabamento a base de pintura (tinta) normal, tão logo quanto possível, e nunca no dia seguinte, após o tratamento com ácido crômico. Trióxido de cromo em flocos é um agente oxidante enérgico e um ácido relativamente forte. Deve ser guardado separado de produtos combustíveis, como solventes orgânicos. Panos usados na limpeza ou manuseio de ácido crômico, devem ser cuidadosamente lavados após o seu uso; ou, jogados fora.

Solução de dicromato de sódio

Uma mistura menos ativa de produtos químicos para tratamento de superfícies de alumínio é a solução de dicromato de sódio com ácido crômico. Soluções com essa mistura são menos agressivas que soluções de ácido crômico.

Tratamento químico de superfícies

Diversas misturas comerciais, baseadas no ácido crômico ativado, estão disponíveis sob a especificação MIL-C-5541 para tratamento fora da oficina de superfícies de alumínio, corroídas ou danificadas. Precauções devem ser tomadas para se ter certeza de que os panos ou esponjas usadas sejam, cuidadosamente, lavados e enxaguados, a fim de que seja evitado um possível perigo de fogo após a secagem (veja a Figura6-61)

ACABAMENTO COM TINTAS PROTETORAS

Um acabamento bem feito com tinta protetora é a mais eficiente barreira entre a superfície do metal e o meio corrosivo. Os três tipos de acabamento por pintura, com tinta protetora mais comuns, são a base de: nitrocelulose, nitrocelulose acrílica e epoxy. Complementar-

mente, pigmentos fluorescente de alta visibilidade podem ser usados, combinados com os tipos de acabamento acima. Podem também ser usadas, coberturas resistentes à chuva e à erosão, nos bordos de ataque metálicos, bem como vários tipos de acabamento com verniz, alguns curados a quente, nas carcaças dos motores e nas rodas.

LIMPEZA DA AERONAVE

Limpar uma aeronave e mantê-la limpa é extremamente importante. Uma fixação de trem de pouso trincada, coberta com lama e graxa pode facilmente ficar encoberta. A sujeira pode acobertar trincas no revestimento. Poeira e areia causam desgaste excessivo nas dobradiças (flapes, ailerons) e em outras peças móveis. Uma camada de pó que permaneça sobre o revestimento da aeronave prejudica o desempenho aerodinâmico, além de adicionar um peso a mais.

Sujeira e dejetos sendo revolvidos pelo vento em torno da aeronave são incômodos e perigosos. Pequenos pedaços de sujeira soprados para dentro dos olhos do piloto em uma situação crítica do vôo, podem dar origem a um acidente.

O recobrimento das peças móveis por uma camada de sujeira, misturada à graxa, age como um composto abrasivo que causa um desgaste excessivo. Água salgada produz um efeito corrosivo muito danoso nas partes metálicas expostas da aeronave e, assim sendo, deve ser lavada imediatamente.

Há vários tipos de agentes de limpeza aprovados para serem usados na limpeza da aeronave. Entretanto, não cabe uma discussão específica sobre cada um deles, posto que o uso de cada um deles depende de vários fatores, como o tipo de material (sujeira) a ser removido, o tipo de acabamento da superfície da aeronave, bem como se a limpeza é interna ou externa.

Em geral, os tipos de agentes de limpeza, usados nas aeronaves são solventes, emulsões de limpeza, sabões e detergentes sintéticos. Cada uso deve estar em conformidade com o manual de manutenção aplicável. Os tipos de agentes de limpeza, anteriormente mencionados, são também classificados como sendo suaves ou para serviços pesados. Sabões e detergentes sintéticos são indicados para limpezas suaves, enquanto, solventes e emulsões de limpeza são

indicados para serviços pesados. Não obstante, sempre que possível devem ser usados os produtos de limpeza indicados para serviços suaves, por não serem nem inflamáveis nem tóxicos.

Limpeza exterior

Há três métodos de limpeza exterior em aeronaves:

- (1) Lavagem úmida
- (2) Lavagem seca
- (3) Polimento

O polimento pode ser dividido em polimento manual ou polimento mecânico. O tipo e a extensão da sujeira, bem como a aparência final desejada, é que determinarão o método a ser usado.

A lavagem úmida vai remover o óleo, a graxa ou os depósitos de carvão, assim como a maior parte das sujeiras, com excessão da corrosão e das coberturas por óxidos. Os compostos de limpeza usados são, geralmente, aplicados por pulverização, por jato ou esfregão, após os que são removidos por jato de alta pressão. Produtos de limpeza alcalinos ou por emulsão podem ser usados pelo método de lavagem úmida.

Lavagem a seco é usada para remover poeira, ou pequeno acúmulo de sujeira e terra, quando o uso de líquidos não é, nem desejável nem prático. Este método não é conveniente para a remoção de depósito espessos de carvão, graxa ou óleo, especialmente nas áreas de escapamento do motor.

Produtos empregados em lavagem a seco são aplicados com pulverizador, escovão ou pano, e são removidos também por escovamento ou por panos limpos e secos.

O polimento devolve o brilho às superfícies pintadas ou sem pintura da aeronave e é, geralmente, realizado após a superfície ter sido limpa. O polimento é também usado para remover a oxidação e a corrosão. Produtos usados no polimento estão disponíveis em várias formas ou graus de abrasão. É importante que as instruções do fabricante do avião sejam usadas em aplicações específicas.

A lavagem de uma aeronave deve ser feita à sombra, sempre que possível; posto que os compostos de limpeza tendem a manchar a superfície se a mesma estiver quente, especial-

mente, se esses compostos secarem sobre essa superfície. Não se deve esquecer de tampar todas as aberturas pelas quais a água ou os agentes de limpeza possam penetrar e causar danos.

Várias partes da aeronave, como a carenagem do radar (em geral de plástico reforçado), bem como a parte adiante da cabine de comando, que são recobertas com uma pintura inerte (que não causa interferência no radar ou nos equipamentos de navegação), não devem ser limpas, além do necessário, e não devem nunca ser esfregados com escovas de cerdas duras ou com um trapo grosseiro. Uma esponja suave, ou gaze de algodão, com o mínimo esfregamento manual é o desejável.

Qualquer mancha de óleo ou sujeira do escapamento na superfície, deve ser antes removida com um solvente como o querosene ou outro solvente similar à base de petróleo. As superfícies devem ser imediatamente lavadas e enxaguadas após a limpeza, de forma a ser evitada a secagem dos produtos de limpeza sobre essas superfícies.

Antes de aplicar sabão e água em superfícies de plástico, lave esta superfície com água limpa, para dissolver depósitos de sal, e limpar as partículas de poeira. Superfícies de plástico devem ser lavadas com água e sabão, preferencialmente à mão.

Enxágüe com água limpa e seque com camurça ou algodão hidrófilo. Considerando a fragilidade da superfície do plástico, esta não deve ser esfregada com pano seco, não só pelos riscos e demais danos que podem ser causados, mas principalmente pela eletricidade estática, que surte dessa ação e que atrai partículas de sujeira justamente para essa superfície. A carga elétrica (eletrostática), assim como a poeira aderida, pode ser removida ou evitada, se forem dadas umas pancadinhas suaves; ou, abanadas com uma camurça, limpa e macia.

Em nenhuma hipótese use jato de pó abrasivo ou outro material que possa comprometer o acabamento. Remova óleo e graxa esfregando suavemente com um tecido umedecido com água e sabão. Nunca use acetona, benzina, tetracloreto de carbono, diluidor de tinta ("*thinner*"), limpa-vidros em "*spray*", gasolina, extintor de fogo ou fluido para degelar, posto que esses produtos, via de regra, afetam o plástico, quimicamente, e causam fissuras.

Óleo da superfície, fluido hidráulico, graxa ou combustível podem ser removidos dos

pneus das aeronaves, lavando-os com uma solução de sabão com água (não muito forte).

Após a limpeza, lubrifique com graxa os fixadores, encaixes, dobradiças, etc., onde se suspeita que o lubrificante original tenha sido removido pela lavagem da aeronave.

LIMPEZA DO INTERIOR DA AERONAVE

Manter a aeronave limpa por dentro é tão importante quanto mantê-la limpa por fora. A corrosão pode se estabelecer dentro de uma aeronave de forma mais grave que pela superfície externa, porque dentro da aeronave há mais áreas de acesso difícil, para limpeza. Porcas, parafusos, pontas de fio ou outros objetos metálicos, displicentemente ativados e esquecidos, mais a unidade (como eletrólito), agindo sobre a superfície de um metal diferente, podem causar corrosão eletrolítica.

Quando estiver sendo realizado um serviço na estrutura interna de uma aeronave, devem ser removidos os cavacos e toda a limalha deixada, tão rápido quanto possível. Para tornar a limpeza mais fácil e para prevenir que partículas de metal (cavacos) e limalha penetrem em áreas inacessíveis da aeronave, um tecido felpudo (como estopa, flanela, etc.) pode ser usado embaixo da área onde está sendo realizado o serviço, a fim de ir pegando os cavacos e a limalha à medida que estes são produzidos.

Um aspirador de pó pode ser usado para retirar poeira e sujeira do interior da cabine de comando, e do interior da aeronave (cabine dos passageiros, porões de carga, etc.)

A limpeza do interior das aeronaves apresenta certos problemas durante a sua execução. O requisito básico para o entendimento desses problemas é o fato de que os compartimentos da aeronave são pequenos em termos de cubagem. Esse fato representa a possibilidade de pouca ventilação desses compartimentos e, com isso, a formação de misturas perigosas de vapores inflamáveis com ar, onde tenham sido usados solventes ou outros agentes de limpeza inflamáveis. Caso exista a possibilidade do surgimento de uma fonte de ignição, quer sob a forma de uma falha elétrica, eletricidade estática, atrito entre materiais que produzam faíscas dessa forma, quer sob a forma de qualquer tipo de ignitor, o perigo torna-se maior.

Consequentemente, sempre que possível, agentes de limpeza não inflamáveis devem ser

usados nessa operação para reduzir ao mínimo o tipo perigo (de fogo ou explosão).

Tipos de operações de limpeza

As principais áreas da aeronave que necessitam de limpeza periódica, são:

1. **Área da cabine dos passageiros** - assentos, carpetes, painéis laterais, encosto de cabeça, bagageiros superiores, cortinas, cinzeiros, janelas, painéis biombos de plástico ou madeira.
2. **Áreas da cabine de comando** - os mesmos materiais encontrados na cabine de passageiros, e mais o painel de instrumentos, pedestal das manetas, parabrisas, revestimento do piso, superfícies metálicas dos instrumentos e equipamentos de controle do voo, cabos elétricos e contatos, etc.
3. **Banheiro e cozinha** - os mesmos materiais, como aqueles encontrados na cabine dos passageiros, mais os materiais dos banheiros, com seus acessórios, lixeiras, gabinetes, lavatórios, sanitários, espelhos, formas de aquecimento, etc.

Solventes e agentes não inflamáveis para limpeza da cabine

1. **Detergentes e sabões.** Há amplo espectro de aplicação para a maioria das operações de limpeza, envolvendo tecidos, encosto de cabeça, tapetes, janelas e superfícies similares, que não são suscetíveis a dano quando molhadas, desde que não encolham e nem percam a cor. Cuidados devem ser tomados para que não sejam retirados os sais que foram usados nos produtos empregados, para retardar a propagação das chamas, e que podem ser solúveis em água. A remoção de tais sais pode alterar as características de retardamento da propagação das chamas.
2. **Produtos alcalinos de limpeza.** Muitos desses agentes são solúveis em água e, dessa forma, não tem perigo de causarem incêndio. Podem ser usados em tecidos, encostos de cabeça, tapetes e superfícies semelhantes, do mesmo modo, que sabões e detergentes, considerando porém as características caus-

ticas dos produtos, que se por um lado aumentam sua eficiência, por outro tem um maior efeito de deterioração sobre tecidos e plásticos.

3. **Soluções ácidas** - São normalmente soluções ácidas leves destinadas a remoção de fuligem (de carbono) ou manchas de produtos corrosivos (alcalinos). Sendo soluções aquosas, não iniciam a combustão, mas exigem uma utilização judiciosa, não só para prevenir danos aos tecidos, plásticos e outras superfícies, como também à pele e as vestimentas dos aplicadores dos produtos.
4. **Desodorantes e desinfetantes** - Um considerável número de produtos utilizados na desinfecção e desodorização das cabines das aeronaves não são inflamáveis. Muitos deles são projetados para serem aplicados por pulverização (tipo aerossol) e tem um propelente não inflamável, mas é bom sempre verificar cuidadosamente esse detalhe.
5. **Abrasivos** - Alguns abrasivos (pasta para polir) são disponíveis para polir superfícies, pintadas ou desnudas. Cuidados devem ser tomados verificando se há ou não compostos (solventes) inflamáveis na mistura (a menos que sejam simplesmente pós).
6. **Produtos de limpeza a seco** - Percloroetileno e Tricloroetileno usados a temperaturas ambientes são exemplos de produtos de limpeza não inflamáveis para uso a seco. Estes produtos realmente têm um nível de toxidade perigoso e seu uso exige cuidados especiais. Materiais tratados com retardadores de propagação de chamas podem ter suas características afetadas com a aplicação desses produtos, tal como os produtos solúveis em água.

Produtos combustíveis e inflamáveis

1. **Solventes com alto ponto de fulgor** - Produtos derivados do petróleo, especialmente refinados, inicialmente desenvolvidos como "Solventes *Stoddard*", hoje em dia comercializado por várias companhias com diferentes designações comerciais, tem características de solvente, como a gasolina, mas com o mesmo risco de incêndio do querosene (desde que não seja aquecido).
Muitos deles são produtos estáveis que têm ponto de fulgor entre 40° C e 60° C (100° F

e 140° F), com relativamente baixo grau de toxidade.

2. **Solventes com baixo ponto de fulgor** - Líquidos inflamáveis classe I (ponto de fulgor abaixo de 40° C (100° F), não devem ser usados para limpeza ou renovação. Os produtos mais conhecidos dessa categoria são: acetona, gasolina de aviação, metil etil cetona, nafta e toluol.

Nos casos onde é necessário o uso de líquidos inflamáveis, deve-se preferir aqueles com alto ponto de fulgor. Ponto de fulgor de, 40° C (100° F), ou mais.

3. **Líquidos misturados** - Alguns solventes comerciais são misturas de líquidos com diferentes taxas de evaporação, tal como uma mistura de nafta com material clorado.

As diferentes taxas de evaporação podem apresentar problemas de toxidade e perigo de fogo, e tais misturas, não devem ser usadas, a menos que, sejam guardadas e manuseadas com pleno conhecimento desses perigos e que as devidas precauções sejam tomadas.

Embalagens

Os líquidos inflamáveis deverão ser manuseados somente em embalagens aprovadas e devidamente rotuladas.

Precauções para a prevenção de fogo

Durante a limpeza ou remoção (substituição de partes do carpete, tecidos, revestimentos muito usados), onde líquidos inflamáveis forem usados, os seguintes procedimentos de segurança são recomendados.

1. O interior das aeronaves deve estar suficientemente ventilado para prevenir a acumulação de vapor no seu interior. Com esse propósito, todas as portas e demais aberturas do interior da aeronave devem ser mantidas abertas para que se tire partido da ventilação natural. Entretanto, onde a ventilação natural for insuficiente, meios mecânicos aprovados (ventiladores ou ventoinhas) devem estar disponíveis para serem usados. A acumulação de vapores inflamáveis, acima de 25%, do limite inferior de inflamabilidade de específico vapor (de um material que esteja sendo usado), medido em um ponto a cinco

pés (um metro e meio aproximadamente) do local em que esteja sendo usado, deve resultar numa revisão dos procedimentos de emergência para a situação.

2. Todos os equipamentos ou aparelhos que possam ser utilizados, e que em operação produzem chamas ou faíscas, devem ser retirados, ou evitada sua operação, durante o período em que vapores inflamáveis possam existir.
3. Equipamentos elétricos, portáteis ou manuais, utilizados no interior da aeronave devem ser do tipo aprovado, ou enquadrados no Código Americano de Eletricidade, na classe I, grupo D, Localizações Perigosas.
4. Ligações elétricas para equipamentos a serem utilizados na aeronave, assim como os próprios equipamentos inerentes a aeronave, não devem ser conectados, ligados ou desligados durante as operações de limpeza.
5. Sinais de alarme convenientes devem ser colocados, em lugares proeminentes das portas da aeronave, para indicar que líquidos inflamáveis estão sendo ou vão ser utilizados nas operações de limpeza ou renovação (de materiais do revestimento interno desgastados) em andamento.

Recomendações de proteção contra o fogo

Durante as operações de limpeza ou renovação da aeronave, onde líquidos inflamáveis são utilizados, as seguintes orientações gerais de proteção contra o fogo são recomendadas:

1. Aeronaves sendo submetidas a operações de limpeza ou renovação devem ser, preferencialmente, localizadas fora do hangar, desde que as condições meteorológicas o permitam. Esse procedimento também facilita uma melhor aeração da aeronave (ventilação natural), da mesma forma que assegura um mais rápido acesso na eventualidade de fogo a bordo.
2. Recomenda-se que, durante tais operações de limpeza ou renovação em uma aeronave, fora do hangar, extintores de incêndio portáteis e apropriados (especificação americana 20-B) devem estar disponíveis nas entradas da aeronave, além disso, mangueiras de água com bicos de pulverização, com comprimento suficiente para alcançar o interior da aeronave, devem também estar disponíveis e

serem capazes de controlar qualquer incêndio, pelo menos até que chegue a equipe contra-incêndio (bombeiros) do aeroporto (da INFRAERO, no caso brasileiro).

OBSERVAÇÃO 1: Extintores de emprego geral (pó químico) devem ser evitados onde a corrosão do alumínio venha a se constituir em um problema.

OBSERVAÇÃO 2: Equipamentos de detecção e combate a incêndio tem sido desenvolvidos, testados e instalados para garantir proteção à aeronave durante sua construção ou sua manutenção. Os operadores estão analisando a possibilidade de utilização de tais equipamentos durante as operações de limpeza e renovação do interior da aeronave.

OBSERVAÇÃO 3: Aeronaves sendo submetidas a operações de limpeza ou renovação, onde o serviço só possa ser realizado dentro do hangar, deve contar com equipamento automático de proteção contra o fogo (chuveiros dentro do hangar).

LIMPEZA DOS MOTORES

A limpeza dos motores é uma atividade importante e deve ser feita cuidadosamente. O acúmulo de graxa e sujeira nas aletas dos motores refrigerados a ar, age como um isolante térmico, impedindo a efetiva refrigeração pelo ar que flui sobre o motor. Esse acúmulo, pode mascarar trincas ou outras falhas porventura existentes.

Quando se for limpar um motor, antes retira-se a sua carenagem aerodinâmica. Começando pela parte superior, o motor é lavado, por pulverização, com solvente ou querosene. Uma escova ou pincel de cerdas duras pode ser usado como auxílio para a limpeza de algumas superfícies.

Sabão e água limpa, além de solventes aprovados, podem ser usados para limpeza de hélices ou pás de rotor. A menos que seja um processo de marcação (gravação ou decapagem), material cáustico não deve ser usado em uma hélice. Raspadores, politrizes, escovas-de-aço ou qualquer ferramenta ou substância que possam danificar ou arranhar superfícies não devem ser usados nas pás das hélices, exceto quando tal for recomendado para reparo.

Pulverização de água, chuva ou algum material abrasivo choca-se com uma hélice em movimento com tal força que pequenos orifícios se formam nos bordos de ataque de suas pás. Se medidas preventivas não forem tomadas, a corrosão tende a aumentar rapidamente o tamanho desses orifícios. E esses orifícios podem se tornar tão grandes que seja necessário que as pás tenham seus bordos de ataque limados até se tornarem lisos novamente.

As pás de hélice feitas de aço são mais resistentes à abrasão e à corrosão que aquelas de liga de alumínio. Se elas forem untadas com óleo após cada vôo, conservarão sua superfície lisa por mais tempo.

As hélices devem ser examinadas regularmente, uma vez que trincas, nas pás de hélice de aço ou liga de alumínio, podem vir a ser enchidas com óleo, o qual tende a se oxidar. Isto pode ser facilmente verificado quando a pá é inspecionada. Esfregando a superfície com óleo, atinge-se um objetivo de segurança, uma vez que as trincas ficam mais evidentes.

Cubos de hélices devem ser inspecionados regularmente, com relação a trinca e outros defeitos. A menos que esses cubos sejam mantidos limpos, os defeitos podem não ser tão evidentes.

Eles devem ser limpos com água e sabão ou com solventes de limpeza aprovados, sendo que estes podem ser aplicados com panos ou escovas. Entretanto, devem ser evitados ferramentas ou abrasivos que riskem ou danifiquem o revestimento de sua superfície.

Em casos especiais, onde um polimento esmerado é o que se deseja, o uso de um polidor de boa qualidade é recomendado. Após terminado o polimento, todos os resíduos do polidor devem ser rapidamente removidos, as pás das hélices limpas e recobertas com óleo de motor limpo.

Todas as substâncias usadas na limpeza devem ser removidas imediatamente de qualquer parte da hélice, após as operações de limpeza.

Sabão, em qualquer forma (líquido, pastoso, espuma, etc.), deve ser removido através de um enxágüe repetido com água limpa, e depois, as superfícies, devem ser secas e cobertas com óleo de motor limpo.

Após o motor ter sido limpo, todas as hastes de controle, balancins e, outras partes móveis, devem ser lubrificadas de acordo com

as instruções contidas no manual de manutenção aplicável.

SOLVENTES DE LIMPEZA

Em geral, solventes de limpeza usados na limpeza de aeronaves devem ter um ponto de fulgor, no mínimo, de 105° F, caso haja possibilidade de explosão a ser evitada. Solventes clorados não são inflamáveis, porém são tóxicos; logo, precauções de segurança devem ser observadas para seu uso. O emprego de tetracloreto de carbono deve ser evitado.

Solventes para limpeza a seco

O solvente tipo "*Stoddard*" é o mais comum solvente, a base de petróleo, usado na limpeza de aeronaves; seu ponto de fulgor é ligeiramente acima de 40° C (105° F) e pode ser usado para remover graxa, óleo e um leve acúmulo de terra.

Os solventes para limpeza a seco são preferíveis ao querosene, para todos os propósitos de limpeza, mas da mesma forma que o querosene, deixa um ligeiro resíduo após a evaporação, o qual pode interferir com a aplicação de uma camada posterior de acabamento.

Nafta alifática e aromática

Nafta alifática é recomendada para ser passada em superfícies limpas, pouco antes da pintura.

Esse produto também pode ser usado para a limpeza de borracha e materiais acrílicos. Sua temperatura de fulgor é de aproximadamente 25° C (80° F) e deve ser usado com cuidado.

Nafta aromática não deve ser confundida com nafta alifática. Aquela é tóxica e ataca materiais acrílicos e borracha, e só deve ser usada com controle adequado.

Solventes de segurança

Solventes de segurança, como o tricloroetano (ou metil clorofórmio), são usados para a limpeza geral e remoção de graxa. Em condições normais não é inflamável, sendo utilizado em substituição ao tetracloreto de carbono. Precauções de segurança devem ser tomadas quando usando solventes clorados. O seu uso pro-

longado pode causar problemas de pele em pessoas sensíveis.

Metil etil cetona (MEK)

O MEK serve também como solvente de limpeza para superfícies metálicas, bem como para a remoção de pintura em pequenas proporções.

O MEK é um solvente e um limpador de metais muito ativo, com ponto de fulgor ao redor de 0° C (24° F). É tóxico quando inalado, e as devidas precauções de segurança devem ser observadas durante seu uso.

Querosene

Usa-se o querosene, misturado com agentes de limpeza tipo emulsão, como emoliente de preservativos de cobertura, difíceis de serem removidos. É também usado como solvente para limpeza em geral, mas o seu uso deve ser seguido pela cobertura ou enxagüe com outros tipos de agente de proteção.

O querosene não evapora rapidamente, como os solventes de limpeza a seco, e, geralmente, deixa um resíduo apreciável nas superfícies limpas, resíduo esse que pode ser corrosivo. Esses, resíduos podem ser removidos com solventes de segurança, agentes de limpeza a base de emulsão de água ou mistura com detergentes.

Compostos de limpeza para sistemas de oxigênio

Compostos de limpeza para uso em sistemas de oxigênio são feitos à base de álcool etílico anidro (desidratado), álcool isopropílico (fluido anticongelante), ou uma mistura de álcool isopropílico com freon. Estes podem ser usados para limpar os componentes do sistema de oxigênio, tais como: máscaras dos tripulantes, linhas, etc.

Não se pode usar esses fluidos dentro de tanques ou reguladores. Não use nenhum composto de limpeza que deixe uma cobertura oleosa, quando limpando equipamentos de oxigênio.

Um contato prolongado da pele com a mistura freon/álcool é prejudicial. Instruções dos fabricantes dos equipamentos de oxigênio, ou dos compostos de limpeza, devem sempre ser seguidas.

AGENTES DE LIMPEZA EM EMULSÃO

Compostos de solventes, e emulsão de água, são usados na limpeza geral de aeronaves. Solventes em emulsão são particularmente úteis na remoção de depósitos bastante adensados, como carvão, óleo, graxa ou alcatrão. Quando usados de acordo com as instruções, esses solventes em emulsão não afetam uma pintura de boa qualidade, nem um acabamento feito com materiais orgânicos.

Agentes de limpeza em emulsão de água

Produtos disponíveis, sob a especificação MIL-C-22543 A, são compostos de limpeza em emulsão de água, para ser usado tanto em superfícies de aeronaves pintadas ou não pintadas.

Esses produtos são também indicados para a limpeza de superfícies pintadas, com tinta fluorescente, e é segura também, para acrílicos. Entretanto, essas propriedades vão variar em função do produto disponível, e uma verificação (teste), deve ser feita em uma amostra, antes do emprego do produto.

Agentes de limpeza em emulsão de solvente

Um dos tipos de agente de limpeza em emulsão de solvente é o não fenólico e pode ser usado com segurança, em superfícies pintadas, sem afetar (amolecer) a pintura base.

O seu uso continuado pode afetar os acabamentos acrílicos em laca (verniz) nitrocelulose, como age amolecendo e decapando, superficialmente, coberturas de preservação espessas. Em materiais persistentes, deve ser aplicado, novamente, por duas ou três vezes, como necessário.

Um outro tipo de agente de limpeza em emulsão de solvente é o de base fenólica, que é mais eficaz em serviços pesados, mas que também tende a afetar (amolecer e desbotar) as pinturas de cobertura.

Deve ser usado com cautela, onde haja borracha, plástico ou outro material não metálico.

Luvas de borracha (ou látex) e óculos de proteção devem ser usados ao utilizar agentes de limpeza de base fenólica.

SABÕES E DETERGENTES

Há um grande número de produtos empregados em limpezas leves. Nessa seção serão discutidos os produtos mais comuns.

Compostos de limpeza para superfícies de aeronaves

Produtos especificados, conforme as normas MIL-C-5410, Tipo I e Tipo II, são usados na limpeza geral de superfícies de aeronaves, pintadas ou não, para a remoção de resíduos (lama) leves para médios, além de películas normais de óleo e graxa.

São de uso seguro para quaisquer superfícies, como tecido, couro e plásticos transparentes.

Superfícies transparentes, com filtros de luminosidade incorporados ao material (como pára-brisas), não devem ser lavadas mais do que o necessário, e nunca devem ser limpos com escovas duras.

Agentes de limpeza com detergentes amônicos (não iônicos)

Esses produtos podem ser tanto solúveis em água quanto em óleo. O agente de limpeza com detergente solúvel em óleo, é eficaz quando em solução de 3% a 5%, em solvente para limpeza a seco, para promover o amolecimento e a remoção de coberturas fortes de preservação. O desempenho dessa mistura é idêntico ao dos agentes de limpeza, por emulsão, já previamente mencionados.

PRODUTOS PARA A LIMPEZA MECÂNICA

Quando desejamos evitar danos ao acabamento ou à superfície da aeronave, o emprego de produtos para limpeza mecânica deve ser feito com cuidado, e conforme instruções específicas.

Produtos levemente abrasivos

Nenhum destaque será dado nessa seção para fornecer instruções detalhadas sobre o emprego dos vários produtos listados. Entretanto, alguns prós e contras são incluídos como auxílio

na seleção de produtos, para operações específicas de limpeza.

Pedra-pomes pulverizada é usada para a limpeza de superfícies de alumínio corroídas. Abrasivos com características semelhantes podem também ser usados.

Chumaços de algodão impregnados de produtos são empregados para a remoção de sujeira de escapamentos e polimento de superfícies de alumínio corroídas.

O polidor para alumínio é usado para produzir um alto brilho, persistente, em superfícies não pintadas de alumínio cladeado ("*cladding*").

Não deve, entretanto, ser usado em superfícies anodizadas, porque remove a cobertura de óxido.

Três tipos de lâ-de-alumínio (grosseiro, médio e fino) são usados para a limpeza geral das superfícies de alumínio.

Tiras de nylon, impregnadas de produtos, são preferidas em relação à lâ-de-alumínio, para a remoção dos produtos da corrosão e pinturas velhas e incrustadas, assim como para a preparação (abrasão) da pintura já existente, sobre a qual se aplicará um retoque.

Produtos compostos para remoção de verniz, podem ser usados para remover resíduos de exaustão do motor e pequenas oxidações.

Remoções intensas sobre a cabeça dos rebites, ou extremidades, onde coberturas protetoras podem ser desgastadas, devem ser evitadas.

Papéis abrasivos (lixas d'água)

Papéis abrasivos (lixas d'água), usadas nas superfícies das aeronaves, não devem conter abrasivos pontudos ou tipo agulhas, os quais podem fixar-se, tanto no metal base, quanto na cobertura de proteção a ser preservada.

Os abrasivos usados não devem corroer o material a ser limpo.

Lixa d'água, grão 300 ou mais fino, é disponível em várias formas e é segura para ser usada na maioria das superfícies.

O uso de carborundum (carboneto de silício) em lixas, usadas em alumínio ou magnésio, deve ser evitado, uma vez que a estrutura do grão do carborundum é muito afilada.

Além de ser esse material tão duro quanto os grãos individuais ele pode penetrar até mesmo na superfície do aço.

O uso de papel de esmeril, em alumínio ou magnésio, pode causar corrosão séria nesses metais, pela inclusão do óxido de ferro.

PRODUTOS QUÍMICOS DE LIMPEZA

Produtos químicos de limpeza devem ser usados com muito cuidado na limpeza das montagens das aeronaves.

O perigo da penetração de produtos corrosivos em junção de superfícies e frestas contrapõe-se a qualquer vantagem na sua velocidade e efetividade.

Qualquer produto deve ser relativamente neutro e de fácil remoção. Dá-se ênfase, que todo resíduo deve ser removido.

Sais solúveis de tratamentos químicos superficiais, como o ácido crômico ou dicromato, vão se liquefazer e empolar a pintura posterior.

Ácido cítrico fosfórico

Uma mistura de ácido cítrico-fosfórico está disponível e pronta para o uso, assim que é desembalada (Tipo I). Já o Tipo II é um concentrado que deve ser diluído com água e solventes minerais.

O contato com a pele deve ser evitado através do uso de luvas de borracha e óculos.

Qualquer queimadura por ácido deve ser lavada com bastante água limpa e neutralizada, a seguir, com uma solução diluída de bicarbonato de sódio.

Bicarbonato de sódio

O bicarbonato de sódio pode ser usado para neutralizar depósitos ácidos nos compartimentos de baterias chumbo-ácidas, bem como para tratar de queimaduras causadas por agentes químicos de limpeza e inibidores de corrosão.

ESTRUTURA DOS METAIS

Conhecimento dos seus usos, resistências, limitações e outras características da estrutura dos metais é vital para construir corretamente, e manter qualquer equipamento, especialmente estruturas aeronáuticas. Na manutenção e reparo, um pequeno desvio das especificações do projeto, ou a utilização de materiais de qua-

lidade inferior, pode resultar na perda de equipamentos e vidas.

A utilização de materiais impróprios pode facilmente deteriorar o mais requintado acabamento.

A seleção do material correto para um trabalho específico de reparo, requer familiaridade com as mais divulgadas propriedades físicas dos diversos metais.

Propriedade dos metais

Uma das primeiras preocupações na manutenção de aeronaves é com as propriedades gerais dos metais e suas ligas, como: dureza, maleabilidade, ductilidade, elasticidade, contração e expansão, e etc.

Esses termos foram expostos para estabelecer as bases para a posterior discussão da estrutura dos metais.

Explicação dos termos

- **Dureza**: refere-se a capacidade de um metal resistir a abrasão, penetração, corte e a distorção permanente. A dureza pode ser aumentada por trabalhos a frio e, no caso do aço e de determinadas ligas de alumínio, através de tratamento térmico. Componentes estruturais são frequentemente conformados de metais, a partir de sua forma de menor dureza; após, são endurecidos, mantendo a mesma forma. Dureza e resistência são propriedades dos metais, intimamente ligadas.

- **Fragilidade**: é a propriedade dos metais que lhes impede flexionar ou deformar sem que estilhacem. Um metal frágil quebra ou trinca sem mudar de forma. Considerando que os metais estruturais estão frequentemente sujeitos a cargas de choque (impactos), a fragilidade não é uma propriedade desejável. O ferro fundido, alumínio fundido e aços muito duros, são exemplos de materiais frágeis.

- **Maleabilidade**: um metal que possa ser martelado, laminado ou prensado de várias maneiras, sem que trinque, quebre ou sofra outro efeito degenerativo semelhante, é dito ser maleável.

Essa propriedade é necessária para chapas de metal, que sejam trabalhadas a formar curvas, como carenagens de motor, de trem de pouso e pontas de asa. O cobre é um exemplo de metal maleável.

- **Ductilidade:** é a propriedade de um metal que lhe permite ser esticado, flexionado ou torcido de várias maneiras, sem quebrar. Essa propriedade é essencial para metais usados na fabricação de arames e tubos.

Metais dúcteis têm grande aceitação na indústria aeronáutica por causa de sua facilidade de conformação e resistência a falhas por cargas de choque (impactos). Por essa razão, as ligas de alumínio, são usadas para carenagens de motor, revestimento da fuselagem e das asas, e componentes conformados ou extrudados, como: nervuras, longarinas e cavernas. Aço cromo molibdênio é também facilmente moldado nas formas desejadas. A ductilidade assemelha-se à maleabilidade.

- **Elasticidade:** é aquela propriedade que permite ao metal voltar a sua forma original, assim que a força que o deforma é removida. Essa propriedade é extremamente valiosa quando se deseja que o componente volte a ter sua forma original, tão logo cesse a ação da força que o deforma. Cada metal tem um ponto conhecido como limite de elasticidade, além do qual qualquer excesso de carga causa deformação permanente. Na construção aeronáutica, peças e componentes estruturais são de tal forma projetados que as cargas máximas, sob as quais estarão sujeitas, não os deformarão além do limite elástico. Essa propriedade é característica de molas helicoidais de aço.

- **Resistência:** um material que tem resistência vai se contrapor ao corte e à ruptura e pode ser esticado, ou de qualquer maneira deformado sem se romper. A resistência é uma propriedade desejável para todos os metais usados na construção aeronáutica.

- **Densidade:** é a massa (peso) por unidade de volume de um material. Na construção aeronáutica, a massa específica de um material, em relação a um volume unitário é usada para se determinar (ou estimar) a massa (ou peso) de uma peça ou componente, antes de sua fabricação.

É também uma propriedade considerada, durante o projeto de uma peça ou componente, quando se objetiva manter o peso e o balanceamento da aeronave.

- **Fusibilidade:** é a capacidade que tem um metal de tornar-se líquido quando submetido ao calor, especialmente durante o processo de soldagem. O aço se funde em torno de 1425° C, as ligas de alumínio, 595° C.

- **Condutividade:** é a propriedade que permite ao metal conduzir calor ou eletricidade. A condutividade de calor de um metal é especialmente importante na soldagem; porque ela determina a quantidade de calor que será necessária para a fusão. A condutividade (térmica) dos metais também vai determinar o tipo de gabarito que será usado para controlar sua expansão e contração. Na aeronave, a condutividade (elétrica) deve também ser considerada na junção das partes, para eliminar a interferência no equipamento rádio.

- **Contração e expansão:** são reações produzidas nos metais como resultado de aquecimento ou resfriamento. O calor aplicado a um metal leva-o a expandir-se, tornando-se maior. O resfriamento e o aquecimento afetam o projeto dos gabaritos soldados, peças fundidas e tolerâncias necessárias para materiais conformados a quente.

Fatores de seleção

Resistência, peso e confiabilidade são três fatores que determinam os requisitos a serem observados, para qualquer material a ser usado na construção e reparo de células. As células devem ser fortes, mas ao mesmo tempo, leves. Uma célula muito pesada que não pudesse transportar alguns quilogramas, seria certamente de pouco uso.

Todos os metais, complementarmente ao fato de que tenham uma boa relação peso/resistência, devem ter uma acurada confiabilidade, então minimizando a possibilidade de falhas inesperadas e perigosas. Além dessas propriedades gerais, o material selecionado para uma aplicação definida deve possuir características específicas, convenientes ao seu emprego.

O material deve possuir a resistência necessária de acordo com suas dimensões, peso e utilização. Há cinco esforços básicos aos quais os metais devem ser obrigados a atender. São: tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção.

- **Tração:** a resistência de um material à tração é a resistência à força que tende a separá-lo. A resistência à tração é medida pela força necessária, para romper um corpo de prova feito com o mesmo material dividido pela área da seção onde houve a ruptura. Normalmente, é medido em p.s.i. (libras por polegada quadrada).

- **Compressão:** a resistência à compressão de um material é a resistência a uma força de esmagamento, contrária em sentido à força de tração.

É também expressa da mesma forma em p.s.i. (libras por polegada quadrada).

- **Cisalhamento:** quando um pedaço de metal é cortado com uma tesoura de chapa, as duas lâminas da tesoura exercem sobre o metal uma força conhecida como cisalhamento. O cisalhamento é a ação de duas forças paralelas muito próximas (tangentes), porém, de sentidos opostos uma da outra, que acabam fazendo com que, na interface entre essas duas forças, o material comece a deslizar entre si até a ruptura. A resistência ao cisalhamento é expressa como a força em que o material falha, dividida pela seção (área) do corpo de prova submetida à força. Expressa-se também em libras por polegada quadrada (p.s.i).

- **Flexão:** pode ser descrita como a deflexão ou curvatura de um membro, devido a forças atuando sobre ele. A resistência a flexão de um material é a resistência que ele oferece as forças de deflexão.

- **Torção:** pode ser descrita como a deflexão de um membro devido a um binário (e não a forças), atuando sobre ele. A resistência à torção é a resistência que um material oferece a um binário (ou conjugado) que tenta torcê-lo.

A relação que existe entre a resistência de um material e sua densidade expressa como uma razão, é também conhecida, como a razão entre resistência e peso. Essa razão forma a base para comparação entre vários materiais, para uso na construção e reparo em células. Nem a resistência, tampouco o peso, isoladamente, podem ser usados como meios de verdadeira comparação.

Em algumas aplicações, como no revestimento de estruturas monocoque, a espessura é mais importante que a resistência e, em última análise, o material de peso mais leve para uma dada espessura ou calibre é o melhor. A espessura é necessária para prevenir flambagem (enrugamento da chapa), ou dano causado pelo manuseio pouco cuidadoso.

A corrosão faz com que o metal fure ou fique carcomido, ou que sua estrutura granular se degenere.

Considerando as seções finas e os fatores de segurança envolvidos no projeto e construção aeronáutica, seria perigoso escolher um material pouco resistente à corrosão.

Um outro fator a ser considerado na manutenção e reparo, é a capacidade do material ser conformado, dobrado ou trabalhado segundo diversas formas. Esses materiais, assim tratados, endurecem por trabalho a frio.

Praticamente todo trabalho mecânico realizado na conformação de partes e peças aeronáuticas, causam endurecimento, por trabalho a frio. Às vezes, isso é desejável, entretanto o metal ao mesmo tempo em que endurece, torna-se quebradiço.

Caso o metal tenha sido muito trabalhado a frio, ou seja: tenha sido dobrado de um lado para outro, muitas vezes; ou, tenha sido martelado além da conta, fatalmente vai trincar ou quebrar. Geralmente, quanto mais dúctil e maleável é um metal, mais trabalho a frio ele pode suportar.

Qualquer processo que envolva aquecimento e resfriamento, controlados de um metal, para induzir ao surgimento de certas características desejáveis (como endurecimento, amolecimento, ductilidade, resistência à tração ou variação da estrutura granular) é chamado tratamento a quente. No caso do aço, o termo tratamento a quente, tem amplo significado, e inclui processos, como normalização, têmpera, revenimento, recozimento, etc.

Já o tratamento a quente, das ligas de alumínio, envolve basicamente dois processos: o de endurecimento e o de amaciamento. O endurecimento é chamado tratamento térmico a quente e o amaciamento é chamado recozimento.

Os metais usados na aviação, estão sujeitos, tanto a choques (impactos), quanto a fadiga (vibração). A fadiga ocorre nos materiais sujeitos à aplicação cíclica de cargas, quando o limite de fadiga é alcançado ou excedido.

A repetição das vibrações ou flexões vão induzir o surgimento de uma pequena trinca no ponto mais fraco.

A continuação da vibração fará com que a trinca vá sendo ampliada até a ruptura. É a chamada falha por fadiga. A resistência a essa condição é chamada resistência à fadiga.

O material usado na fabricação de peças críticas deve ser resistente a essa condição.

PROCESSOS USADOS NA CONFORMAÇÃO METÁLICA

Há três métodos de confirmação metálica: (1) trabalhos a quente; (2) trabalhos a frio; e (3) extensão. O método usado vai depender do tipo de metal envolvido e do componente, embora em alguns casos, tanto os métodos de conformação a quente e a frio possam ser usados na confecção de uma única peça.

Trabalho a quente

Quase todo aço é trabalhado a quente, a partir do lingote até um estágio de conformação intermediário; e, após trabalhado, tanto a frio quanto a quente, até a forma final.

Quando um lingote é retirado do seu molde, sua superfície é sólida, mas o seu interior não. O lingote é então colocado em um buraco preparado no chão da aciaria, tal que, a perda de calor pelo lingote é reduzida, enquanto seu interior vai gradualmente se solidificando.

Após esse procedimento, a temperatura fica equalizada através do lingote, que então é reduzido a uma forma intermediária através de um laminador, fazendo-o mais facilmente manuseável.

Peças de seção quadrada, menor que 6x6 polegadas, são chamadas barras. Peças laminadas com seção retangular, sendo a largura maior que o dobro da altura são chamadas placas. A partir das placas, em processos seqüenciais de laminação, são produzidas as chapas.

Os tarugos, barras e placas são novamente aquecidos até a temperatura apropriada e, mais uma vez, laminados numa variedade de perfis.

Como será visto adiante, materiais laminados a quente, freqüentemente recebem acabamento por laminação a frio ou trefilamento, o que lhes permite um controle dimensional preciso, e um acabamento superficial liso e brilhante.

Seções complicadas que não possam ser laminadas, ou seções das quais se necessite um pequeno pedaço são geralmente, forjadas.

O forjamento do aço é um trabalho mecânico em temperaturas acima da temperatura crítica, para conformar o metal como desejado. O forjamento é feito tanto por pressão, quanto por martelamento do aço aquecido, até que a forma desejada seja obtida.

O forjamento por pressão é usado quando o componente a ser forjado é grande e pesado; esse processo também substitui o martelamento, onde aço de alta qualidade é exigido. Posto que a prensa atua lentamente, sua força é transmitida uniformemente para o centro da seção, afetando tanto o grão interno como o externo, gerando a melhor estrutura possível (mais uniforme).

O forjamento por martelamento pode ser usado para peças relativamente pequenas. Uma vez que o martelamento transmite sua força quase instantaneamente, seu efeito é limitado a pequena profundidade. Assim, faz-se necessário a uso de um martelo muito pesado; ou, sujeitar a peça a sucessivas pancadas, para se assegurar o completo trabalho da seção.

Caso a força aplicada seja muito fraca para alcançar seu centro, o acabamento da superfície forjada será côncavo. Caso o centro, tenha sido apropriadamente trabalhado, a superfície ficará convexa ou estufada. A vantagem do martelamento é que o operador tem controle tanto sobre a quantidade de pressão aplicada, quanto da temperatura de acabamento; sendo assim, capaz de produzir pequenas peças de alta qualidade. Esse tipo de forjamento é geralmente chamado de forjamento de ferreiro. É usado extensamente, somente onde um pequeno número de peças faz-se necessário. Considerável tempo de máquina e material são economizados quando as peças são forjadas a martelo até aproximadamente sua forma final.

O aço é freqüentemente mais duro que o necessário e, muito quebradiço, para a maioria das aplicações práticas, quando colocado sob condições que afetem sua estrutura interna (ou criem tensões internas). Para aliviar essas tensões e reduzir sua fragilidade, o aço é revenido após ter sido temperado. Isso consiste em aquecer o aço em um forno até uma temperatura específica e, resfriado ao ar, óleo, água ou solução especial. O grau de revenimento se refere a relação do metal ou liga metálica com relação ao seu endurecimento. A laminação, forjamento, etc. dessas ligas, ou seu tratamento térmico ou envelhecimento, faz com que se torne mais rígido ou tenaz. Nessa hora, essas ligas se tornam duras para a conformação e têm que ser reaquecidas ou recozidas (normalizadas).

Os metais são recozidos ou normalizados para aliviarem suas tensões internas; reduzindo-lhes a dureza, fazendo-os mais ducteis e refi-

nando-lhes a estrutura dos grãos. O recozimento ou normalização, consiste no aquecimento do metal até uma determinada temperatura, mantendo essa temperatura algum tempo, até que o metal esfrie à temperatura ambiente. A fim de ser obtido o maior grau de amaciamento (menor dureza), o metal deve ser resfriado o mais lentamente possível. Alguns metais devem ser resfriados no forno, já outros podem ser resfriados ao ar.

O revenimento se aplica a metais ou ligas a base de ferro. Consiste no aquecimento da peça até uma temperatura pré-determinada, na qual é mantida, a fim de que seja garantido um homogêneo aquecimento, sendo, após, resfriada em ar calmo. O revenimento é usado para aliviar tensões do metal (e reduzir sua dureza).

Trabalho a frio

Trabalho a frio é o trabalho de deformação mecânica do metal, realizado abaixo da temperatura crítica. Cria tensões residuais de endurecimento no grão deformado. Na verdade o metal fica tão endurecido, que se torna difícil continuar o processo de conformação sem que haja o amaciamento do metal pelo recozimento (normalização).

Uma vez que no processo de trabalho a frio não há encolhimento (por resfriamento) das peças, estas podem ser produzidas bem próximas das dimensões desejadas. A resistência e a dureza, assim como o limite elástico são aumentados, porém a ductilidade é reduzida. Assim sendo, já que o metal vai se tornando quebradiço, faz-se necessário que, entre uma e outra etapa do trabalho a frio a peça seja aquecida até a temperatura crítica, para aliviar as tensões internas e permitir que a mesma seja continuamente conformada sem que surjam trincas ou outros defeitos.

Embora existam vários processos de trabalhos a frio, os dois mais comumente usados na indústria aeronáutica são: laminação a frio e trefilação a frio. Esses processos desenvolvem no metal qualidades que não poderiam ser obtidas por trabalhos a quente.

Laminação a frio é feita a temperatura ambiente. Nessa operação, os materiais que serão laminados para suas dimensões finais, são decapados para remoção de crostas (sujeiras, borra da fundição, etc.), após o que passam por vários rolos de laminador que lhes vão dando a

forma final. Isso tudo garante às peças laminadas, não só um controle dimensional acurado, como também proporciona um bom acabamento superficial. Desse processo saem em geral as chapas, barras chatas, etc.

Trefilação a frio é usada para a fabricação de tubos sem costura, arames, perfis e outros. Arames são feitos a partir de hastes laminadas a quente de vários diâmetros. Essas hastes são decapadas por ácido para a remoção da crosta, mergulhadas em água de cal e secas a vapor (estufa), aí estão prontas para a trefilação. A cobertura de cal (calcáreo), aderente ao metal, serve como lubrificante para a operação de trefilação.

O tamanho da haste usada na trefilaria depende do diâmetro final desejado para o arame. Para reduzir a haste à forma desejada, faz-se a trefilação através de uma matriz. Um dos extremos da haste é afilado (limado, esmerilhado ou martelado) e introduzido pelo trefilador, onde garras serrilhadas forçam sua introdução pela matriz. Esse processo prossegue através de passagens simultâneas, por matrizes com seções cada vez menores, até a matriz final. Como o metal vai encruando após cada passagem pelo trefilador a frio, faz-se necessário o seu aquecimento, de tempos em tempos, para normalizá-lo. Embora o trefilação a frio reduza a ductilidade, é maior a resistência a tração do arame. Na fabricação de tubos sem costura para a indústria aeronáutica usa-se o processo Mannesmann.

Extrusão

A extrusão é um processo em que o metal é pressionado através de uma matriz, tomando sua forma. Alguns metais relativamente macios, como chumbo, estanho e alumínio podem ser extrudados a frio, mas geralmente os metais são aquecidos antes da extrusão, o que facilita o processo.

A principal vantagem do processo de extrusão é a sua flexibilidade. O alumínio, por causa de sua capacidade de ser trabalhado, além de outras características favoráveis, pode ser economicamente extrudado nas formas e tamanhos dos mais intrincados, o que não é verdadeiro para outros metais.

Peças extrudadas podem ser produzidas segundo perfis simples ou muito complexos. Nesse processo, um cilindro de alumínio é a-

quecido entre 400° C e 450° C (750° F e 850° F), sendo então forçado através de uma matriz, com o perfil que se deseja, por um pistão hidráulico.

Muitos componentes, como reforçadores com perfil em "T", em "Z", em "U", com lábios, especiais, etc., são obtidos dessa maneira.

METAIS FERROSOS USADOS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Diferentes tipos de metal são exigidos para reparar uma aeronave. Isso decorre com a necessidade de atender a variáveis de projeto, como resistência, peso, durabilidade, etc. Além disso, a forma específica do componente dita, às vezes, um tipo especial de metal. Na seleção de materiais para reparar uma aeronave, esses fatores, dentre outros, são considerados com relação as suas propriedades físicas e mecânicas. Entre os materiais comuns a serem encontrados, estão aqueles chamados metais ferrosos, ou seja; ligas metálicas que têm o ferro como base, e mais alguns elementos de liga, que conferem ao produto final características especiais.

Identificação

Caso o carbono seja adicionado ao ferro em percentagens até mais ou menos 1%, a liga resultante será amplamente superior ao ferro puro, sendo chamado aço-carbono. O aço-carbono forma a base daquelas ligas de aço, produzidas pela combinação de aço-carbono com outros elementos conhecidos por melhorar as propriedades do aço. A adição de outros metais muda ou melhora as propriedades químicas ou físicas do metal base para um uso particular.

Nomenclatura e composição química dos aços

A fim de facilitar a discussão sobre os aços, é necessário ter uma certa familiaridade sobre sua nomenclatura. Um índice numérico, estabelecido pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) e pela AISI (*American Iron and Steel Institute*), é usado para identificar composições químicas de aços estruturais. Nesse sistema, uma série de quatro números é usada para designar do aço-carbono até o aço de liga especial; já, cinco números, são usados para ligas específicas de aço. Os dois primeiros números indicam o tipo de aço, sendo que, o segundo

desses números, em geral (mas não obrigatoriamente) dá a quantidade aproximada do maior elemento de liga; já os dois últimos (ou três últimos) indicam a quantidade de carbono. Entretanto, um desvio da regra da indicação da porcentagem de carbono, algumas vezes acontece.

Pequenas quantidades de alguns elementos estão algumas vezes presentes em ligas de aços, mas são especificadas conforme necessário. Na verdade esses elementos são considerados acidentais e podem estar presentes em proporções máximas como se segue: cobre, 35%; níquel, 25%; cromo, 20%; e molibdênio, 0,06%. A lista de aços padronizados é alterada de tempos em tempos para acomodar aços de mérito comprovado (aceitos pela indústria) e para acomodar mudanças nos requisitos metalúrgicos e de engenharia, propostos pela indústria. Essa lista se apresenta conforme a tabela 6-62. Os elementos estruturais metálicos são fabricados de diferentes formas e dimensões, como chapas, barras, hastes, tubos, extrudados, forjados e fundidos. As chapas metálicas são feitas em grande número de tamanhos e espessuras. As especificações designam a espessura em milésimos de polegada. Barras e hastes são fornecidas numa grande variedade de formas (redondas, quadradas, retangulares, hexagonais, etc.). Os tubos têm seção quadrada, retangular, redonda, oval, etc. A especificação dos tubos é feita considerando-se o diâmetro externo e a espessura da parede. As chapas são, geralmente, conformadas a frio em prensas, rolos de laminação, calandras, etc. Os forjados são produzidos em prensas ou martelos hidráulicos, colocando-se o metal aquecido em matrizes. Os fundidos são produzidos depositando-se o metal fundido em moldes ou fôrma.

O acabamento dos fundidos é feito por usinagem mecânica. O teste das fagulhas é um método comum de identificação de vários metais ferrosos. Nesses testes, um pedaço de ferro ou aço é mantido contra um rebôlo que gira, sendo o metal identificado pelas fagulhas que são produzidas. As fagulhas variam de pequenas a curtas, até uma chuva delas.

OBS: Poucos metais não-ferrosos produzem fagulhas quando em contato com o rebôlo. Esses metais, portanto, não se prestam a esse teste. A identificação do ferro ou aço pelo tipo de fagulha é freqüentemente inexata - a menos que realizada por pessoa experiente - caso contrário, corre-se o risco de uma identificação mal feita.

Séries	Tipos	Séries	Tipos
10xx	- Aços carbono sem enxofre	10xx	- Aços carbono sem enxofre
11xx	- Aços carbono resulfurizado (não trabalhado)	11xx	- Aços carbono resulfurizado (não trabalhado)
12xx	- Aços carbono resulfurizado e refosforizado (não trabalhado)	12xx	- Aços carbono resulfurizado e refosforizado (não trabalhado)
13xx	- Manganês 1,75%	13xx	- Manganês 1,75%
*23xx	- Níquel 3,50%	*23xx	- Níquel 3,50%
*25xx	- Níquel 5,00%	*25xx	- Níquel 5,00%
31xx	- Níquel 1,25%, cromo 0,65%	31xx	- Níquel 1,25%, cromo 0,65%
33xx	- Níquel 3,50%, cromo 1,55%	33xx	- Níquel 3,50%, cromo 1,55%
40xx	- Molibidênio 0,20 ou 0,25%	40xx	- Molibidênio 0,20 ou 0,25%
41xx	- Cromo 0,50 ou 0,95, Molibidênio 0,12 ou 0,20%	41xx	- Cromo 0,50 ou 0,95, Molibidênio 0,12 ou 0,20%
43xx	- Níquel 1,80%, cromo 0,50 ou 0,80%, molibidênio 0,25%	43xx	- Níquel 1,80%, cromo 0,50 ou 0,80%, molibidênio 0,25%
44xx	- Molibidênio 0,40%	44xx	- Molibidênio 0,40%
45xx	- Molibidênio 0,52%	45xx	- Molibidênio 0,52%
46xx	- Níquel 1,80%, molibidênio 0,25%	46xx	- Níquel 1,80%, molibidênio 0,25%
47xx	- Níquel 1,05%, cromo 0,45%, Molibidênio 0,20 ou 0,35%	47xx	- Níquel 1,05%, cromo 0,45%, Molibidênio 0,20 ou 0,35%
48xx	- Níquel 3,50%, Molibidênio 0,25%	48xx	- Níquel 3,50%, Molibidênio 0,25%
50xx	- Cromo 0,25 ou 0,40 ou 0,50%	50xx	- Cromo 0,25 ou 0,40 ou 0,50%

* Não incluídos na relação de aços padronizados.

Figura 6-62 Índice numérico SAE

Ferro forjado produz fagulhas longas - cor de palha esmaecida, junto da pedra, e brancas na extremidade. Ferro fundido produz fagulhas vermelhas junto à pedra que se esmaecem, tomando cor de palha na extremidade.

Aumentando-se o teor de carbono no aço, aumentam as ramificações das fagulhas, tornando-se brancas em suas extremidades. Aços com níquel produzem fagulhas com centelhas brancas brilhantes no seu interior.

Tipos, características e usos das ligas de aço

Aço contendo carbono na faixa de 0,10% a 0,30% é chamado de aço de baixo carbono. Pela classificação SAE/AISI seria entre aço 1010 e 1030. Aços com esse teor de carbono são usados para a fabricação de arame de freio, algumas porcas, embuchamento de cabos e extremidades de hastes rosqueadas. Esse tipo de aço, na forma de chapa, é usado em estruturas secundárias e braçadeiras, e, na forma de tubos, para componentes estruturais, moderadamente tensionadas.

Aços contendo carbono na faixa de 0,30% a 0,50% é chamado de aço de médio carbono. Esse aço é especialmente adaptado para usinagem ou forjaria, onde a dureza superficial é desejável. Algumas extremidades de hastes e forjados leves são feitos de aço S.A.E. 1035.

Aços contendo carbono na faixa de 0,50% a 1,05% são classificados como aço de alto carbono. A adição de outros elementos em quantidade variável aumenta a dureza desses aços. Sendo plenamente tratados a quente tornam-se muito duros, resistindo a elevados esforços de cisalhamento e ao desgaste, deformando-se muito pouco. Aços SAE 1095, na forma de chapas, são usados como lâminas de feixes de molas; na forma de arames, são usados para molas helicoidais.

Os vários aços ao níquel são produzidos pela combinação de níquel com aço carbono. Aços contendo 3% a 3,75% de níquel são comumente usados.

O níquel aumenta a dureza, a resistência à tração e o limite de elasticidade do aço, sem apreciável diminuição de ductilidade. Também

intensifica o efeito de endurecimento causado pelo tratamento térmico. Aços SAE 2330 são extensivamente usados para componentes de aeronaves, como parafusos, terminais, pinos, orelhas, etc.

Aço-cromo tem elevada dureza e resistência à corrosão, sendo particularmente indicado para tratamento a quente de forjados, os quais exigem mais dureza e resistência. Pode ser usado como esferas ou roletes de rolamentos.

Aço cromo-níquel ou aço inoxidável são resistentes à corrosão. O grau de resistência à corrosão é determinado pelas condições da superfície do metal, assim como pela composição, temperatura e concentração do agente corrosivo.

O principal elemento de liga do aço inoxidável é o cromo. O aço resistente à corrosão mais freqüentemente usado na construção aeronáutica é conhecido como 18-8, justamente por conter 18% de cromo e 8% de níquel. Uma das características distintas do aço inoxidável 18-8, é que ele só pode ser endurecido por trabalhos a frio (não pega têmpera).

Aço inoxidável pode ser laminado, trefilado, dobrado ou moldado em qualquer forma. Uma vez que esses aços têm um coeficiente de expansão térmica 50% maior que o aço comum, conduzem o calor com 40% menos rapidez que esses mesmos aços comuns, são conseqüentemente mais difíceis de serem soldados. Algumas das aplicações mais comuns dos aços inoxidáveis são: os coletores de exaustão, os dutos de admissão, peças estruturais e usinadas, molas, fundidos, tirantes e cabos de controle.

O aço cromo-vanádio é produzido com aproximadamente 18% de vanádio e 1% de cromo. Quando tratado a quente torna-se resistente, endurecido - além de resistente ao uso e à fadiga. Um tipo especial desse aço em forma de chapa, pode ser conformado a frio em formas complicadas. Pode ser dobrado sem sinais de quebra ou falha. O aço SAE 6150 é usado na fabricação de molas; já o aço SAE 6195 é usado para rolamentos de esferas ou roletes.

O molibdênio em pequenas porcentagens é usado, em combinação com o cromo, para formar o aço-cromo-molibdênio, o qual tem vários usos em aviação. O molibdênio é um elemento de liga forte. Ele alcança os limites finais de resistência do aço sem afetar a ductilidade e a maleabilidade.

Os aços-molibdênio são duros e resistentes ao desgaste, sendo mais endurecidos quando

tratados a quente. São especialmente adaptáveis à soldagem e, por essa razão, são usados principalmente para componentes e montagens estruturais soldadas.

Esse tipo de aço tem praticamente substituído os aços-carbonos na fabricação de tubos para estrutura de fuselagem, berços de motor, trem de pouso, dentre outras partes estruturais. O aço SAE X4130, tratado a quente, é aproximadamente quatro vezes mais forte que um aço SAE 1025 de mesmas dimensões.

O tipo de aço cromo molibdênio mais usado na construção aeronáutica possui carbono entre 0,25% e 0,55%, molibdênio entre 0,15% e 0,25% e cromo entre 0,50% e 1,10%. Esses aços, quando convenientemente tratados ficam profundamente endurecidos, facilmente usináveis, rapidamente soldáveis, tanto por solda elétrica quanto oxiacetilênica, além de serem aptos para trabalharem em ambiente com temperatura elevada.

O INCONEL é uma liga de níquel-cromo-ferro com aparência bem próxima ao aço inoxidável. Posto serem essas duas ligas muito parecidas, faz-se freqüentemente necessário um teste para diferenciá-las.

Um dos métodos usuais de identificação é a utilização de uma solução de 10 gramas de cloreto cúprico em 100 centímetros cúbicos de ácido hidrolórico.

Com um conta-gotas, colocamos uma gota da solução em uma amostra de cada metal a ser testado, deixando permanecer por dois minutos.

Findo esse tempo, vagorosamente diluimos essa gota com 3 ou 4 gotas de água, pingadas uma a uma; após, as amostras são lavadas e secadas. Caso a amostra seja de aço inoxidável, o cobre da solução do cloreto cúprico ficará depositado na amostra, deixando uma mancha característica (cor de cobre). Caso a amostra seja de INCONEL, aparecerá uma mancha diferente.

A resistência à tração do INCONEL normalizado é de 100.000 p.s.i. (libras por polegada quadrada); quando laminado a frio, 125.000 p.s.i.

É altamente resistente à água salgada e é capaz de suportar temperaturas da ordem de 870° C (1600° F). O INCONEL é facilmente soldável e tem características de utilização bastante semelhantes àquelas dos aços resistentes à corrosão.

METAIS NÃO FERROSOS DE UTILIZAÇÃO AERONÁUTICA

O termo "não ferroso" se refere a metais que tenham outros elementos, que não o ferro, como base da liga ou como principal constituinte. Esse grupo inclui metais como alumínio, titânio, cobre e magnésio, bem como ligas metálicas como *MONEL* e *BABBIT*.

Alumínio e ligas de alumínio

O alumínio comercialmente puro é um metal branco, lustroso, que ocupa o segundo lugar na escala de maleabilidade; sexto em ductilidade, e uma boa posição em resistência à corrosão.

Ligas de alumínio, nas quais o principal ingrediente seja o magnésio, o manganês, o cromo ou o silício, apresentam alguns desgastes em ambientes corrosivos. Já ligas com consideráveis percentagens de cobre são mais susceptíveis ao ataque corrosivo. A percentagem total de ingredientes nas ligas de alumínio é da ordem de 6% a 7% (em média).

O alumínio é um dos metais mais largamente usados na construção aeronáutica. Tornou-se vital na indústria aeronáutica por causa de sua alta resistência em relação ao peso, bem como sua facilidade de manuseio. A característica que sobressai no alumínio é a sua leveza. O alumínio se funde a uma temperatura relativamente baixa 650° C (1250° F). É um metal não magnetizável e um excelente condutor (térmico e elétrico).

O alumínio comercialmente puro tem uma resistência à tração de cerca de 13.000 p.s.i., mas se sofrer processo de conformação a frio, sua resistência pode ser dobrada. Quando ligado a outros elementos, ou sofrendo tratamento térmico, a resistência à tração pode subir até 65.000 p.s.i., ou seja, na mesma faixa do aço estrutural.

As ligas de alumínio, embora resistentes, são facilmente trabalhadas, porque são maleáveis e dúcteis. Podem ser laminadas em chapas até 0,0017 de polegada ou trefiladas em arames de 0,004 de polegada em diâmetro. A maioria das chapas de liga de alumínio em estoque usadas na construção aeronáutica, situa-se na faixa de 0,016 a 0,096 de polegada de espessura; entretanto, muitas das grandes aeronaves, usam chapas de até 0,356 de polegada.

Os vários tipos de alumínio podem ser divididos em duas classes gerais: (1) ligas de fundição (aquelas indicadas para fundição em areia, molde permanente ou fundição sob pressão); (2) ligas de forjaria (aquelas que podem ser conformadas por laminação, trefilação ou forjaria). Desses dois tipos, os mais largamente usados são as ligas de forjaria, principalmente sob a forma de longarinas, revestimentos, suportes, rebites e seções extrudadas.

Ligas de fundição de alumínio são divididas em dois grupos básicos. No primeiro; as propriedades físicas das ligas são determinadas pelos ingredientes da liga e não podem ser mudadas após a fundição do metal.

No segundo; os ingredientes permitem sua mudança através de tratamento térmico do fundido, para se obter propriedades físicas desejadas.

As ligas de fundição são identificadas por uma letra, precedendo o número de classificação da liga. Quando uma letra preceder um número, isso significa uma ligeira variação na composição da liga original. Essa variação na composição é simplesmente para destacar alguma qualidade desejável. Na liga de fundição 214, por exemplo, a adição de zinco para melhorar suas qualidades deficientes é indicada pela letra A, em frente ao número de classificação, passando sua designação a A 214.

Quando os fundidos forem tratados a quente, o tratamento térmico e a composição do fundido é indicada pela letra T, seguida pelo número de classificação da liga. Um exemplo disso é a liga de fundição 355, a qual tem várias composições e tratamentos diferentes, e é designada por 355-T6, 355-T51 ou C355-T51.

Ligas de alumínio de fundição são produzidas por um dos seguintes três métodos: (1) moldagem em areia; (2) molde permanente; e (3) fundição sob pressão. Na fundição do alumínio deve ser levado em conta que, na maioria dos casos, diferentes tipos de ligas são usadas em diferentes processos de fundição.

Na fundição em areia ou molde permanente as peças são produzidas derramando-se metal fundido em um molde previamente preparado, permitindo que o metal se solidifique logo após a peça é removida. Se o molde é feito de areia, a fundição é dita "em areia"; se o molde é metálico (geralmente de ferro fundido), a fundição é dita "em molde permanente". Fundição em areia ou molde permanente, são pro-

duzidos, colocando-se o metal líquido na fôrma ou molde pela ação da gravidade.

Os dois tipos mais usuais de ligas fundidas em areia são a 112 e a 212. Há pouca diferença entre ambas, do ponto de vista mecânico, posto que ambas são adaptáveis a uma vasta gama de produtos.

O processo de fundição em molde permanente é um desenvolvimento atual do processo de fundição em areia, sendo que a diferença básica entre ambos é o material do molde. A vantagem desse método é que a porosidade superficial (rugosidade) é diminuída em relação ao uso do molde de areia. A areia e o elemento de ligação, entre os seus grãos (que mantém rígida a fôrma de areia) libera uma certa quantidade de gás quando o metal, à alta temperatura, penetra pelo molde, causando a porosidade.

Os fundidos em molde permanente são usados para se obter melhores propriedades mecânicas, melhor acabamento superficial ou dimensões mais acuradas. Há dois tipos de fundição em molde permanente: (1) o molde metálico permanente com suas partes internas também em metal; e (2) aqueles com molde metálico permanente externo com miolo em areia. Uma vez que estruturas cristalinas com grãos mais finos (menores) são produzidas, quando o resfriamento é mais rápido, os fundidos em molde permanente são de melhor qualidade. As ligas 122, A132 e 142 são comumente usadas em moldes permanentes, sendo o seu principal emprego, algumas peças internas dos motores a combustão.

Os fundidos sob pressão, usados em aviação, são geralmente, ligas de alumínio ou magnésio. Se o peso for de importância principal, dá-se preferência às ligas de magnésio, por serem mais leves que as ligas de alumínio. Entretanto, as ligas de alumínio são freqüentemente usadas por serem, em geral, mais resistentes que as de magnésio.

A fundição sob pressão é produzida forçando-se o metal líquido, sob pressão, para dentro de um molde metálico, permitindo que então se solidifique; após então, o molde é aberto e a peça separada.

A diferença básica, entre os fundidos sob pressão e os fundidos em molde permanente, é justamente o fato, em que no primeiro caso, o metal será pressionado para dentro do molde; ao passo que no segundo caso, o metal líquido fluirá por gravidade.

Os forjados de alumínio e de ligas de alumínio são divididos em duas classes gerais - aqueles que podem ser tratados termicamente e aqueles que não podem.

Nas ligas, que não se pode tratar termicamente as propriedades mecânicas, são melhoradas por trabalhos a frio. Quanto mais trabalhadas a frio (laminadas, trefiladas, extrudadas, etc.) após a normalização, melhores, em geral, ficam suas propriedades. Entretanto, aquecendo-se essas ligas até determinadas temperaturas, e após, normalizando-as, as melhoras introduzidas pelo trabalho a frio se perdem, e somente por novo trabalho a frio é possível recuperá-las. O endurecimento máximo depende da maior capacidade de trabalho a frio que possa ser praticado economicamente. O metal (liga) entregue em forma de barras, chapas, perfis, etc. partiu de um lingote e, dependendo de sua espessura, houve variável trabalho a frio, o que torna variável a melhora em suas propriedades.

Para o tratamento térmico das ligas de alumínio, as propriedades mecânicas são melhoradas a uma temperatura conveniente, mantendo-se a liga nessa temperatura, por determinado período de tempo, para se permitir que os componentes da liga se misturem em solução sólida, após o que a temperatura é rapidamente baixada, mantendo-se esses componentes em solução.

O metal é deixado em um estado supersaturado, instável, sendo então endurecido por envelhecimento natural a temperatura ambiente, ou então, envelhecido artificialmente em temperatura elevada.

Designação das ligas de alumínio

Alumínio ou ligas de alumínio trabalhadas (laminadas, forjadas, extrudadas, etc.) são designadas por um sistema de índices de quatro dígitos, sendo esse sistema dividido em três grupos distintos: o grupo 1xxx, o grupo 2xxx até 8xxx e o grupo 9xxx, sendo este último não usado até o presente.

O primeiro dígito é usado para identificar o tipo da liga; já o segundo dígito indica uma modificação específica da liga, que se for zero irá indicar que não houve controle especial sobre impurezas.

Dígitos de um ao nove, como segundo dígito, indica o número de controles sobre as impurezas no metal.

Os últimos dois dígitos do grupo 1xxx são usados para indicar, em centésimos de 1% acima dos originais 99% (de alumínio puro) designado pelo primeiro dígito. Assim, se os últimos dois dígitos forem 30, por exemplo, a liga poderá conter 99% mais 0,30% de alumínio puro, ou seja, 99,30%. Alguns exemplos seguem sobre esse grupo:

1100 - 99,00% de alumínio puro com um controle sobre impurezas individuais.

1130 - 99,30% de alumínio puro com um controle sobre impurezas individuais.

1275 - 99,75% de alumínio puro com dois controles sobre impurezas individuais.

No grupo que vai de 2xxx até 8xxx, o primeiro dígito indica o elemento de maior proporção na liga, conforme a convenção abaixo:

2xxx - cobre

3xxx - manganês

4xxx - silício

5xxx - magnésio

6xxx - magnésio e silício

7xxx - zinco

8xxx - outros elementos

Nesse grupo, de 2xxx a 8xxx, o segundo dígito indica modificações na liga, a menos que esse dígito seja 0, pois nesse caso a liga é a original. Os últimos dois dígitos identificam as diferentes ligas do grupo. (Figura 6-63).

Efeito dos elementos de liga

SÉRIE 1000 - 99% ou maior. Excelente resistência à corrosão, elevada condutividade térmica e elétrica, propriedades mecânicas, excelente capacidade de ser trabalhado, sendo o ferro e o silício as impurezas predominantes.

SÉRIE 2000 - O cobre é o principal elemento de liga. Instável a quente, propriedades ótimas equivalendo ao aço doce, pouca resistência à corrosão se não for cladeada (*cladding*). Geralmente é cladeada com liga 6000 ou

de maior pureza. Dessa série a mais conhecida é a 2024.

SÉRIE 3000 - O manganês é o principal elemento de liga. Não é tratável a quente (geralmente). A percentagem de manganês que começa a dar características especiais à liga é de 1,5%.

A liga mais comum dessa série é a 3003, que tem resistência moderada e boa capacidade de ser trabalhada.

SÉRIE 4000 - O silício é o principal elemento de liga, o que reduz sua temperatura de fusão. Seu principal uso é na soldagem. Quando usada na soldagem de ligas termicamente tratáveis, a solda vai responder pelo limitado desempenho desse tratamento a quente.

SÉRIE 5000 - O magnésio é o principal elemento de liga. Tem boas características de soldabilidade e resistência à corrosão. Altas temperaturas (acima de 65° C ou 150° C) ou trabalhos a frio excessivos irão aumentar sua susceptibilidade à corrosão.

SÉRIE 6000 - O silício e o magnésio formam um composto (silicato de magnésio) que faz com que a liga seja termicamente tratável. Tem resistência média, boa capacidade de ser conformado, além de resistência à corrosão. A mais popular é a liga 6061.

SÉRIE 7000 - O zinco é o principal elemento da liga. Quando associado ao magnésio resulta numa liga tratável termicamente, de resistência muito elevada. Geralmente, há cobre e cromo adicionados. A principal liga desta série é a 7075.

Identificação de dureza

Quando usada, a designação do endurecimento segue a designação da liga e é separada por um traço. Exemplo: 7075-T6, 2024-T4, etc.

A designação do endurecimento consiste de uma letra indicando o endurecimento básico, o qual pode ser mais especificamente definido pela adição de um ou mais dígitos.

Liga	Porcentagem dos elementos da liga O remanescente é constituído de alumínio e impurezas normais								
	Cobre	Silício	Manganês	Magnésio	Zinco	Níquel	Cromo	Chumbo	Bismuto
1100	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3003	.....	.....	1.2	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2011	5.5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.5	0.5
2014	4.4	0.8	0.8	0.4	.....	.....	.....	.....	.....
2017	4.0	.....	0.5	0.5	.....	.....	.....	.....	.....
2117	2.5	.....	.....	0.3	.....	.....	.....	.....	.....
2018	4.0	.....	.....	0.5	.....	2.0	.....	.....	.....
2024	4.5	.....	0.6	1.5	.....	.....	.....	.....	.....
2025	4.5	0.8	0.8	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4032	0.9	12.5	.....	1.0	.....	0.9	.....	.....	.....
6151	.....	1.0	.....	0.6	.....	.....	0.25	.....	.....
5052	.....	.....	.....	2.5	.....	.....	0.25	.....	.....
6053	.....	0.7	.....	1.3	.....	.....	0.25	.....	.....
6061	0.25	0.6	.....	1.0	.....	.....	0.25	.....	.....
7075	1.6	.....	.....	2.5	5.6	.....	0.3	.....	.....

Figura 6-63 Composição nominal das ligas de alumínio.

Essas designações são as seguintes:

- F. como saídas da fábrica.
- O. normalizada, recristalizada (somente produtos trabalhados a frio).
- H. endurecido por trabalho a frio.
- H1. endurecido por trabalho a frio somente (pode ter um ou mais dígitos).
- H2. endurecido por trabalho a frio e parcialmente normalizado (pode ter um ou mais dígitos).
- H3. endurecido por trabalho a frio e estabilizado (pode ter um ou mais dígitos).

OBS: O dígito que segue H1, H2 ou H3 indica o grau de deformação a frio e conseqüente endurecimento.

O dígito "0" indica o estado de recozimento (normalização) pleno.

O dígito "8" representa a máxima resistência a tração possível, após o trabalho a frio.

Identificação do tratamento térmico

Na sua forma acabada (trabalhada a frio), o alumínio comercialmente puro é conhecido como 1100. Tem alto índice de resistência à corrosão e é facilmente conformado em formas

complicadas. Tem resistência relativamente baixa e não tem as propriedades necessárias para ser componente estrutural de uma aeronave. Altas ligas resultantes têm mais dificuldade em serem conformadas (com algumas exceções) e têm menor resistência à corrosão que o alumínio 1100.

A utilização de ligas (a inserção de outros elementos) não é o único método de aumentar a resistência do alumínio.

Como outros materiais metálicos, o alumínio torna-se mais forte e mais duro quanto mais for laminado, conformado, etc, ou seja, trabalhado a frio. Uma vez que a dureza depende do trabalho a frio realizado, a série 1100 (e algumas outras séries) pode ser encontrada em vários graus de dureza. A condição normalizada é indicada por "0". Caso seja endurecido por trabalho a frio, sua condição é indicada por "H".

As ligas mais amplamente usadas na construção aeronáutica são endurecidas, mais por tratamento térmico, que por trabalhos a frio.

Essas ligas são designadas por símbolos um pouco diferentes: "T4" e "W" indicam solução (sólido) tratada a quente e temperada, mas não envelhecida, e "T6" indica uma liga endurecida por tratamento a quente.

W. Solução (sólida) tratada a quente, endurecimento instável.

T. Tratado para produzir endurecimento estável, outros que não F, Q ou H

T2 - Normalizado (somente para produtos forjados).

T3 - Solução (sólida) tratada a quente e, após, trabalhada a frio.

T4 - Solução (sólida) tratada a quente.

T5 - Somente envelhecida artificialmente.

T6 - Solução (sólida) tratada a quente e, após artificialmente envelhecida.

T7 - Solução (sólida) tratada a quente e, então estabilizada.

T8 - Solução (sólida) tratada a quente, trabalhada a frio e, então, envelhecida artificialmente.

T9 - Solução (sólida) tratada a quente, artificialmente envelhecida e, então, trabalhada a frio.

T10 - Artificialmente envelhecida e, então, trabalhada a frio.

Dígitos adicionais podem ser adicionados do T1 até o T10 para indicar a variação no tratamento, o qual significativamente altera as características do produto.

Na forma industrial (já trabalhada a frio) as chapas de ligas de alumínio comercializadas são marcadas com o número da especificação em cada pé quadrado (ft²) do material.

Se por acaso não constar essa identificação, é possível identificar-se uma liga, termicamente tratada, de outra que não tenha recebido tratamento térmico, imergindo-se uma amostra do material em uma solução de soda cáustica (hidróxido de sódio) a 10% (em massa).

Aquela que foi tratada termicamente, porque em geral possui cobre, vai ficar preta, enquanto as outras (por não possuírem cobre) continuam brilhantes.

No caso de material cladeado (*cladding*) sua superfície se mantém brilhante, mas olhando-se nos bordos, verificar-se á que os mesmos possuem uma camada interna preta.

Alumínio cladeado (*cladding*)

Os termos "*ALCLAD*" e "*PURECLAD*" são usados para designar chapas que consistem numa chapa interna de liga de alumínio, ensan-

duichada por duas chapas com espessura de 5,5% da espessura da chapa do miolo.

As chapas de alumínio puro proporcionam uma dupla proteção ao miolo, evitando, o contato com qualquer agente corrosivo, e protegendo o miolo eletroliticamente contra algum ataque causado por arranhões ou outras matérias abrasivas.

Titânio e ligas de titânio

O titânio foi descoberto por um religioso inglês chamado *Gregot*. Porém, o primeiro método comercial de produção do titânio metálico, a partir de seu minério, só ocorreu em 1925.

O Bureau de Minas dos Estados Unidos começou a produzir esponja de titânio em 1946, sendo que só após 4 anos começou sua fundição efetiva.

O emprego do titânio é muito abrangente. É usado em muitos empreendimentos comerciais e sua demanda tem aumentado muito, especialmente para bombas e outros itens sujeitos a ambientes corrosivos.

Na construção ou reparo de aeronaves, o titânio é usado no revestimento de fuselagens, carenagens de motores, paredes de fogo, longarinas, estruturas primárias, reforçadores, elementos de fixação e dutos de ar.

O titânio é usado para a fabricação de discos de compressores, anéis de espaçamento (de motor), palhetas do compressor (as fixas e as do disco), alojamento das turbinas e mais uma vintena de pequenas peças do motor.

A aparência do titânio é a mesma do aço inoxidável. Um método rápido usado para identificar o titânio é o teste da centelha ou fagulha.

Raspado no esmeril, o titânio solta uma fagulha branca, brilhante, sendo que a parte final dessa chispa espouca em várias pequenas fagulhas brancas e brilhantes.

É também possível sua identificação, umedecendo o titânio, usando-o para traçar uma linha sobre um pedaço de vidro. Sendo titânio, ficará uma linha escura semelhante a um traço de pincel.

Em termos de elasticidade, densidade e resistência à temperatura elevada, o titânio se situa entre o alumínio e o aço inoxidável. Tem um ponto de fusão entre 1500° C (2730° F) e 1730° C (3155° F) baixa condutividade térmica e pequeno coeficiente de expansão. É aproxi-

madamente 60% mais pesado que o alumínio e cerca de 50% mais leve que o aço inoxidável.

Por causa do seu alto ponto de fusão, suas propriedades em altas temperaturas são desastrosas.

O limite máximo de resistência do titânio cai rapidamente acima de 430° C (800° F). A absorção de oxigênio e nitrogênio do ar em temperaturas acima de 540° C (1000° F) fazem o metal tão quebradiço (após um relativamente longo intervalo de tempo) que cedo ele se torna incapaz de ser trabalhado. Entretanto, se a exposição for breve, o titânio pode ser exposto até 1650° C (3000° F) sem significativa perda de resistência.

Essa é uma característica que atende aos requisitos para paredes de fogo das aeronaves.

O titânio não é magnetizável e sua resistência elétrica é comparável a do aço inoxidável. Algumas das principais ligas de titânio são bastante duras.

O tratamento térmico ou emprego de ligas não desenvolve características de dureza na mesma proporção que as ligas de aço. Foi só recentemente que uma liga de titânio, tratada termicamente, foi desenvolvida.

Antes do desenvolvimento dessa liga, o aquecimento e a laminação eram os únicos métodos de conformação que poderiam ser realizados. Entretanto, é possível produzir-se uma nova liga maleável nas condições ambientais e endurecê-las por tratamento térmico.

Ferro, molibdênio e cromo são usados para estabilizar o titânio e produzir ligas que serão endurecidas por têmpera ou envelhecimento. A adição desses metais também adiciona ductilidade.

A resistência a fadiga do titânio é maior que a do aço ou do alumínio. O titânio torna-se mais macio quanto maior for o seu grau de pureza. Não é, porém, um procedimento prático a distinção entre os vários graus de titânio, comercialmente puro, ou sem liga, através de análise química; mais fácil é fazê-lo através de suas propriedades mecânicas.

Designações do titânio

A classificação A-B-C das ligas do titânio foi estabelecida para dar um conveniente e simples método, para descrever todas as ligas de titânio. O titânio e suas ligas possuem três tipos

básicos de cristais: A (alfa), B (beta) e C (combinação de alfa e beta). Suas características são:
A (alfa) - Bom desempenho geral, boa soldabilidade; resistente e forte, tanto frio quanto quente; resistente à oxidação.

B (beta) - flexibilidade; excelente ductilidade em flexão; forte, tanto frio quanto quente, porém vulnerável à contaminação.

C (combinação entre alfa e beta, com relação ao desempenho) - forte quando frio ou morno, porém fraco quando quente, boa flexibilidade, moderada resistência à contaminação; excelente forjabilidade.

O titânio é fabricado para propósitos comerciais em duas composições básicas: titânio comercialmente puro e liga de titânio. A-55 é um exemplo de uma liga de titânio comercialmente puro.

Tem um limite de resistência de 55.000 a 80.000 p.s.i. e é de emprego geral para conformação de moderada a severa. É, algumas vezes, usado para componentes não-estruturais da aeronave e para todos os tipos de aplicações, onde se faça necessário a resistência à corrosão, como em tubulações.

O tipo A-70 é intimamente relacionado ao tipo A-55 (anteriormente descrito), mas tem um limite de resistência entre 70.000 e 95.000 p.s.i. É usado onde a máxima resistência é requerida e é especificado para componentes da aeronave moderadamente solicitados. Para aplicações onde se pressupõe que haja corrosão, é feita uma substituição pelo A-55. Tanto o A-55 quanto o A-70 são soldáveis.

Uma das ligas à base de titânio mais amplamente utilizadas é chamada de C-110M. É utilizada para componentes da estrutura primária e revestimento da aeronave, tendo seu limite de resistência da ordem de 110.000 p.s.i. Contém 8% de manganês.

Tipo A-110 AT é uma liga que contém 5% de alumínio e 2,5% de estanho. Tem um elevado limite de resistência em elevadas temperaturas, com as excelentes características de soldabilidade, típicas das ligas tipo A (alfa).

Características em relação à corrosão

A resistência à corrosão do titânio merece uma especial atenção. A resistência do metal à corrosão decorre da formação de um filme

de proteção de óxido estável ou de oxigênio quimicamente absorvido. Esse filme é normalmente produzido pela presença de oxigênio e de agentes de oxidação.

A corrosão do titânio é uniforme. Há pouca evidência da formação de orifícios ("*pitting*") ou de uma outra forma séria de corrosão localizada. Normalmente, é imune à corrosão sob tensão fraturante, corrosão em fadiga, corrosão intergranular ou corrosão galvânica. Sua resistência à corrosão é igual ou superior a do aço inoxidável 18-8.

Testes de laboratório com soluções ácidas e salinas mostram que o titânio rapidamente se polariza. O efeito global, em geral, e a diminuição do fluxo de corrente em células galvânicas e de corrosão.

Correntes de corrosão na superfície do titânio e pares metálicos são naturalmente restritos. Nisso, particularmente, deve ser considerada a boa resistência a muitos produtos químicos; pode ser também usado com metais diferentes sem nenhum efeito danoso em ambos.

Cobre e ligas de cobre

O cobre é um dos metais de mais vasta gama de emprego. É o único de cor avermelhada e o de melhor condutividade elétrica, após a prata. Seu emprego, como elemento estrutural, é limitado por sua densidade relativamente elevada. Entretanto, algumas de suas características de destaque, como as condutividades térmicas e elétrica, compensam o fator peso.

Sendo muito dúctil e maleável, o cobre é ideal para a confecção de fios e arames. É corroído por água salgada, mas não é afetado por água doce. A resistência máxima à tração, do cobre, varia muito. Para o cobre fundido, a resistência à tração é de 25.000 p.s.i., enquanto para o cobre laminado ou extrudado a resistência à tração sobe para uma faixa de 40.000 p.s.i. a 67.000 p.s.i.

Na construção aeronáutica, o cobre é usado, principalmente nos sistemas elétricos, para barras de ligações elétricas, conectores e arames de freio.

A principal liga de cobre é feita com o berílio. É de desenvolvimento relativamente recente contendo, cerca de 97% de cobre, 2% de berílio e níquel.

A principal característica dessa liga é a de que suas propriedades físicas podem ser am-

plamente melhoradas através do tratamento térmico, subindo a resistência à tração de 70.000 p.s.i., com o metal normalizado, até à 200.000 p.s.i. com tratamento térmico. A resistência da liga à fadiga e ao desgaste, fazem dela, conveniente para a confecção de diafragmas, rolamentos e buchas de precisão, gaiolas das esferas e molas de pressão.

Latão é uma liga de cobre contendo zinco e uma pequena quantidade de alumínio, ferro, chumbo, manganês, níquel, fósforo e estanho. Latão contendo 30% a 35% de zinco é muito dúctil, mas se essa percentagem subir para 45%, sua resistência aumenta bastante.

O metal MUNTZ é o latão contendo 60% de cobre 40% de zinco. Tem qualidades excelentes de resistência à corrosão na água salgada. Sua resistência é aumentada por tratamento térmico.

Quando fundida essa liga tem resistência limite à tração de 50.000 p.s.i. e pode sofrer um alongamento de 18%. É usada na fabricação de parafusos e porcas, assim como de componentes que venham a ter contato com a água salgada.

O latão vermelho, algumas vezes chamado de bronze por causa do seu teor de estanho, é usado em braçadeiras das linhas de combustível e óleo. Esse metal presta-se bem a fundição, com bom acabamento, dispensando, algumas vezes, a usinagem.

Os bronzes são ligas de cobre contendo estanho. Os bronzes verdadeiros têm até 25% de estanho, mas aqueles com menos de 11% são mais utilizáveis, especialmente para braçadeiras de tubos.

Entre as ligas de cobre estão as ligas de cobre-alumínio, das quais os bronzes ao alumínio são de grande uso em aviação. Teria uma maior utilização em estruturas, se não fosse a relação peso-resistência comparada com ligas de aço.

Bronzes de alumínio trabalhados a frio são quase tão fortes e dúcteis como o aço de médio carbono, além de possuir elevada resistência à corrosão por ar, água salgada e produtos químicos. São facilmente forjáveis, lamináveis a quente ou a frio, sendo que algumas reagem favoravelmente ao tratamento térmico.

Essas ligas de cobre contêm até 16% de alumínio (entre 5% e 11%, normalmente), a qual outros metais, como o ferro, o níquel ou o manganês, podem ser adicionados.

Os bronzes ao alumínio têm qualidades, como resistência à ruptura, grande resistência à tração, dureza, além de resistir bem a impactos e à fadiga. Graças a essas qualidades, esses bronzes são utilizados na fabricação de diafragmas, engrenagens e bombas.

Os bronzes ao alumínio são disponíveis em hastes, barras, placas, chapas, tiras e forjados.

Bronze ao alumínio fundido, formado de 89% de cobre, 9% de alumínio e 2% de outros elementos, tem alta resistência à tração, além de ductilidade, resistência à corrosão, aos impactos e à fadiga.

Graças a essas características, bronzes ao alumínio fundidos são usados como embuchamento e componentes de bombas. Têm também aplicação em meios agressivos, como água salgada e gases corrosivos.

Bronze ao manganês tem resistência à tração excepcionalmente elevada, flexibilidade e resistência à corrosão.

É uma liga que pode ser conformada, laminada ou extrudada em qualquer forma. É geralmente usado na fabricação de engrenagens e outros componentes do sistema de trem de pouso.

Bronze-silício é um desenvolvimento relativamente recente, composto de 95% de cobre, 3% de silício, além de manganês, ferro, zinco, estanho e alumínio.

Embora não seja propriamente um bronze (considerando a pequena quantidade de estanho), o bronze-silício tem elevada resistência à tração e à corrosão.

Monel

O MONEL, a principal liga tendo por metal base o níquel, combina as propriedades desse metal de alta resistência, à tração com excelente resistência à corrosão. Essa liga consiste de 68% de níquel, 29% de cobre, 0,2% de ferro, 1% de manganês e 1,8% de outros elementos. Não pode ser endurecida por tratamento térmico.

O MONEL pode ser fundido, trabalhado a quente e a frio, podendo também ser soldado. O seu emprego, quanto às suas características mecânicas, equivale ao aço.

Quando forjado e normalizado tem resistência à tração de 80.000 p.s.i. Esse valor pode ser aumentado, por trabalho a frio, para 125.000

p.s.i., suficiente para ser qualificado como uma liga flexível.

O MONEL tem sido utilizado com sucesso para engrenagens e correntes para operar trens de pouso retráteis e para componentes estruturais sujeitos à corrosão.

Em aviação, o MONEL é usado para componentes submetidos a esforços que exijam resistência à tração e à corrosão, como dutos de exaustão, além de partes de carburadores, como válvulas de agulha (dosadores), etc.

K - Monel

O K-MONEL é uma liga não-ferrosa, contendo principalmente níquel, cobre e alumínio. É produzida pela adição de uma pequena quantidade de alumínio à formulação do MONEL. É resistente à corrosão e capaz de ser endurecido por tratamento térmico.

O K-MONEL tem sido usado com sucesso em engrenagens e componentes estruturais de aeronaves que sejam sujeitos a ataques corrosivos. É uma liga não-magnetizável, qualquer que seja a temperatura a ser exposta. Chapas de K-MONEL podem ser soldadas com sucesso, tanto por solda elétrica, quanto por solda oxi-acetilênica.

Magnésio e ligas de magnésio

O magnésio, o metal estrutural mais leve que existe, é um metal cor prata esbranquiçada que pesa só dois terços do que pesaria uma peça de alumínio de mesmas dimensões. O magnésio não possui suficiente resistência para fins estruturais em seu estado puro, porém pode ser ligado ao zinco, alumínio ou manganês, produzindo ligas de altíssima relação resistência/peso, inigualável, comparativamente aos metais comumente usados.

O magnésio é, provavelmente, o mais largamente distribuído pela natureza, que qualquer outro metal. Pode ser obtido de minérios, como a dolomita e a magnesita, ou da água do mar, salmouras e soluções usadas de potassa. Uma milha cúbica de água do mar contém 10 milhões de libras de magnésio.

Algumas das aeronaves empregadas hoje em dia chegam a empregar meia tonelada, para ser utilizado numa centena de pontos vitais. Alguns painéis das asas são inteiramente fabricados de ligas de magnésio, pesando 18% menos

que os painéis de alumínio, tendo voado muitas horas sem problemas. Entre os componentes de uma aeronave que são fabricados com magnésio com substancial redução de peso, estão: portas do alojamento da bequilha, revestimento dos flapes e dos ailerons, pontas de asa, carenagens do motor, tanques de óleo do motor e hidráulico, painéis de instrumentos, alojamento das garrafas de oxigênio, dutos e assentos.

As ligas de magnésio possuem boas características de fundição. Suas propriedades, em comparação ao alumínio, lhes são favoráveis. Na forjaria são normalmente usadas prensas hidráulicas, embora, sob certas condições, o forjamento possa ser efetivado com prensas mecânicas ou martelos.

As ligas de magnésio são susceptíveis a tratamentos térmicos como recozimento (normalização), têmpera, envelhecimento, etc. Chapas e placas de magnésio são normalizados antes de serem laminadas.

O tratamento de solubilização a quente é realizado com o propósito de diluir, na liga, a maior quantidade possível de ingredientes, o que resulta em máxima resistência a tração e ductilidade. O envelhecimento é aplicado para fundidos após um tratamento térmico, onde a máxima dureza e resistência à deformação são desejadas.

O magnésio encerra em si o perigo de queimar-se, de forma imprevisível. Quando o componente tem uma seção grande, sua alta condutividade térmica impossibilita a auto-ignição, evitando a combustão. Ele não se incendia até que o ponto de fusão seja alcançado, em torno de 650° C (1200° F). Entretanto, magnésio em pó ou pedaços pequenos, entra em auto-ignição facilmente.

Precauções devem ser tomadas para evitar, se possível, que tal ocorra. Havendo a possibilidade de ocorrer fogo, ele pode ser extinto com extintor de pó, como pedra-sabão em pó ou grafite em pó. Extintores de água, líquidos em geral e espuma, tendem a fazer com que o magnésio se queime mais rapidamente, podendo causar até explosão.

Ligas de magnésio produzidas nos Estados Unidos, consistem de magnésio ligados em proporções variáveis ao alumínio, manganês e zinco. Essas ligas são designadas por uma letra do alfabeto, seguida do número 1, indicando alta pureza e máxima resistência à corrosão.

Muitas das ligas de magnésio fabricadas nos Estados Unidos são produzidas pelo "*Dow Chemical Company*" e têm o nome genérico comercial de ligas *Dowmetal*. A distinção entre essas ligas é feita por uma letra após a marca. Assim tem-se *Dowmetal J*, *Dowmetal M*, etc.

Outro fabricante americano de ligas de magnésio é *American Magnesium Corporation*, uma subsidiária da *ALCOA* (*Aluminum Company of America*). Essa companhia usa um sistema de identificação idêntico ao usado para ligas de alumínio, com a exceção de que a designação das ligas de magnésio são precedidas das letras AM. Assim, AM240C é uma liga fundida; já AM240C4 é a mesma liga tratada termicamente. AM3S0 é uma liga trabalhada e normalizada; já AM3SRT é a mesma liga laminada após tratamento térmico.

REPOSIÇÃO DE METAIS DE UTILIZAÇÃO AERONÁUTICA

Na seleção de metais substitutos para a manutenção e reparo de aeronaves, é muito importante verificar o manual de reparos estruturais apropriado.

Os fabricantes de aeronaves projetam os membros estruturais para atender um requisito específico de carga para uma aeronave específica. Os métodos para reparação desses membros, aparentemente idênticos na construção, vão variar muito para aeronaves diferentes.

Quatro requisitos devem ser levados em conta, quanto a seleção de metais substitutos. O primeiro, e mais importante deles, é a manutenção da resistência da estrutura original. Os três outros são: (1) Manutenção do contorno ou forma aerodinâmica; (2) Manutenção do peso o mais próximo possível do original (admitindo-se um pequeno acréscimo); e (3) Manutenção das características de resistência à corrosão.

PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico é uma série de operações, envolvendo o aquecimento e o resfriamento de metais no estado sólido. Seu propósito é o de mudar as propriedades mecânicas ou a combinação de propriedades mecânicas, tal que o metal se torne mais adaptável e seguro para um propósito definido.

Através do tratamento térmico suas características de dureza resistência à tração, resistência ao impacto, etc. são melhoradas. Também pode torná-lo mais macio, mais dútil. Na verdade, o tratamento térmico não cria características para o metal, mas melhora algumas em detrimento de outras. Por exemplo: ao ser endurecido, o metal torna-se quebradiço.

Os vários processos de tratamento térmico são semelhantes no sentido de todos envolvem aquecimento e resfriamento do metal. Entretanto, as diferenças aparecem com as diferentes temperaturas de aquecimento, a velocidade com que são resfriados às temperaturas a que são resfriados, etc. Tudo afeta o resultado final.

Os tipos mais comuns de tratamento térmico para metais ferrosos são: têmpera, revenimento, normalização, recozimento e cementação.

A maioria dos metais não ferrosos pode ser recozida e muitos deles podem ser endurecidos por tratamento térmico. Entretanto, há somente um metal não ferroso, o titânio, que pode ser cementado; porém nenhum pode ser revenido ou normalizado.

Estrutura Interna dos Metais

Os resultados obtidos pelo tratamento térmico dependem em grande parte da estrutura do metal, e da maneira através da qual essa estrutura muda quando é aquecida ou resfriada. Um metal puro não pode ser temperado (endurecido) por tratamento térmico, porque há pouca mudança em sua estrutura interna causada pelo aquecimento.

Já a maioria das ligas metálicas responde bem ao tratamento térmico, posto que o aquecimento e o resfriamento produzem mudanças significativas nas suas estruturas internas.

Uma liga metálica pode estar na forma de uma solução sólida, de uma mistura mecânica ou de uma combinação dessas duas. Quando uma liga metálica está na forma de uma solução sólida, os elementos e compostos que formam a liga são dissolvidos, um no outro, da mesma forma que uma colher de sal se dissolve na água, não sendo possível identificá-los nem mesmo ao microscópio.

Quando dois ou mais elementos ou compostos são misturados, mas podem ser identificados através do exame ao microscópio, temos uma mistura mecânica.

Uma mistura mecânica pode ser comparada a uma mistura de areia e brita usada no concreto.

Tanto a areia como a brita são visíveis e distintas. Tal como a areia e a brita, que são mantidas ligadas por uma matriz de cimento, outros materiais de uma liga podem ser a ela ligados na matriz formada pelo metal base.

Uma liga na forma de mistura mecânica em temperatura normal pode mudar para uma solução sólida, uma vez aquecida.

Quando resfriada até a temperatura ambiente, a liga metálica pode voltar a sua estrutura original.

Pode também ocorrer que, sendo resfriada, permaneça em solução sólida ou forme uma combinação de solução sólida com mistura mecânica.

Uma liga metálica que consiste da combinação de solução sólida com mistura mecânica, em temperatura normal, pode transformar-se em solução sólida quando aquecida.

Quando resfriada, a liga pode permanecer como solução sólida, retornar a sua estrutura original ou formar uma solução complexa.

EQUIPAMENTO PARA TRATAMENTO TÉRMICO

A eficiência do tratamento térmico exige um controle acurado sobre todos os fatores que controlam o aquecimento e o resfriamento do metal. Tal controle só é possível quando o equipamento apropriado está disponível, e o equipamento fica a disposição para atender um trabalho específico.

Assim, o forno deve ter tamanho e tipo apropriados, além de ter controle sobre a temperatura de operação, mantendo-a rigorosamente dentro dos limites prescritos.

Até mesmo a atmosfera que envolve o forno, afeta o tratamento térmico, no qual a peça está sendo submetida. Posteriormente, o equipamento de têmpera e o fluido refrigerante a ser usado para a têmpera (água, óleo, salmoura, etc.) devem ser selecionados para determinar os parâmetros a serem alcançados pelo tratamento térmico.

Finalmente, deverão existir equipamentos apropriados para o manuseio das peças e dos materiais, para a limpeza dos metais e para o desempenho dessas peças.

Fornos e banhos de sal

Há muitos tipos e tamanhos diferentes de fornos usados para tratamento térmico. Como regra geral, os fornos são projetados para operar em determinadas faixas de temperatura; a sua utilização em outras faixas que não as previstas no projeto original, resulta em trabalhos de baixa qualidade.

Além disso, a sua utilização em temperaturas muito elevadas (próxima ou acima da temperatura máxima) reduz a vida do forno e aumenta seus custos de manutenção.

Fornos alimentados a combustível (óleo ou gás) necessitam de ar insuflado por ventoinha ou compressor, para manter a combustão adequadamente.

Nesses fornos a combustão tem lugar externamente à câmara de trabalho. Quando é utilizado um forno desse tipo, deve-se ter o cuidado de evitar que a chama penetre na câmara, onde as peças estão sendo submetidas a tratamento.

Em fornos elétricos, geralmente o calor é desprendido de resistências elétricas. Projetos bem feitos de fornos elétricos prevêm o emprego de resistências adicionais nos pontos onde há perda de calor. Esses fornos operam até 2500° F (cerca de 1350° C) utilizam-se resistências sinterizadas de carbonetos.

Medida da temperatura e controle

A temperatura de um forno é medida através de um pirômetro, um instrumento termoeletrico. O pirômetro baseia-se na diferença de potencial criada por um par termoeletrico (termopar), tanto maior quanto maior for a temperatura. Um pirômetro completo é composto do termopar, cabos elétricos e medidor.

Os fornos projetados para basicamente fazerem o revenimento podem ser aquecidos a gás ou à eletricidade, sendo que alguns possuem uma ventoinha para a circulação do ar aquecido.

Banhos de sal são disponíveis, tanto para têmpera quanto para revenimento. Dependendo da composição do banho de sal, a temperatura de aquecimento pode ser conduzida de 325° F (cerca de 160° C) até 2450° F (cerca de 1350° C). Ao invés do sal pode ser usado o chumbo fundido de 650° F (cerca de 345° C) até 1700° F (cerca de 925° C). A taxa de aquecimento nos banhos de sal ou chumbo fundidos é bastante

rápida nos fornos (mais rápidas do que aquecimento ao ar).

Os fornos para tratamento térmico diferem em tamanho, forma, capacidade, construção, operação e controle. Podem ser circulares ou retangulares; podem ser montados sobre pedestais, ou diretamente no chão, ou mesmo enterrados no chão.

Quando o metal estiver pronto para receber tratamento térmico, deverá ser imerso no banho de sal ou chumbo, para aumento de temperatura; o banho é feito dentro de cadinho ou pote apropriado.

O tamanho e a capacidade de um forno para tratamento térmico dependem do uso que se queira fazer dele. Um forno deve ser capaz de aquecer rápida e uniformemente, independente do tamanho da peça a ser submetida a tratamento térmico.

Como regra geral, os fornos mais comuns, devem ter o dobro do comprimento e três vezes a largura da peça a ser tratada.

A precisão na medida da temperatura é essencial a um bom tratamento térmico. O método mais comum é com a utilização de um termopar, como cobre-constantan (até 700° F ou 370° C), ferro-constantan (até 1400° ou 760° C) ou cromel-alumel (até 220° F ou 1200° C). O termopar constituído de um contato formado da liga de platina (90%) e ródio (10%) e outro contato formado da liga de platina (87%) e ródio (13%), medem temperaturas até 2800° F ou 1540° C.

A vida útil de um termopar é afetada pela temperatura máxima de sua faixa de utilização (freqüentemente sobrepassa-se essa temperatura) bem como pela atmosfera que envolve o forno.

O ferro-constantan é mais indicado para uso em atmosfera redutora; o cromel-alumel, para atmosfera oxidante.

Os termopares são comumente encapsulados por material cerâmico, na sua extremidade mais quente para protegê-los da atmosfera dos fornos. Faz-se necessário conectar os dois contatos do termopar a um microvoltímetro para que seja medida a diferença de potencial gerada. Para que a temperatura da peça submetida ao tratamento térmico seja acurada, faz-se necessário a aproximação do termopar à mesma.

É desejável também um eficiente sistema de controle da temperatura do forno, de modo a mantê-la ajustada no valor desejado.

Há pirômetros que indicam a temperatura no momento da medição (instantânea); outros fazem o registro da variação da temperatura durante o tratamento térmico.

Os pirômetros modernos são acoplados aos sistemas de ajuste do forno, mantendo-o à temperatura desejada. Instrumentos desse tipo são pirômetros com potenciômetro de controle. Eles possuem incorporados, um regulador de corrente e um mecanismo de operação como relé.

Aquecimento

O objetivo do aquecimento é transformar a perlita (uma mistura mecânica do carbono de ferro que existe numa condição microscópica) em austenita, tão logo o aço atinja uma temperatura crítica.

Uma vez que essa transição demanda um certo lapso de tempo, o incremento de temperatura, próximo à temperatura crítica, deve ser vagaroso. Geralmente a peça a ser tratada termicamente é inserida (estando na temperatura ambiente) com o forno em temperatura 300° F a 500 F (1500° C/250° C), abaixo da temperatura crítica, evitando-se assim que a temperatura da peça ultrapasse rapidamente a temperatura crítica.

Caso não haja um equipamento (pirômetro) para medir a temperatura, faz-se necessário estimá-la por outros meios.

Um meio barato, embora pouco acurado, é a observação da coloração do aço enquanto é tratada a peça. A pouca acuracidade deve-se, principalmente, ao fato da coloração ser afetada por vários fatores, como as condições de iluminação (natural ou artificial), o tipo de carepa (casca de óxido que se forma sobre a peça), etc.

O aço torna-se vermelho esmaecido a 1000° F (aproximadamente 540° C); com o aquecimento aumentando, a temperatura vai subindo, passando a coloração pelos vários matizes de vermelho, daí ao amarelo até o branco. Essa descrição está demonstrada, de modo esquemático, na Figura 6-64.

É também possível ter-se alguma idéia da temperatura de uma peça de carbono ou aço de baixo teor de carbono, para baixas temperaturas (usadas para revenimento), pela cor de uma fina camada de óxido que se forma em uma superfície limpa de aço, quando aquecida nessa faixa de temperatura.

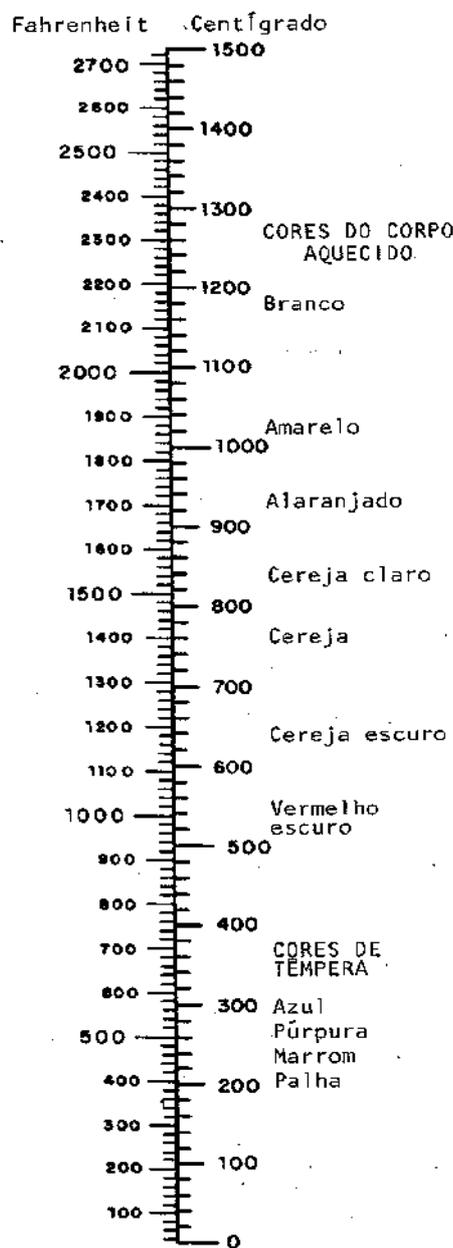


Figura 6-64 Conversão de temperatura e escala de cores de corpos para têmpera e revenimento

Atmosferas protetoras

É freqüentemente necessário ou desejável proteger o aço ou o ferro fundido da oxidação superficial (carepa) e perda de carbono das superfícies externas das peças. Fornos comerciais, entretanto, são geralmente equipados com alguns meios de controle da atmosfera.

O vapor d'água, um produto da combustão, é degenerador das peças trabalhadas (afeta sua superfície); assim, muitos fornos possuem meios de eliminá-lo. Para fornos não equipados com controle de atmosfera, uma variedade de fontes externas de gases específicos para substi-

tuição dessa atmosfera contaminada é disponível. Caso não haja nenhum controle disponível da atmosfera, alguma proteção pode ser dada recobrando-se a peça a ser tratada com limalha ou cavacos de ferro fundido.

No caso em que o trabalho seja realizado em banho de sal ou chumbo fundido, o problema da prevenção da carepa ou descarburização fica simplificado.

Fornos a vácuo também são usados para recozimento (ou outro tratamento) dos aços, especialmente quando se deseja obter uma superfície livre de qualquer oxidação.

Rearranjamento da estrutura interna ("soaking")

Ao atingir a temperatura crítica (varia com a liga do aço), começa a haver um rearranjo de sua estrutura interna. O período de tempo que a peça deve ser mantida nessa temperatura é o necessário para que haja o rearranjo completo de sua estrutura interna. Depende, pois, da constituição da liga e das suas dimensões. Como regra geral, de 30 minutos a 1 hora, é um tempo suficiente.

Resfriamento

A velocidade de resfriamento vai determinar a estrutura interna, que será mantida no aço submetido a tratamento térmico. Várias velocidades são estabelecidas em função dos resultados que se deseja obter. O ar calmo (ar ambiente) é um meio lento de refrigeração, mas é mais rápido do que o resfriamento, dentro (e junto) com o próprio forno.

Os líquidos são os meios mais rápidos de resfriamento, sendo os mais usados para a tempera do aço.

Os meios líquidos de resfriamento mais usados são: a água, a salmoura e o óleo. A salmoura é o meio mais rápido de resfriamento, seguido da água e do óleo.

Geralmente o banho de óleo é usado para aços-liga; a salmoura e a água, para aços-carbono.

Banhos

Os banhos têm ação somente pela sua capacidade de resfriar o aço. Não há nenhuma ação química, tampouco nenhuma qualidade é

transferida do banho ao metal. A maior parte dos requisitos para banhos são atendidas pela água, pelas soluções aquosas de sal (cloreto de sódio) ou soda cáustica e por alguns tipos de óleo.

A salmoura é geralmente preparada com 5% a 10% de sal em água. Em adição à sua grande velocidade de resfriamento, a salmoura tem capacidade de remover a carepa do aço durante o banho. Já a capacidade de resfriamento, tanto da água como da salmoura, mais especificamente da água é consideravelmente afetada pela temperatura. Ambas devem ser mantidas abaixo de 60° F (cerca de 15° C).

Caso a massa do aço que está sendo imersa, tender a aumentar a temperatura do banho, este deve ser mantido em baixa temperatura, pela adição de gelo ou outro meio de refrigeração.

Há muitos banhos de óleo, especialmente preparados, no mercado; suas taxas de resfriamento não diferem muito entre si. Geralmente são usados óleos minerais com viscosidade ("saybolt") com índice 100 a 100° F (38° C). Ao contrário da água e da salmoura, o óleo tem sua mais rápida taxa de resfriamento em temperaturas mais elevadas; entre 100° F (38° C) a 140° F (60° C), por causa da diminuição da viscosidade nessa faixa de temperatura.

Quando o aço é imerso no banho, o líquido imediatamente em contato com a superfície aquecida se vaporiza. Esse vapor reduz significativamente a absorção de calor. A agitação vigorosa da peça ou o uso de pulverização com líquido do banho são necessários para deslocar a camada de vapor, permitindo, então, a desejada taxa de resfriamento.

A tendência do aço para empenar ou trincar durante o resfriamento no banho é difícil de se prevenir, porque algumas partes das peças resfriam mais rapidamente que outras. As recomendações que se seguem auxiliam a reduzir a tendência ao empenamento:

1. A peça nunca deve ser atirada no banho de resfriamento. Deixando que a peça permaneça no fundo do banho, há tendência para que ocorra uma taxa de resfriamento na sua parte superior, causando empenamento e surgimento de trincas.
2. A peça deve ser agitada rapidamente para evitar que surja uma camada de vapor entre a peça e o banho, o que reduz a taxa de res-

friamento. Isso vai permitir a saída do calor para a atmosfera.

3. Peças com formas irregulares devem ser imersas no banho, de tal forma, que aquelas partes mais "massudas" (com maior volume) entrem primeiro em contato com o banho.

Equipamentos de resfriamento

O tanque de resfriamento deve ser de tamanho apropriado para permitir o manuseio do material a ser resfriado. Banhos de circulação de fluido e refrigeradores podem ser usados para manter a temperatura desejada, aproximadamente constante, quando o serviço exige uma grande quantidade de banhos.

A fim de se evitar a concentração de sal nos banhos de salmoura, deve ser providenciada a adição de água nesses banhos.

A localização do tanque de banho, com relação ao forno, onde se dá o tratamento térmico é importante.

O tanque deve estar localizado, de tal forma, que permita a rápida transferência da peça do forno ao banho. Um lapso de tempo maior que alguns segundos acarretará, em alguns casos, a perda da eficiência do tratamento térmico.

Quando um material de pouca espessura estiver sendo tratado, deve ser agregado a uma massa maior de metal, de sorte a manter o calor (e a temperatura) durante o percurso do forno ao tanque. Um tanque de lavagem adicional deve existir por perto para a remoção do sal que se deposita sobre a peça, assim que sai do banho de salmoura.

TRATAMENTO TÉRMICO DE METAIS FERROSOS

A primeira consideração importante no tratamento térmico de uma peça de aço é o conhecimento de sua composição química. Com isso ficará determinado o seu ponto crítico superior.

Sendo o ponto crítico superior conhecido, a próxima consideração é a taxa de aquecimento e resfriamento a ser usada.

A condução dessas operações envolve o uso de formas de aquecimento uniforme, controles apropriados de temperatura e banhos de resfriamento convenientes.

Comportamento do aço durante o aquecimento e o resfriamento

A mudança na estrutura interna de um metal ferroso ocorre pelo aquecimento a uma temperatura acima de seu ponto crítico, onde o metal é mantido por um determinado intervalo de tempo, durante o qual ocorre o reordenamento de sua estrutura, após o que, é resfriado até a temperatura ambiente, segundo condições predeterminadas.

Em temperatura ambiente, o carbono participa do aço na forma de carboneto de ferro, como partículas espalhadas através da estrutura cristalina do ferro (ferrita). A quantidade, tamanho e distribuição dessas partículas determinam a dureza do aço.

Em temperaturas elevadas, o carbono participa do aço dissolvido na estrutura cristalina do ferro, na forma de uma solução sólida chamada "austenita", aparecendo as partículas de carboneto somente após o aço ter sido resfriado.

Caso o resfriamento seja lento, as partículas de carboneto apresentam-se grosseiras e em pequena quantidade; o aço resultante é macio (pouco duro). Caso o resfriamento seja rápido, quando se usa banho de água ou óleo, o carbono se precipita como uma névoa de partículas muito finas de carboneto; o aço resultante é duro.

A capacidade que têm os carbonetos de se dissolverem em austenita é a base do tratamento térmico do aço. As temperaturas nas quais esta transformação tem lugar são chamadas críticas e dependem da composição do aço, sendo que basicamente, o teor de carbono é quem dita essa temperatura.

Endurecimento (têmpera)

Ferro puro, ferro forjado ou aços com baixíssimo teor de carbono não podem ser apreciavelmente endurecidos pelo tratamento térmico, quando há pouco dos elementos capazes de endurecê-lo (carbono). O ferro fundido pode ser endurecido, porém sua capacidade de endurecimento é pequena.

Quando o ferro fundido é resfriado rapidamente, forma-se ferro branco, que é duro e quebradiço; quando resfriado lentamente, forma-se ferro cinzento, que é macio mas quebradiço (com impactos).

Como já foi dito, o endurecimento do aço depende do seu teor de carbono. Aumen-

tando o seu teor de carbono, aumentará a capacidade do aço endurecer.

Isso vai até um certo limite de carbono. Acima de 0,85% de carbono não há mais aumento do endurecimento.

Para a maioria dos aços, o tratamento de endurecimento (têmpera) consiste do aquecimento do aço a uma temperatura pouco acima da temperatura crítica, onde aguarda um determinado espaço de tempo, após, é rapidamente resfriado em óleo, água ou salmoura. Embora a maior parte dos aços deva ser resfriada rapidamente para têmpera, alguns poucos podem ser resfriados ao ar ambiente. A têmpera aumenta a dureza e a resistência do aço, mas a faz menos dútil.

Quando temperando um aço carbono, deve-se abaixar sua temperatura para menos de 1.000° F (540° C) em menos de 1 segundo. Caso o tempo de resfriamento para menos de 1.000° F exceda 1 segundo, a austenita começa a se transformar em perlita de grão muito fino.

Essa perlita varia em dureza, mas é mais dura que a perlita formada pelo recozimento, porém muito mais macia que a martensita desejada. Após atingida a temperatura de 1000 ° F (quando do resfriamento), o resfriamento deve continuar com bastante velocidade, caso a estrutura final desejada seja toda martensítica.

Quando elementos de liga são adicionados ao aço, o lapso de tempo para a queda de temperatura até 1000° F aumenta em 1 segundo em relação aos aços-carbono. Assim, um meio refrigerante (banho) não muito severo, é capaz de produzir a têmpera de aços-liga.

Por causa das elevadas tensões internas causadas pela têmpera, o aço pode ser revenido antes de esfriar totalmente. Nesse caso, a peça deve ser removida do banho de resfriamento a uma temperatura de 200° F (cerca de 95°C), posto que dessa temperatura para baixo, até a temperatura ambiente, é quando começam a surgir as trincas.

As temperaturas de têmpera e dos banhos de refrigeração estão listadas na tabela 6-65.

Precauções com a têmpera

É necessário que se tenham disponíveis uma variedade de formas e tamanhos de tenazes para manusear o aço aquecido. Deve ser lembrado que o resfriamento da parte da peça que

fica em contato com as tenazes é alterado, sendo que tal área pode não ser endurecida, principalmente se o aço que está sendo tratado requiera tratamento somente superficial. Peças pequenas podem ser amarradas ou mergulhadas, estando dentro de cestos de arame.

A fim de se evitar distorção da peça de aço, durante o banho de resfriamento, em alguns casos são usados suportes especiais e fixações para manter a peça com sua forma original.

Quando se deseja que somente uma parte da peça seja endurecida, partes dessa peça devem ser protegidas através da cobertura com cimento "alundum" (alumina fundida em forno elétrico) ou qualquer outro material isolante. O endurecimento seletivo também pode ser através de jatos de água, ou óleo, projetados para direcionar esses jatos de resfriamento diretamente para os pontos ou áreas a serem endurecidos. Também pode ser feito de outra forma (não pelo resfriamento de áreas específicas mas pelo aquecimento de áreas selecionadas), usando-se aquecimento por indução elétrica ou chama dirigida, muito usada em produção seriada em larga escala.

Alguns aços-carbono e algumas ligas de aço têm uma taxa de resfriamento tão crítica que têm de ser resfriados em água ou salmoura. Em geral, peças de seção muito complicadas não devem ser feitas com esses tipos de aço por causa da tendência que os aços têm em empenar ou trincar durante o endurecimento. Tais peças devem ser feitas de aços capazes de serem temperados em óleo ou ar.

Revenimento

O revenimento reduz a fragilidade conferida pela têmpera, da mesma forma que introduz características físicas definidas ao aço. O revenimento sempre segue (nunca precede) o processo de têmpera. Além de reduzir a fragilidade, o revenimento reduz a dureza do aço.

O revenimento é sempre conduzido a temperatura menores que aquela do ponto crítico do aço. Com respeito a isso, o revenimento difere da normalização, do recozimento e da têmpera, os quais requerem temperaturas acima do ponto crítico.

Quando o aço temperado é reaquecido, o revenimento começa a 212° F (\pm 100° C) e continua a medida que a temperatura é aumentada até o ponto crítico. Pela seleção de uma tempe-

ratura definida, a dureza e a resistência resultantes podem ser determinadas. Temperaturas aproximadas para várias resistências à tração estão listadas na Figura 6-65. O tempo mínimo na temperatura de revenimento deve ser de uma (1) hora.

Caso a peça tenha mais de uma polegada de espessura, o tempo deve ser aumentado em uma hora para cada polegada adicional de espessura.

Aços revenidos usados pela indústria aeronáutica devem ter de 125.000 a 200.000 libras por polegada quadrada de resistência final à tração.

Geralmente, a taxa de resfriamento do revenimento não tem efeito na estrutura final; entretanto, o aço é geralmente resfriado em ar calmo após ter sido removido do forno.

Recozimento

O recozimento do aço resulta num metal de grão fino, macio e dúctil, sem tensões internas ou deformações. No estado de recozimento, o aço tem a sua menor resistência. Em geral, o recozimento é o oposto da têmpera.

O recozimento do aço é levado a termo através do aquecimento do metal pouco acima do limite superior de temperatura do ponto crítico, permitindo-se, durante um determinado intervalo de tempo, que toda a massa metálica atinja essa temperatura, após o que, o material é resfriado muito lentamente (em geral, mantido e resfriado junto com o próprio resfriamento natural do forno).

A Figura 6-65 apresenta valores diversos de temperaturas para correspondentes ligas de aço.

O tempo de permanência, à temperatura acima do ponto crítico, é de aproximadamente uma hora por polegada de espessura do material. Para que seja conseguida a maior maciez do aço, o metal deve ser resfriado lentamente.

O resfriamento lento é obtido desligando-se o forno (se for elétrico) ou retirando-se a chama, aguardando-se o resfriamento natural do conjunto forno/metalo até 900° F (\pm 480° C) ou menos, após, deve-se retirar o metal do forno, aguardando o seu resfriamento ao ar. Outro método usado é de enterrar o aço aquecido em cinzas, areia ou, outra substância, má condutora de calor.

Normalização

A normalização remove as tensões internas causadas pelo tratamento térmico, soldagem, fundição, conformação mecânica ou usinagem em geral. Tensões, caso não sejam controladas, fatalmente resultarão em falha. Por causa da necessidade de se obterem as melhores propriedades físicas, os aços na indústria aeronáutica são, geralmente, usados no estado normalizado; raramente, entretanto, no estado recozido.

Um dos usos mais importantes do processo de normalização, em trabalhos aeronáuticos, diz respeito a peças e componentes soldados. A soldagem desenvolve tensões junto aos materiais adjacentes. Como se isso não bastasse, a soldagem, por si mesma, é uma estrutura de fundição ao passo que o material soldado é, via de regra, de estrutura de laminação. Esses dois tipos de estruturas têm diferentes tamanhos de grãos; assim, para refinar o grão e também aliviar as tensões internas, todas as partes soldadas devem ser normalizadas após terem sido fabricadas.

A normalização é realizada pelo aquecimento do aço acima da temperatura do ponto crítico superior, sendo, após, resfriado ao ar. Como o resfriamento em ar calmo é mais rápido que aquele em que o metal resfria junto com o forno, o metal resfriado ao ar é mais duro e resistente que o metal recozido. As temperaturas recomendadas para a normalização para os vários tipos de aços aeronáuticos são listados na Figura 6-65.

CEMENTAÇÃO

A cementação é um processo que cria uma camada dura, resistente ao desgaste, sobre uma superfície ou envolvendo um miolo forte, mas flexível. A cementação é ideal para componentes que requeiram uma superfície resistente ao desgaste e, ao mesmo tempo, devam ser bastante flexíveis internamente para resistir as cargas aplicadas.

Os aços mais convenientes para cementação são os de baixo teor de carbono e os de baixa liga. Se aços de alto carbono forem cementados, a camada endurecida pode ser tão espessa que atinja o miolo da peça tornando-a quebradiça.

Na cementação, a superfície do metal é alterada quimicamente pela introdução de elevada quantidade de carbono. Se, ao invés de carbono, introduzir-se nitrogênio, o processo chama-se nitretação. O miolo (abaixo da superfície alguns *angstroms*) não é afetado quimicamente, ou seja: a introdução de carbono ou nitrogênio não atinge o interior da peça. Quando tratada termicamente, a superfície responde ao endurecimento, enquanto o miolo se manterá flexível. As formas comuns de cementação são: a carbonetação (com carbono); a cianetação (com cianetos, compostos de carbono e nitrogênio); e a nitretação (com nitrogênio). Entretanto, em trabalhos aeronáuticos, a cianetação não é usada.

Carbonetação

A carbonetação comumente chamada cementação. É um processo em que o carbono é adicionado a uma superfície de aço de baixo teor de carbono.

Assim, após a introdução do carbono, a superfície da peça passa a ter aço de alto teor de

carbono, e seu miolo continua como antes, ou seja, com baixo teor de carbono. Quando essa peça passa por um tratamento térmico, como a têmpera, cada parte age como agiriam seus tipos de aço isoladamente. A parte externa (superfície), endurece ou pega têmpera; e a parte interna (miolo) não pega têmpera, permanecendo macia e flexível.

Um dos métodos comuns de carbonetação é chamado de "*pack carburizing*". Nesse método, a peça a ser tratada é confinada num recipiente cheio de carvão em pó ou outro material rico em carbono, que é selado com argila refratária, colocado em um forno aquecido aproximadamente a 1700° F (\pm 925° C), sendo mantido nessa temperatura por várias horas.

A medida que a temperatura do recipiente aumenta, forma-se monóxido de carbono no seu interior, que sendo incapaz de liberar-se, acaba por se combinar com o ferro gama (δ Fe), uma das estruturas cristalinas do ferro, que existe nessa faixa de temperatura, na superfície da peça de aço.

Aço Nº	Temperaturas			Banhos de resfriamento médio (n)	Temperatura de revenimento para resistência a tensão (p.s.i.)				
	Normaliza- ção	Recozimento	Têmpera		100,000	125,000	150,000	180,000	200,000
	°F	°F	°F		°F	°F	°F	°F	°F
1020	1,650-1,750	1,600-1,700	1,575-1,675	Water	—	—	—	—	—
1022(x1020)	1,650-1,750	1,600-1,700	1,575-1,675	Water	—	—	—	—	—
1025	1,600-1,700	1,575-1,650	1,575-1,675	Water (a)	—	—	—	—	—
1035	1,575-1,650	1,575-1,625	1,525-1,600	Water	875	—	—	—	—
1045	1,550-1,600	1,550-1,600	1,475-1,550	Oil or water	1,150	—	—	(n)	—
1095	1,475-1,550	1,450-1,500	1,425-1,500	Oil	(b)	—	1,100	850	750
2330	1,475-1,525	1,425-1,475	1,450-1,500	Oil or water	1,100	950	800	—	—
3135	1,600-1,650	1,500-1,550	1,475-1,525	Oil	1,250	1,050	900	750	650
3140	1,600-1,650	1,500-1,550	1,475-1,525	Oil	1,325	1,075	925	775	700
4037	1,600	1,525-1,575	1,525-1,575	Oil or water	1,225	1,100	975	—	—
4130(x4130)	1,600-1,700	1,525-1,575	1,575-1,625	Oil (c)	(d)	1,050	900	700	575
4140	1,600-1,650	1,525-1,575	1,525-1,575	Oil	1,350	1,100	1,025	825	675
4150	1,550-1,600	1,475-1,525	1,500-1,550	Oil	—	1,275	1,175	1,050	950
4340(x4340)	1,550-1,625	1,525-1,575	1,475-1,550	Oil	—	1,200	1,050	950	850
4640	1,675-1,700	1,525-1,575	1,500-1,550	Oil	—	1,200	1,050	750	625
6135	1,600-1,700	1,550-1,600	1,575-1,625	Oil	1,300	1,075	950	800	750
6150	1,600-1,650	1,525-1,575	1,550-1,625	Oil	(d)(e)	1,200	1,000	900	800
6195	1,600-1,650	1,525-1,575	1,500-1,550	Oil	(f)	—	—	—	—
NE8620	—	—	1,525-1,575	Oil	—	1,000	—	—	—
NE8630	1,650	1,525-1,575	1,525-1,575	Oil	—	1,125	975	775	675
NE8735	1,650	1,525-1,575	1,525-1,575	Oil	—	1,175	1,025	875	775
NE8740	1,625	1,500-1,550	1,500-1,550	Oil	—	1,200	1,075	925	850
30905	—	(g)(h)	(i)	—	—	—	—	—	—
51210	1,525-1,575	1,525-1,575	1,775-1,825	Oil	1,200	1,100	(k)	750	—
51335	—	1,525-1,575	1,775-1,850	Oil	—	—	—	—	—
52100	1,625-1,700	1,400-1,450	1,525-1,550	Oil	(l)	—	—	—	—
(16-2) (1)	—	—	1,700-1,725	Oil	(m)	—	—	—	—

- a) Retirar a 1150° F para resistência a tensão de 70.000 p.s.i.
- b) Para a têmpera de molas retirar de 800° a 900° F Dureza Rockwell C-40-45.
- c) Barras ou forjados podem ser banhados em água de 1.500° a 1.600° F.
- d) O resfriamento a ar da temperatura de normalização produzirá uma resistência a tensão de aproximadamente 90.000 p.s.i.
- e) Para a têmpera de molas retirar de 850° a 950° F Dureza Rockwell.
- f) Retirar de 350° a 450° F para remover deformações causadas pelo banho. Dureza Rockwell C-60-65.
- g) Recozimento de 1.600° a 1.700° F para remover estresses causados por soldas ou usinagem a frio. Só pode ser aplicado ao aço contendo titânio ou "columbium".
- h) Recozimento de 1.900° a 2.100° F, para produzir o máximo amolecimento e resistência a corrosão. Resfriar no ar ou banho em água.
- i) Endurecimento somente por usinagem a frio.
- j) O menor valor para chapas de 0,06" e mais finas. O valor médio para chapas e arames de 0,125". O maior valor para forjados.
- k) Não recomendado para resistência a tensão causadas por fracos impactos.
- l) AN-QQ-S-770 - é o recomendado para, antes da têmpera, o aço resistente a corrosão (16 Cr-2 Ni) seja banhado em óleo da temperatura de 1,875° a 1.900° F, em seguida, em período de resfriamento de ½ hora nessa temperatura. Para obter uma resistência a tensão de 115.000 p.s.i., a temperatura da têmpera deverá ser de aproximadamente 525° F. Manter nessa temperatura por 2 horas é o recomendado. Temperatura de têmpera entre 700° e 1.000° F não serão aprovadas.
- m) Retirar a aproximadamente 800° F e resfriar em ar frio para uma dureza Rockwell de C-50.
- n) A água usada para banhos não deverá exceder 65° F. O óleo usado para banhos deverá estar entre 80° e 150° F de temperatura.

Figura 6-65 Procedimentos no tratamento a quente dos aços.

A profundidade, até aonde o carbono penetra na peça, vai depender do tempo em que a peça é mantida no forno a essa temperatura

Para se ter uma idéia, quando a peça de aço é mantida nessas condições de aquecimento por oito horas, o carbono penetra a uma profundidade de 0,062 in (cerca de 1,6 milímetros)

Outro método de carbonetação chamado "*gás carburizing*", um material rico em carbono, é introduzido na atmosfera do forno.

A atmosfera carburizante é produzida pelo uso de gases diversos ou pela queima de óleo, madeira ou qualquer outro material rico em carbono.

Quando a peça de aço é aquecida nessa atmosfera, o monóxido de carbono se combina com o ferro gama produzindo o mesmo efeito, como descrito anteriormente, pelo método "*pack carburizing*".

Um terceiro método de carburização é chamado de "*liquid carburizing*".

Nesse método o aço é colocado em um banho de sal fundido que contém produtos químicos, que em última análise, resultam num efeito semelhante aos dois métodos anteriores.

Ligas de aço com baixo carbono assim como aços de baixo teor de carbono, podem ser cementadas por qualquer um dos três métodos. Entretanto, algumas ligas contendo níquel (por exemplo), tendem a retardar a absorção do carbono.

Como resultado, o tempo requerido para produzir uma profundidade de penetração varia com a composição da liga metálica.

Nitretação

Na nitretação, ao contrário dos outros processos de cementação, a peça é tratada termicamente antes da nitretação, para produzir o efeito final desejado, ou seja: a peça é endurecida (temperada) e revenida, antes de ser nitretada.

A maioria dos aços pode ser nitretado, mas, para melhores resultados, são exigidas ligas especiais. Essas ligas contêm alumínio como um dos elementos de liga, e são chamados "*nitralloys*".

Na nitretação, a peça é colocada em um forno especial e aquecida a uma temperatura de 1000° F (\pm 540° C). Estando a peça nessa temperatura, gás amoníaco é posto a circular dentro de uma câmara especialmente projetada construída dentro desse forno.

A alta temperatura divide o gás em moléculas de hidrogênio e nitrogênio. Parte do gás amoníaco que não se divide fica retido no filtro de água situado abaixo do forno.

O nitrogênio reage com o ferro para formar nitreto. O nitreto de ferro fica disperso em partículas minúsculas na superfície e vai penetrando na peça.

A profundidade da penetração depende do tempo do tratamento. Na nitretação, períodos de permanência de 3 dias são freqüentemente requeridos para produzir a espessura de cementação desejada.

A nitretação tem a vantagem de ser realizada com a mínima distorção, dada a baixa temperatura relativa em que as peças são cementadas, além do que nenhuma necessidade de imersão em líquido (para resfriamento) é exigida após a exposição ao gás amoníaco.

TRATAMENTO TÉRMICO DE METAIS NÃO FERROSOS

Ligas de alumínio

Há dois tipos de tratamentos térmicos aplicáveis às ligas de alumínio. Um é chamado de tratamento de solução a quente; e o outro, tratamento de precipitação a quente (envelhecimento artificial). Algumas ligas, como a 2017 e a 2024, desenvolvem suas propriedades plenamente como resultado do tratamento de solução a quente, seguido de quatro dias de envelhecimento à temperatura ambiente. Outras ligas, tais como 2014 e 7075, requerem todos os dois tipos de tratamento.

As ligas que requerem tratamento de precipitação à quente (envelhecimento artificial) para desenvolverem suas resistências máximas, também são capazes de envelhecerem a um valor limitado na temperatura ambiente; a taxa e a quantidade de enrijecimento depende da liga. Algumas alcançam seu envelhecimento natural, ou à temperatura ambiente, em poucos dias, e são designadas como condição "-T4" ou "-T3".

Outras continuam a envelhecer por um período consideravelmente longo. Por causa do seu envelhecimento natural, a designação "-W" é especificada somente quando o período de envelhecimento é indicado, como por exemplo: 7075 -W (1/2 horas). Então, há uma considerável diferença nas propriedades físicas e mecânicas de um material recentemente tratado (-W) e um material na condição "-T3" ou "-T4".

O endurecimento de uma liga de alumínio por tratamento térmico consiste de quatro passos distintos:

1. Aquecimento a uma temperatura pré determinada.

2. Manutenção da peça a essa temperatura por um específico intervalo de tempo.
3. Rápida imersão em banho refrigerante a uma temperatura relativamente baixa.
4. Envelhecimento ou endurecimento por precipitação, tanto espontaneamente à temperatura ambiente, quanto como resultado de tratamento à baixa temperatura.

Os três primeiros passos acima são conhecidos como tratamento de solução a quente, embora tenha se tornado prática comum o uso do termo simplificado tratamento térmico. Endurecimento à temperatura ambiente é conhecido como envelhecimento natural, enquanto o endurecimento ocorrido a temperaturas moderadas é chamado de envelhecimento artificial ou tratamento de precipitação a quente.

TRATAMENTO DE SOLUÇÃO À QUENTE

As temperaturas usadas para tratamento de solução à quente variam, conforme a liga empregada, de 825° F (440° C) até 980° F (525° C).

Como regra, elas devem ser controladas dentro de uma faixa bem estreita ($\pm 10^\circ$ F ou $\pm 5^\circ$ C) para que se obtenham as propriedades específicas.

Caso a temperatura seja muito pequena, a resistência máxima não será obtida. Quando uma temperatura excessiva é usada, há o perigo de que haja fusão dos constituintes da liga de baixo ponto de fusão (em algumas ligas), com a conseqüente diminuição de suas propriedades físicas. Mesmo que não ocorra a fusão, o emprego de temperaturas acima da recomendada, promove a descoloração e aumenta as tensões causadas pelo resfriamento.

Tempo de permanência na temperatura

O tempo que a peça permanece à temperatura do tratamento (SOAKING TIME) é medido a partir do momento em que a peça a ser aquecida atinge o limite inferior da faixa de temperatura do tratamento. O tempo de permanência na faixa de temperatura do tratamento depende da liga e da espessura da peça, variando de 10 minutos para chapas finas, até aproximadamente 12 horas para forjamentos pesados. Para peças de porte, um valor aproximado de

1 hora por polegada de espessura, pode ser considerado uma boa aproximação (ver Figura 6-66).

O tempo que a peça vai permanecer na temperatura do tratamento é escolhido, de tal forma, que seja o mínimo necessário para desenvolver as propriedades físicas requeridas. Um tempo menor que o necessário não permite que o metal desenvolva as propriedades físicas esperadas. Já um tempo elevado agrava os problemas inerentes ao aumento da oxidação causada pelo calor. Com o material protegido pelo cladeamento, o aquecimento prolongado resulta numa excessiva difusão do cobre, ou outros constituintes solúveis na liga, através da camada protetora de alumínio puro do cladeamento, o que pode afetar os propósitos do cladeamento.

Resfriamento

Após estarem os elementos solúveis sólidos, o material é resfriado para prevenir ou retardar a precipitação imediata.

Espessura (polegadas)	Tempo (minutos)
Até .032	30
.032 a 1/8	30
1/8 a 1/4	40
Acima de 1/4	60

NOTA: O tempo de permanência no banho começa quando o metal (ou o banho) atinge a temperatura dentro dos limites especificados acima.

Figura 6-66 Tempo de permanência na temperatura para tratamento a quente.

Resfriamento em água quente

Grandes peças forjadas, de seções espessas, podem ser resfriadas em água quente ou fervente. Esse tipo de resfriamento minimiza a distorção e evita trincas, as quais podem ser produzidas pela diferença das temperaturas obtidas durante o resfriamento. O uso de resfriamento em água quente é permitido para essas partes, porque a temperatura da água do banho não afeta criticamente a resistência à corrosão das ligas forjadas. Em adição, a resistência à corrosão das seções espessas não é um fator crítico, como para as seções frias.

Resfriamento por pulverização

Pulverização com água a alta velocidade é útil para peças formadas por uma espessa seção de

Três métodos distintos de resfriamento são empregados. Aquele que vai ser usado depende da peça, da liga e das propriedades desejadas.

Resfriamento em água fria

Peças produzidas a partir de chapas, extrusão, tubos, forjados pequenos, ou material similar são resfriados em banho de água fria. A temperatura da água, antes do resfriamento, não deve exceder 85° F ($\pm 30^\circ$ C). A massa de água deve ser tal que a temperatura, após a imersão da peça aquecida, não suba mais que 20° F ($\pm 10^\circ$ C).

Esse resfriamento rápido garante uma maior resistência a corrosão em função da rapidez da exposição. Esse fato é particularmente importante quando se trata de ligas como a 2017, 2024 ou 7075. Essa é a razão principal da preferência pelo método, muita embora o resfriamento lento também produza as propriedades mecânicas requeridas.

quase qualquer tipo de liga, revestidas por alumínio puro (cladeamento). Esse tipo de resfriamento também minimiza a distorção e evita a formação de trincas. Todavia, muitas especificações proíbem o uso do resfriamento por pulverização para chapas desprotegidas de ligas 2017 e 2024 por causa do seu efeito nefasto na resistência à corrosão.

Intervalo entre a retirada do forno e o resfriamento

O intervalo entre a retirada do forno e o resfriamento, é crítico para o material (especialmente para determinar ligas), e deve ser sempre o menor possível.

Quando efetuando tratamento por solução a quente em chapas de liga 2017 e 2024, esse intervalo não deve exceder 10 segundos.

Tratando-se de seções com espessuras maiores, esse tempo pode ser ligeiramente maior.

Permitir que o metal resfrie, mesmo que ligeiramente, antes do resfriamento propriamente dito, permite que haja precipitação da solução sólida. A precipitação ocorre em torno da vizinhança do grão e em certos planos ou direções preferenciais, causando uma formação defeituosa. No caso das ligas 2017, 2024 e 7075, a resistência à corrosão intergranular é afetada adversamente.

Tratamento de reaquecimento

O tratamento térmico de um material que já tenha sido previamente aquecido é considerado um tratamento de reaquecimento. As peças feitas com ligas não cladeadas podem ser tratadas por solução a quente repetidamente sem efeitos danosos.

Já o número de tratamentos por solução a quente, permitidos a uma chapa cladeada, é limitado devido ao incremento da difusão dos componentes da liga, através do cladeamento em cada reaquecimento. Existem, entretanto, algumas especificações, permitindo de um a três reaquecimentos do material cladeado, dependendo da espessura do cladeamento.

Alinhamento após tratamento por solução a quente

Algumas distorções e empenamentos ocorrem durante o tratamento por solução a quente, produzindo ondulações ou torções nas peças tratadas. Essas imperfeições são geralmente removidas pelo alinhamento ou desempenamento.

Onde as operações de alinhamento produzem um apreciável aumento na tensão e diminuição da resistência, além de uma pequena diminuição no alongamento, o material passa a ter a designação de condição "- T3". Quando os parâmetros acima, não são materialmente ou praticamente afetados, o material é classificado na condição "- T4".

TRATAMENTO POR PRECIPITAÇÃO A QUENTE

Como já observado, as ligas de alumínio estão num estado de relativa maciez, imediatamente, após o resfriamento de uma temperatura

de tratamento de solução a quente. Para obter a máxima resistência dessas ligas, elas devem ser naturalmente envelhecidas ou endurecidas por precipitação. Durante as operações, de endurecimento e enrijecimento, acontece a precipitação dos constituintes de uma solução supersaturada. A medida que a precipitação prossegue, a resistência do material aumenta, freqüentemente através de uma série de picos, até que o valor máximo é atingido.

Envelhecimento posterior (sobre envelhecimento) faz com que a resistência decline uniformemente até que alguma condição estável qualquer seja atingida.

As partículas submicroscópicas que foram precipitadas provêm as aberturas ou bloqueios dentro da estrutura do grão e entre os grãos - para resistir ao deslizamento interno, quando uma carga de qualquer tipo for aplicada. Dessa forma, a resistência e a dureza de uma liga são incrementadas.

O endurecimento por precipitação produz um grande aumento na resistência e na dureza do material, com a correspondente diminuição nas propriedades ligadas à ductilidade.

O processo usado para obtenção do desejado aumento na resistência, é conhecido como envelhecimento ou endurecimento por precipitação. O enrijecimento das ligas termicamente tratáveis por envelhecimento, não é meramente devido à presença de um precipitado. A resistência é devida a ambos - a distribuição uniforme do precipitado submicroscópico, finamente disperso, e o seu efeito sobre a estrutura cristalina da liga.

As práticas de envelhecimento usadas, dependem também de muitas outras propriedades, além da resistência

Como uma regra geral, as ligas artificialmente envelhecidas, são ligeiramente sobre-envelhecidas para aumentar a resistência à corrosão dessas ligas. Isto é mais verdade quando se trata de envelhecimento artificial de ligas de alto teor de cobre que são susceptíveis à corrosão intergranular, quando envelhecidas inadequadamente.

Ligas de alumínio termicamente tratáveis são divididas em duas classes: as que obtêm resistências máximas à temperatura ambiente, e as que requerem envelhecimento artificial. As ligas que obtêm sua resistência máxima após 4 ou 5 dias à temperatura ambiente são conhecidas como ligas de envelhecimento natural. A

precipitação a partir de solução sólida supersaturada começa cedo, logo após o resfriamento, com 90% da resistência máxima geralmente sendo obtida em 24 horas. Ligas 2017 e 2024 são de envelhecimento natural.

As ligas que requerem tratamento de precipitação a quente para desenvolver a máxima resistência são ligas envelhecidas artificialmente. Entretanto, essas ligas também envelhecem um pouco menos à temperatura ambiente, sendo a razão ou taxa de enrijecimento e sua extensão dependente da liga. Muitas das ligas envelhecidas artificialmente atingem a resistências por envelhecimento máximo natural, ou à temperatura ambiente após uns poucos dias. Estas

podem ser guardadas, para serem posteriormente utilizadas, nas condições "-T4" e "- T3".

Ligas com alto teor de zinco, como a 7075, continuam a envelhecer apreciavelmente, mesmo após um longo período de tempo, sendo suas propriedades mecânicas afetadas até reduzirem suas capacidades de serem conformadas.

A vantagem da condição "-W" é que sua conformabilidade não é afetada, como seria com ligas de envelhecimento natural, desde que sua conformação (ou utilização), seja efetuada logo após o tratamento de solução a quente ou seja mantida em refrigeração.

A refrigeração retarda a velocidade natural de envelhecimento.

Liga	Solução para tratamento a quente			Precipitação para tratamento a quente		
	Temp., °F	Banho	Designação da tempera	Temp., °F	Tempo de atuação	Designação da tempera
2017	930-950	Água fria	T4			T
2117	930-950	Água fria	T4			T
2024	910-930	Água fria	T4			T
6053	960-980	Água	T4	445-455	1-2 h.	T5
				ou 345-355	8 h	T6
6061	980-980	Água	T4	315-325	18 h	T6
				ou 345-355	8 h	T6
7075	870	Água		250	24 h.	T6

Figura 6-67 Condições para tratamento a quente das ligas de alumínio.

A 32° F (0° C), o início do processo de envelhecimento é atrasado por algumas horas, enquanto o gelo seco (de - 50° F ou - 45° C até - 100° F ou - 70° C) retarda o envelhecimento por um período de tempo bem mais extenso.

Práticas

As temperaturas usadas para endurecimento por precipitação dependem das ligas e das propriedades desejadas, variando de 250° F (120° C) até 375° (190° C). Essas temperaturas devem ser controladas dentro de uma faixa bem estreita (5° F ou 2,5° C) para que sejam obtidos os melhores resultados (ver Figura 6-67).

O tempo de permanência à temperatura considerada (SOAKING TIME), depende da temperatura usada, das propriedades desejadas e da composição da liga. Vai de 8 a 96 horas.

Aumentando-se a temperatura do envelhecimento, diminui-se o tempo de permanência a essa temperatura, necessária para o envelhecimento apropriado. Entretanto, um controle acurado, tanto do tempo quanto da temperatura, faz-se necessário, especialmente quando se trabalha na faixa de altas temperaturas.

Após receber o tratamento térmico de precipitação, o material deve ser resfriado à temperatura ambiente. O resfriamento à água, embora não necessário, não produz nenhum efeito danoso. Resfriamento dentro do forno tem tendência a produzir sobre envelhecimento.

RECOZIMENTO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO

O procedimento para recozimento das ligas de alumínio consiste no aquecimento des-

sas ligas a uma temperatura elevada, mantendo-a nessa temperatura num determinado intervalo (dependendo da massa do material), resfriando em ar calmo. O recozimento deixa o metal na melhor condição possível para conformação a frio (trabalho a frio). Entretanto, quando operações prolongadas de conformação a frio são realizadas, o metal passa a adquirir endurecimento por conformação a frio (endurecimento por trabalho a frio) e a opor resistência a novos trabalhos de conformação a frio. Assim, passa a ser fundamental o recozimento das peças nos intervalos entre um e outro processo de conformação a frio, a fim de se evitar a formação de trincas. Ligas de alumínio recozidas, por serem muito macias e facilmente deformáveis, não devem ser usadas para a fabricação de peças e fixações.

Peças cladeadas devem ser aquecidas tão rápida e cuidadosamente quanto possível, posto que o prolongado e desnecessário (além da conta) aquecimento tende a fazer com que os elementos da liga se difundam através do alumínio puro do cladeamento.

TRATAMENTO TÉRMICO DOS REBITES DE LIGA DE ALUMÍNIO

Os rebites de liga de alumínio são fornecidos com as seguintes ligas: 1100, 5056, 2117, 2017 e 2024.

Os rebites de liga 1100 são usados do jeito que saem das suas embalagens, para rebiteagem de chapas de alumínio onde rebites de baixa resistência são suficientes. Os rebites de liga 5056 são usados da mesma forma, só que para chapas de liga de alumínio com magnésio.

Os rebites de liga 2117 têm resistência moderadamente alta, sendo utilizados para rebiteagem de chapas em geral. Esses rebites recebem um único tratamento térmico, feito pelo fabricante. Como os rebites de liga 2117 mantêm suas características indefinidamente, após submetem-se ao tratamento térmico, podem ser utilizados a qualquer momento. Os rebites dessa liga são os mais empregados na construção aeronáutica.

Os rebites de ligas 2017 e 2024 têm elevada resistência, sendo principalmente utilizados em estruturas de liga de alumínio. São obtidos do fabricante na condição de termicamente tratados. Entretanto, se as condições vigentes no ambiente onde os rebites ficarem estocados fo-

rem tais (em termos de temperatura) que promovam o seu envelhecimento, o que é possível para essas ligas, então os rebites devem ser novamente tratados termicamente antes do seu uso. A liga 2017 torna-se dura para rebiteagem após 1 hora, ao passo que a liga 2024 sofre o mesmo endurecimento após 10 minutos do resfriamento. Ambas as ligas citadas, devem ser tratadas termicamente, tantas vezes quantas necessárias. Para minimizar a corrosão intergranular, os rebites devem ser anodizados antes do tratamento térmico. Caso os rebites sejam mantidos a baixa temperatura (32° F ou 0° C), tão logo sejam resfriados, eles permanecerão macios por bastante tempo.

Rebites que exijam tratamento térmico são aquecidos; ou, em recipientes cilíndricos imersos em banho de sal; ou, em pequenas cestas colocadas em fornos a ar. O tratamento para a liga 2017 consiste em sujeitar o material feito dessa liga, no caso os rebites, a uma temperatura entre 930° F e 950° F (500° C e 510° C) durante 30 minutos e, imediatamente, resfriar esse material em água fria. Esses rebites alcançarão suas resistências máximas em 9 dias após instalados. Rebites de liga 2024 devem ser aquecidos a uma temperatura entre 910° F e 930° F (490° C e 500° C) e, imediatamente, resfriados em água fria. Esses rebites desenvolvem uma resistência ao cisalhamento maior que a dos rebites de liga 2017 e, são usados em posições onde uma resistência adicional é requerida. Rebites de liga 2024 desenvolvem suas resistências máximas ao cisalhamento 1 dia após terem sido instalados.

Os rebites de liga 2017 devem ser instalados dentro de aproximadamente 1 hora; e os rebites de liga 2024, dentro de 10 ou 20 minutos, após o tratamento térmico ou retirada do refrigerador. Caso não sejam usados nesses intervalos, os rebites devem ser novamente tratados termicamente antes de serem refrigerados.

TRATAMENTO TÉRMICO DAS LIGAS DE MAGNÉSIO

Fundidos em ligas de magnésio, adequam-se facilmente ao tratamento térmico, sendo que na construção aeronáutica, o magnésio é usado principalmente como fundido (cerca de 95% das peças feitas desse metal).

O tratamento térmico dos fundidos em ligas de magnésio é similar ao tratamento térmico

co das ligas de alumínio, pelo fato de existirem dois tipos de tratamento térmico:

1. Tratamento de solução a quente.
2. Tratamento de precipitação a quente (envelhecimento).

O magnésio, entretanto, desenvolve mudanças quase imperceptíveis em suas propriedades, quando se permite o seu envelhecimento natural à temperatura ambiente.

Tratamento de solução a quente

Fundidos de liga de magnésio são tratados por solução a quente para melhorar a resistência à tração, ductilidade e resistência ao impacto. Essa condição de tratamento térmico é indicada pelo uso do símbolo "-T4" seguido da designação da liga. Tratamento de solução a quente seguido do envelhecimento artificial é designado por "-T6". O envelhecimento artificial é necessário para desenvolver todas as propriedades do metal.

As temperaturas usadas no tratamento de solução a quente para fundidos de liga de magnésio variam de 730° F (390° C) a 780° F (420° C), dependendo da liga.

A especificação MIL-H-6857 lista a temperatura para cada liga. O limite superior de cada faixa de temperatura, é a temperatura máxima, até que a liga possa ser aquecida sem correr o risco de que o metal se funda ou derreta.

O tempo de permanência nessa temperatura varia de 10 a 18 horas, sendo que o valor mais correto de permanência depende da liga e da espessura da peça. Peças com mais de 2 polegadas de espessura podem exigir tempos maiores. Ligas de magnésio não podem nunca ser aquecidas em banho de sal, posto que há o perigo de explosão, dada a reatividade do magnésio.

Um sério perigo potencial de fogo existe no tratamento térmico das ligas de magnésio. Caso haja alguma falha e a temperatura seja excedida, a peça fundida pode auto-incendiar-se. Por essa razão, o forno usado deve ser equipado com uma chave de corte que desligue o aquecimento e inicie o seu resfriamento, caso haja falha no funcionamento do equipamento regular de controle.

Algumas ligas de magnésio requerem uma atmosfera protetora, de dióxido de enxofre, durante o tratamento de solução à quente. Isso

ajuda a evitar um início de incêndio, caso a temperatura exceda um pouco o limite.

Resfriamento ao ar é usado após o tratamento de solução a quente das ligas de magnésio, desde que não haja vantagem no resfriamento por líquido.

Tratamento de precipitação a quente

Após o tratamento de solução a quente, as ligas de magnésio podem ser submetidas a um tratamento de envelhecimento, para aumentar o endurecimento e incrementar a resistência. Geralmente, tratamentos de envelhecimento são usados meramente para aliviar tensões e estabilizar as ligas, a fim de prevenir posteriores variações dimensionais, especialmente durante ou após a usinagem. Ambos, o incremento da resistência e da dureza, são conseguidos em parte por esse tratamento, mas com uma ligeira perda na ductilidade. A resistência à corrosão é também melhorada, aproximando nesse sentido as características de uma liga fundida.

As temperaturas para o tratamento de precipitação a quente são consideravelmente menores que as temperaturas para o tratamento de solução a quente, e variam de 325° F (165° C) a 500° F (260° C). O tempo em que as peças devem permanecer nessas temperaturas varia de 4 a 18 horas.

TRATAMENTO TÉRMICO DO TITÂNIO

O titânio é tratado termicamente com os seguintes objetivos:

1. Alívio das tensões adquiridas durante a conformação a frio ou usinagem.
2. Recozimento após trabalho a quente ou a frio (conformação) ou para consignar a máxima ductilidade para um posterior trabalho a frio.
3. Endurecimento térmico para aumentar a resistência.

Alívio das tensões

O alívio das tensões é geralmente usado para remover a concentração de tensões, resultantes da conformação das chapas de titânio. É realizado em faixas de temperatura de 650° F (340° C) a 1000° F (540° C).

O tempo de permanência nessas temperaturas varia de uns poucos minutos para chapas muito finas, até uma hora ou mais para seções espessas.

Um tratamento comum de alívio das tensões é feita a 900° F (480° C), por 30 minutos, seguido de resfriamento em ar ambiente.

A descoloração (manchas) ou casca (carepa) que se forma na superfície do metal, durante o alívio das tensões, é facilmente removido por imersão em solução ácida. Essa solução contém 10% a 20% de ácido nítrico e 1% a 3% de ácido fluorídrico.

A solução deve estar à temperatura ambiente ou ligeiramente acima dessa temperatura.

Recozimento pleno

O recozimento do titânio ou das ligas de titânio provê maleabilidade e ductilidade à temperatura ambiente; estabilidade dimensional e estrutural à temperaturas elevadas; e facilita a usinagem.

O recozimento pleno é, geralmente, efetuado como preparação de uma operação posterior. É realizado entre 1200° F (650° C) e 1650° F (900° C).

O tempo em que a peça permanece nessa temperatura varia de 16 minutos a várias horas, dependendo da espessura do material e da quantidade de trabalho a frio realizado.

Um tratamento típico usado para ligas de titânio é realizado a 1300° F (700° C), por uma hora, seguida por resfriamento ao ar ambiente.

O recozimento pleno, geralmente resulta numa grande formação de casca (carepa), que requeira a sua decapagem cáustica, como um banho de hidróxido de sódio (soda cáustica).

Endurecimento térmico

Titânio puro não pode ser termicamente tratado, mas suas ligas comumente usadas na indústria aeronáutica podem ser endurecidas por tratamento térmico, geralmente com comprometimento da ductilidade.

Para melhores resultados, o resfriamento em banho de água, após aquecimento a 1450° F (790° C), seguido de reaquecimento a 900° F (480° C), por oito horas, é recomendado.

Cementação

A atividade química do titânio e sua rápida absorção de oxigênio, nitrogênio e carbono a temperaturas relativamente baixas, fazem da cementação um tratamento vantajoso. A nitratação, a carbonetação (a cementação como é comumente conhecida) e a carbonitretação podem ser usadas para produzir camadas resistentes ao desgaste superficial, de 0,0001 a 0,0002 polegada de profundidade.

TESTES DE DUREZA

Os testes de dureza são um método para determinação dos resultados de um tratamento térmico, assim como da condição de dureza do metal, antes do tratamento térmico. Uma vez que os valores de dureza possam ser correlacionados aos valores de resistência à tração e, parcialmente, com os de resistência ao desgaste, os testes de dureza são um controle útil para tratamento térmico e propriedades dos materiais.

Praticamente todos os equipamentos atuais para teste de dureza usam a resistência à penetração como medida de dureza.

Incluem-se entre os mais conhecidos testes de dureza o *BRINELL* e o *ROCKWELL*, ambos descritos adiante. Da mesma forma há uma referência ao testador portátil de dureza.

Medidor *BRINELL* de dureza

O medidor *BRINELL* de dureza (Figura 6-68) usa uma esfera de aço muito duro, que é pressionada contra a superfície do metal. Essa esfera tem 10 milímetros de diâmetro. Uma pressão de 3000 Kg é aplicada por 10 segundos se o metal for ferroso; uma pressão de 500 Kg é aplicada por 30 segundos se o metal não for ferroso.

Essa carga é transferida por pressão hidráulica e indicada por um manômetro. Passado o tempo de aplicação da carga, o sistema é aliviado e a marca circular tem seu diâmetro impresso, medido em milímetros, através de um microscópio.

A fim de se determinar o índice de dureza *BRINELL*, há uma tabela que faz referência do diâmetro da marca impressa com a respectiva dureza.

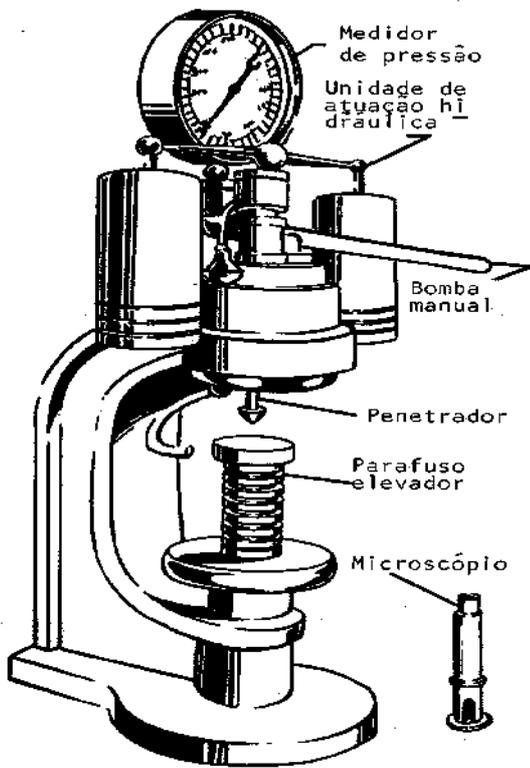


Figura 6-68 Medidor *Brinell* de dureza.

Medidor **ROCKWELL** de dureza

O medidor *ROCKWELL* de dureza (Figura 6-69) mede a resistência à penetração, do mesmo modo que o medidor *BRINELL*. Porém, ao contrário de medir o diâmetro da marca da impressão, o medidor *ROCKWELL* de dureza mede a profundidade da penetração, sendo que a dureza é indicada diretamente na máquina (mostrador). Os dígitos do círculo externo do mostrador são pretos; os dígitos do círculo interno são vermelhos.

Os índices *ROCKWELL* de dureza são baseados na diferença de profundidade da penetração, consideradas uma carga grande e outra menor. Quanto maior for essa diferença, menor o índice de dureza e, conseqüentemente, mais macio é o material.

Dois tipos de penetradores são usados pelo medidor *ROCKWELL* de dureza: um cone de diamante e uma esfera de aço endurecido. A carga que força o penetrador contra o metal é chamada de carga maior, e, é medida em quilogramas.

Os resultados obtidos por cada penetrador e a combinação de cargas são registrados em escalas separadas, designadas por letras. O penetrador, a carga maior e a escala variam com o tipo de metal a ser testado.

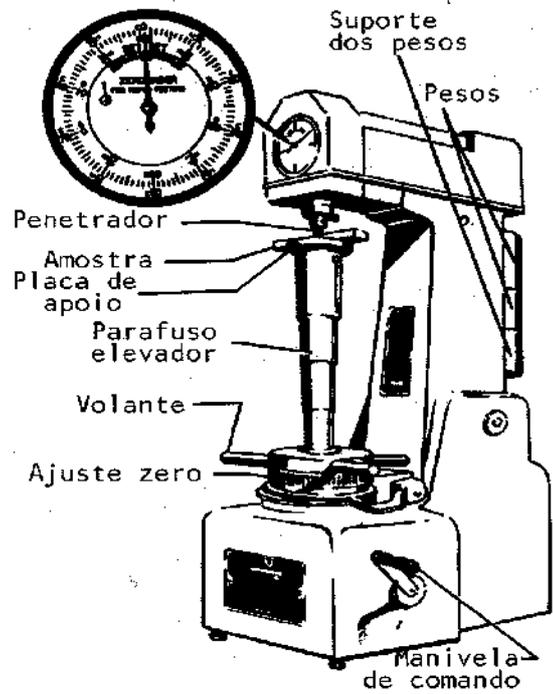


Figura 6-69 Medidor *Rockwell* de dureza.

Para aços endurecidos (temperados), é usado o penetrador de diamante, a carga maior é de 150 quilogramas e a dureza é lida na escala "C" do mostrador. Nesse caso, quando a leitura é feita, deve ser referida a escala *ROCKWELL* "C", usada para testes com metais de dureza C-20 ao aço mais duro (geralmente em torno de C-70). Caso o metal seja mais macio que C-20, é usada a escala *ROCKWELL* "B". Então o penetrador passa a ser uma esfera de aço de 1/16 da polegada e a carga maior, 100 quilogramas.

Além das escalas *ROCKWELL* "B" e "C", são usadas outras para testes especiais. As escalas, penetradores, cargas maiores e valores das escalas correspondentes, estão listados na Figura 6-70.

Símbolo da escala	Penetrador	Carga maior (Kg)	Número do dial
A	Diamante	60	Preto
B	Bola de 1/16"	100	Vermelho
C	Diamante	150	Preto
D	Diamante	100	Preto
E	Bola de 1/8"	100	Vermelho
F	Bola de 1/16"	60	Vermelho
G	Bola de 1/16"	150	Vermelho
H	Bola de 1/8"	60	Vermelho
K	Bola de 1/8"	150	Vermelho

Figura 6-70 Escala padrão *Rockwell* de dureza.

O medidor *ROCKWELL* de dureza é equipado com um suporte para as cargas (pesos). Dois pesos são fornecidos com o equipamento; sendo um marcado de vermelho e outro, de preto. Sem peso no suporte, há uma aplicação de carga da ordem de 60 quilogramas. Caso a escala selecionada exija uma carga de 100 quilogramas, o peso vermelho é colocado no suporte. Para uma carga de 150 quilogramas, o peso preto é adicionado ao suporte junto com o peso vermelho. O peso preto é sempre usado junto ao peso vermelho; nunca é usado sozinho.

Praticamente todos os testes são realizados nas escalas *ROCKWELL* "B" e "C". Para essas escalas, as cores podem ser usadas como uma referência para a seleção do peso (ou pesos) e para a leitura do mostrador.

A escala *ROCKWELL* "B" usa o peso vermelho e confirma os resultados com os dígitos vermelhos do mostrador. A escala *ROCKWELL* "C" usa os pesos vermelho e preto e confirma os resultados com os dígitos pretos do mostrador.

Na utilização do equipamento, usa-se primeiro o penetrador de diamante, para testarmos um material tido como duro em primeira aproximação.

Sendo a dureza desconhecida, tenta-se primeiro o penetrador de diamante, porque caso fosse usada inicialmente a esfera de aço e, sendo o material muito duro, a esfera poderia ser danificada. Confirmado que a dureza é menor que *ROCKWELL* "C-22", passa-se então à esfera e a à escala *ROCKWELL* "B".

Antes da carga maior ser aplicada, o objeto deve ser firmemente preso aonde vai ser testado, para prevenir que escorregue durante a aplicação da carga. Com esse propósito, uma carga de 10 quilogramas é aplicada preliminarmente e, é chamada de carga menor. Esse valor (10kg) independe da escala selecionada.

O material metálico a ser testado deve estar apoiado suavemente no suporte de teste do equipamento, e deve estar livre de arranhaduras e materiais estranhos.

Suas superfícies deve ficar perpendicular ao eixo do penetrador e suas duas faces (opostas) devem ser paralelas. Caso as superfícies não sejam paralelas, o erro obtido na medição, será a função dessa ausência de paralelismo.

Uma superfície curva poderá ser responsável por uma leitura ligeiramente errada, dependendo da curvatura. Esse erro poderá ser

eliminado, aparelhando-se uma pequena área desse corpo, sobre o qual será efetuado o teste.

Ligas de alumínio cladeadas na forma de chapas não podem ser testadas diretamente com o medidor *ROCKWELL* de dureza, a menos que se remova a camada de proteção e se faça o teste com o miolo.

Medidor *BARCOL* de dureza

O medidor *BARCOL* de dureza (Figura 6-71) é uma unidade portátil projetada para efetuar testes em ligas de alumínio, cobre, latão e outros materiais, relativamente macios. Não deve ser usado em aços aeronáuticos.

A faixa de utilização desse equipamento varia de 25 a 100 *Brinell*. Essa unidade pode ser usada em qualquer posição e em espaços exíguos, onde caiba a mão do operador. É de grande utilidade para a realização de teste de dureza para peças ou componentes já instalados, especialmente para confirmar a qualidade do tratamento térmico.

A dureza é indicada num mostrador dividido em 100 graduações.

O projeto do medidor *BARCOL* de dureza, foi feito de tal forma, que não exige habilidade do operador. Basta exercer uma ligeira pressão contra o material a ser testado para que uma mola com carga preestabelecida force um penetrador contra esse material.

A sua dureza é lida, no mesmo momento, no mostrador.

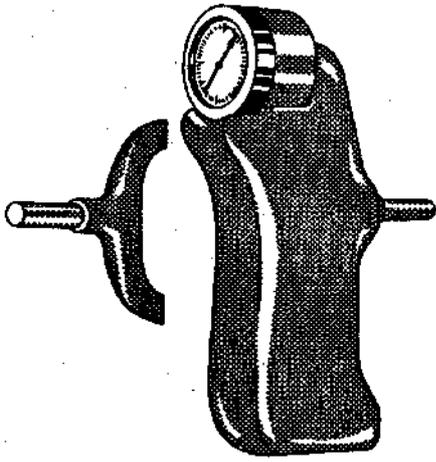
Leituras típicas de ligas de alumínio usuais, testadas por esse método, são listadas na tabela 6-72.

Observe que os valores da escala *BARCOL* de dureza são maiores quanto maior for a dureza do material.

Para prevenir danos à ponta do penetrador, deve-se evitar que a mesma arraste-se ou resvale sobre a superfície, quando da realização do teste.

Caso a ponta fique danificada, deve ser prontamente substituída por uma nova. Não deve ser feita nenhuma tentativa de amolá-la em esmeril. Cada medidor *BARCOL* de dureza vem equipado com um disco para teste das condições da ponta do penetrador.

Para que se efetue o teste, basta pressionar o instrumento contra o disco de teste, confirmando-se a leitura do mostrador com o valor especificado nesse disco.



Liga e Têmpera	Número Barcol
1100-O	35
3003-O	42
3003-H14	56
2024-O	60
5052-O	62
5052-H34	75
6061-T	78
2024-T	85

Figura 6-71 Medidor *Barcoll* de dureza (portátil).

Figura 6-72 Leituras típicas *Barcol* para ligas de alumínio

CAPÍTULO 7

FÍSICA

INTRODUÇÃO

A física é o termo aplicado à área de conhecimento, relativo à natureza básica e fundamental da matéria e energia. Ela não tenciona determinar o comportamento da matéria e da energia na sua relação com o fenômeno físico, mas tão somente como se comportam.

As pessoas que cuidam de manutenção e reparo de aeronaves precisam ter conhecimentos de física básica, que é, às vezes, chamada de ciência da matéria e energia.

MATÉRIA

Embora a matéria seja a mais fundamental de todas as coisas contidas no campo da física e do mundo material, é difícil de se definir. Como não pode ser categoricamente definida, este capítulo indicará aquelas características que são facilmente reconhecidas.

A matéria em si mesma não pode ser destruída, mas pode ser transformada de um estado para outro, por meios físicos ou químicos. Ela é, normalmente, considerada pela energia que contém, absorve ou oferece. Sob certas condições controladas, o homem pode utilizar-se disto na sua vida diária.

Matéria é qualquer substância que ocupa espaço e tem peso. Existem três estados de matéria: (1) sólido, (2) líquido e (3) gasoso. Sólidos têm volume e forma definidos; líquidos tem volume definido, mas tomam a forma do recipiente que os contém; gases não têm volume nem forma definidos. Os gases não apenas tomam a forma do recipiente, no qual são contidos, como expandem-se para completá-lo, seja qual for o seu volume.

A água é um bom exemplo de transformação de matéria de um estado para outro. Sob temperatura alta, ela está no estado gasoso, na forma de vapor.

Sob temperatura moderada, permanece na forma líquida e, sob baixas temperaturas torna-se gelo, um estado sólido. Neste exemplo, a temperatura é o fator dominante na determinação do estado que a substância assume. A pres-

são é um outro fator importante que produzirá transformações no estado da matéria.

Sob pressões inferiores à pressão atmosférica, a água ferverá, transformando-se em vapor, sob temperaturas abaixo de 100°C. A pressão é um fator crítico na transformação de alguns gases em líquidos ou sólidos. Normalmente, quando pressão e resfriamento ao mesmo tempo, são aplicados a um gás, ele assume o estado líquido. O ar líquido, que é uma mistura de oxigênio e nitrogênio, é produzido desta maneira.

Características da matéria

Toda matéria possui certas características ou propriedades gerais. Estas propriedades são definidas de forma, elementar e superficial e, mais especificamente, em aplicações através do texto. Entre estas propriedades e circunstâncias estão:

a. Volume - significando ocupar espaço; tendo algumas medidas como comprimento, largura e altura. Pode ser medido em polegadas cúbicas, centímetros cúbicos e semelhantes.

b. Massa - é a medição de quantidade, ou a medida da quantidade de matéria num corpo. A massa não varia, mesmo que o estado se modifique.

c. Atração - é uma força agindo mutuamente entre partículas de matéria, tendendo a agrupá-las. Isaac Newton chamou-a de "Lei de Gravidade Universal". ele demonstrou como cada partícula de matéria atrai todas as outras, como as pessoas se mantêm sobre a terra e como os planetas são atraídos no sistema solar.

d. Peso - a medida de gravidade universal. A força de gravidade sobre um corpo é chamada de peso do corpo e indica quão pesado o corpo está.

e. Densidade - a massa (peso) de uma substância por unidade de volume. A densidade pode ser empregada para distinguir vários tipos de matéria. Se uma substância é muito densa, uma grande quantidade desta matéria irá ocupar um pequeno volume.

f. Inércia - é a oposição que um corpo oferece a qualquer mudança de movimento. A propriedade de inércia é comum a todas as matérias. É melhor conceituada através da primeira

lei de Newton: "Um corpo em repouso permanece parado e um corpo em movimento continua a se mover em velocidade constante em linha reta, a menos que o corpo seja afetado, em ambos os casos, por uma força externa."

g. Porosidade - existência de poros ou espaços vazios, onde partículas menores possam se ajustar quando ocorre mistura.

h. Impenetrabilidade - significa que dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo. Então, duas porções de matéria não podem ao mesmo tempo, ocupar o mesmo lugar no espaço.

A matéria pode ser classificada como simples ou composta, dependendo da complexidade de sua estrutura. Matéria simples (ou elemento) não pode ser reduzida quimicamente a uma substância mais simples. Matéria composta é aquela formada por alguma combinação de elementos.

Duas partículas básicas, o átomo e a molécula, formam toda e qualquer matéria. A molécula é a menor partícula de uma substância, que ainda conserva todas as propriedades da substância original.

Em física, a molécula é a unidade de matéria. O átomo é a menor partícula de um elemento, que pode combinar com outros átomos para formar moléculas. Em química, o átomo é a unidade de matéria.

Embora o assunto possa parecer complexo, é difícil conceber qualquer coisa mais simples do que a matéria. Ela pode ser referida como "tudo que ocupa lugar no espaço".

Sistema de medida

Os dois sistemas de medição mais comumente usados são: o Sistema Inglês, que ainda é, geralmente, usado nos Estados Unidos; e o Sistema Métrico, usado na maioria dos países europeus e, então, adotado pelas Forças Armadas dos Estados Unidos. O Sistema Métrico é normalmente usado em todas as aplicações científicas.

As três unidades básicas que requerem unidades de medição são: massa (peso), comprimento (distância) e tempo.

O sistema métrico é, às vezes, chamado de Sistema CGS, porque utiliza, como unidades básicas de medição, o centímetro (C) para medir comprimento; o grama (G) para medir massa; e o segundo (S) para medir tempo.

O sistema inglês usa medidas diferentes para medir massa e comprimento. A "libra" é a unidade de peso; o "pé" é a unidade para medir comprimento; e o "segundo" é usado para medir tempo, como no sistema métrico.

As medidas de um sistema podem ser convertidas em unidades do outro, usando-se um fator de conversão, ou por referência a uma tabela semelhante à mostrada na figura 7-1.

Nesta figura os sistemas, inglês e métrico, são comparados; adicionalmente é incluída uma coluna de equivalência, que pode ser usada para converter unidades de um sistema para o outro.

FLUIDOS

Generalidades

Líquidos e gases são chamados de fluidos, porque ambos fluem livremente. Um fluido é definido como uma substância que modifica sua forma facilmente e torna o espaço do recipiente em que é contido. Isto aplica-se tanto aos líquidos quanto aos gases. As suas características podem ser agrupadas sob similaridades e diferenças. As características similares são as seguintes:

1. Ambos não têm forma definida e acomodam-se na forma dos recipientes em que se encontram.
2. Ambos prontamente transmitem pressões.

As características distintas são as seguintes:

1. Os gases ocupam seus recipientes completamente.
2. Os gases são mais leves do que os líquidos em iguais volumes.
3. Os gases são altamente compressíveis, mas os líquidos apenas um pouco.

Estas diferenças serão descritas adiante, na discussão concernente às propriedades e características dos fluidos em repouso.

Também serão abordados alguns dos fatores que afetam os fluidos em diferentes situações.

Densidade e Gravidade Específica

A densidade de uma substância é o seu peso por unidade de volume. A unidade de volume selecionada para uso no sistema inglês para medição é 1 pé cúbico. No sistema métrico a unidade é 1 centímetro cúbico. Portanto, a densidade é expressa em lb/ft³ (libras por pé

cúbico) ou g/cm³ (gramas por centímetro cúbico).

Para encontrar a densidade de uma substância, seu peso e volume precisam ser conhecidos. Seu peso é então dividido por seu volume, para encontrar o peso por unidade de volume.

Por exemplo, o líquido que completa um certo recipiente pesa 1.497,6 libras.

	Sistema métrico	Sistema inglês	Equivalentes
Comprimento (Distância)	CENTÍMETRO 1 centímetro = 10 milímetros 1 decímetro = 10 centímetros 1 metro = 100 centímetros 1 quilômetro = 1000 metros	1 pé = 12 polegadas 1 jarda = 3 pés 1 milha = 5.280 pés	1 pol. = 2,54 cm 1 pé = 30,5 cm 1 metro = 39,37 polegadas 1 quilometro = 0,62 milhas
Peso (Massa)	GRAMA 1 grama = 1000 miligramas 1 quilograma = 1000 gramas	LIBRA 1 libra = 16 onças 1 ton = 2000 libras	1 lb = 453,6 gramas 1 kg = 2,2 lb.
Tempo	SEGUNDO O mesmo que o sist. inglês	SEGUNDO 1 segundo = $\frac{1}{86400}$ de um dia solar médio.	O mesmo tempo para os dois sistemas

Figura 7-1 Comparação entre os Sistemas de medida métrico e inglês.

O recipiente tem 4 pés de comprimento, 3 pés de largura e 2 pés de altura. Seu volume é de 24 pés cúbicos (4 x 3 x 2). Se 24 pés cúbicos de um líquido pesa 1.497,6 libras, então 1 pé cúbico pesa 1.497,6/24 ou 62,4 libras. Portanto a densidade do líquido é 62,4 lb/ft³.

Esta é a densidade da água a 4°C e é normalmente usada para comparação de densidades de outras substâncias. (No sistema métrico, a densidade da água é de 1 g/cm³).

A temperatura padrão de 4°C é usada para medir-se a densidade de líquidos e sólidos. Mudanças na temperatura não modificarão o peso de uma substância, mas modificarão seu volume por expansão e contração, modificando, então, seu peso por unidade de volume.

O procedimento para achar a densidade aplica-se a todas as substâncias; todavia é necessário considerar a pressão, quando procurando a densidade de gases.

A temperatura é mais crítica quando se mede a densidade dos gases do que as de outras substâncias. A densidade de um gás aumenta na proporção direta da pressão exercida sobre ele. As condições padrão para medição da densidade foram estabelecidas em 0°C de temperatura a uma pressão de 76 cm. de mercúrio (esta é a pressão média da atmosfera ao nível do mar).

A densidade para todos os gases é calculada com base nestas condições. Frequentemente é necessário comparar a densidade de substâncias diferentes. Por este motivo, o padrão é necessário.

A água é o padrão que os físicos escolheram na comparação da densidade de todos os líquidos e sólidos. Para os gases, o padrão mais comumente usado é o ar. Entretanto o hidrogênio é às vezes usado como padrão para os gases.

Em física a palavra "específico" denota uma proporção.

Então, a gravidade específica é calculada, por comparação do peso de um volume definido, de uma dada substância, com o peso de um igual volume de água.

Os termos "peso específico" ou "densidade específica" são às vezes usados para expressar essa proporção.

As seguintes fórmulas são empregadas para encontrar a gravidade específica de líquidos e sólidos:

$$\text{gr. esp.} = \frac{\text{peso da substancia}}{\text{peso de igual volume d'agua}} \quad \text{ou,}$$

$$\text{gr. esp.} = \frac{\text{densidade da substancia}}{\text{densidade de agua}}$$

As mesmas fórmulas são usadas para achar a densidade dos gases, substituindo água por ar ou hidrogênio.

A gravidade específica não é expressa em unidades, mas por números puros.

Por exemplo, se um certo líquido hidráulico tem uma gravidade específica de 0,8, 1 pé cúbico do líquido pesa 0,8 vezes o que pesa 1 pé cúbico de água: 62,4 vezes 0,8 ou 49,92 libras.

No sistema métrico, 1 cm cúbico de uma substância com gravidade específica de 0,8 pesa 1 vez 0,8 ou 0,8 gr. (observe que no sistema métrico a gravidade específica de um líquido ou sólido tem o mesmo valor numérico que sua densidade.

Como o ar pesa 1,293 gramas por litro, a gravidade específica de gases não é igual às densidades métricas).

Gravidade específica e densidade são independentes do tamanho da amostra sob consideração e, depende apenas da substância de que ela seja feita. Ver na figura 7-2, os valores de gravidade específica relativos a várias substâncias.

Um dispositivo chamado densímetro é utilizado para medir a gravidade específica de líquidos. Tal medidor consiste de uma bóia de vidro com forma tubular, contida num tubo de vidro maior (ver figura 7-3).

O tubo de vidro é o recipiente para o líquido, tendo na parte superior um bulbo de borracha para succionar o líquido para o interior do recipiente.

É preciso haver líquido bastante para erguer a bóia de vidro, mantendo-a afastada do fundo do recipiente. A bóia tem um determinado peso e possui uma escala graduada verticalmente.

Para determinar a gravidade específica, a escala deve ser lida na superfície do líquido em que está imersa.

A indicação 1000 é lida quando se tratar de água pura. Quando imersa em líquido de maior densidade, a bóia eleva-se, indicando maior gravidade específica.

No caso de líquidos de densidade mais baixa, a bóia afunda, indicando uma menor gravidade específica.

Um exemplo de uso do densímetro é a medição da densidade específica do eletrólito (solução de bateria) em baterias de aeronaves.

Quando a bateria está descarregada a bóia indicadora imersa na solução ácida indicará aproximadamente 1150. A indicação da bateria carregada fica entre 1275 e 1310.

Flutuabilidade

Um corpo sólido pesa menos submerso num líquido ou num gás do que em espaço livre, por causa da força para cima que qualquer fluido exerce sobre um corpo nele submerso. Um objeto flutuará, caso a força para cima (chamada flutuação) do fluido seja maior do que o peso do objeto.

Objetos mais densos do que o fluido afundarão prontamente, ainda que pareçam perder parte do seu peso quando submersos. Uma pessoa pode erguer maior peso dentro d'água do que fora dela.

A experiência seguinte está ilustrada na figura 7-4. Um recipiente para transferência de líquido é completado com água até o nível da torneira.

Um cilindro de metal maciço é primeiro pesado fora d'água e depois, quando completamente submerso, dentro dela.

A diferença entre os dois pesos é a força de flutuação da água. O cilindro é mergulhado no recipiente de transferência, e a água que se esgota através da torneira é colhida no outro recipiente.

O volume da água transferida é igual ao volume do cilindro mergulhado.

O volume de objetos de forma irregular pode ser medido por este método.

Se esta experiência for feita cuidadosamente, o peso da água deslocada pelo cilindro metálico será exatamente igual à força de flutuação da água.

Experiências similares foram realizadas por Arquimedes (287-212 A.C.). Ele descobriu que a força de flutuação que um fluido exerce sobre um corpo submerso é igual ao peso do fluido que o corpo desloca.

Esta afirmação é referida como "princípio de Arquimedes".

Este princípio aplica-se a todos os fluidos, gases e líquidos.

Assim como a água exerce uma força de flutuação em objetos, o ar também a exerce em objetos nele mergulhados.

Sólidos	Gravidade específica	Líquidos (Temp. ambiente)	Gravidade específica	Gases (Ar padrão a 0° C e 760 cm. de mercúrio)	Gravidade Específica
Alumínio	2,7	Álcool etílico	0,789	Ar	1,000
Bronze	8,8	Gasolina	0,68	Hidrogênio	0,0695
Cobre	8,9		0,72		
Gelo	0,917	Óleo (parafina)	0,8	Nitrogênio	0,967
		Água	1,00	Oxigênio	1,105

Figura 7-2 Valores típicos da gravidade específica.

TEMPERATURA

A temperatura é um fator predominante que afeta as propriedades de fluidos. Particularmente quando calculando mudança no estado físico dos gases.

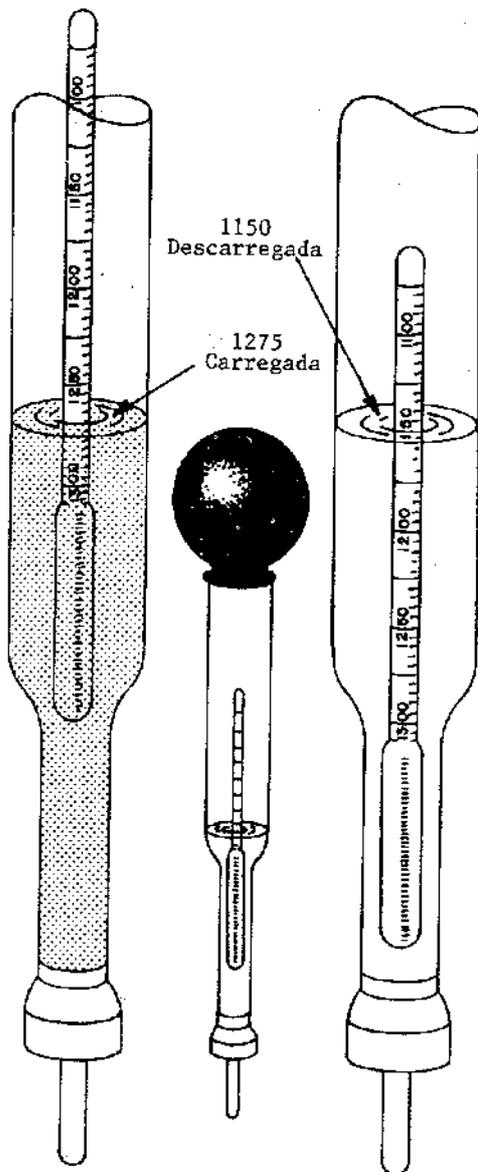


Figura 7-3 Densímetro.

As três escalas de temperaturas largamente usadas são: a centrígrada, a Fahrenheit e a absoluta ou Kelvin. A escala centígrada é feita usando-se os pontos de congelamento e de fervura da água, sob condições padrão, com pontos fixos de 0 a 100, com 100 divisões iguais intermediárias; a escala Fahrenheit usa 32° como o ponto de congelamento da água e 212° como ponto de fervura e, tem 180 divisões intermediárias iguais; a escala absoluta ou Kelvin é montada com o seu ponto zero estabelecido como -273°C ou -459,4°F. abaixo do ponto de congelamento de água. A situação dos demais pontos desta escala é mostrada em B da figura 7-5.

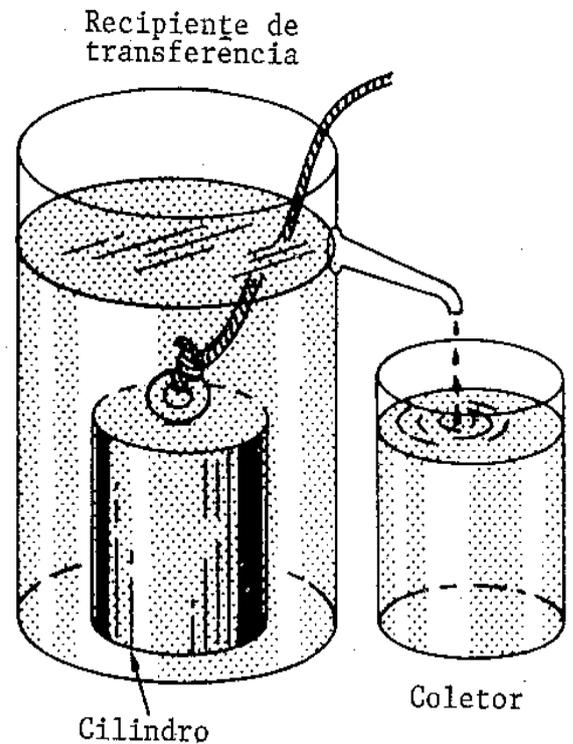


Figura 7-4 Medição da força de flutuação.

O zero absoluto, uma das constantes fundamentais da física, é comumente usado no estudo dos gases.

É expresso normalmente na escala centígrada. Se a energia calorífica de um determinado gás pudesse ser progressivamente reduzida, seria atingida uma temperatura na qual o movimento das moléculas cessaria completamente. Se cuidadosamente determinada, esta temperatura poderia então ser tomada como uma referência natural ou como um verdadeiro valor do "zero absoluto". Experiências com hidrogênio indicaram que em um gás

resfriado a $-273,16^{\circ}\text{C}$ (-273° , na maior parte dos cálculos), todo o movimento molecular cessaria e nenhum calor adicional poderia ser extraído da substância.

Quando temperaturas são medidas considerando a referência de zero absoluto, elas são expressas como zero na escala absoluta ou Kelvin. Então, o zero absoluto pode ser expresso como 0°K , como -273°C ou como $-459,4^{\circ}\text{F}$ (na prática, -460° na maioria dos cálculos).

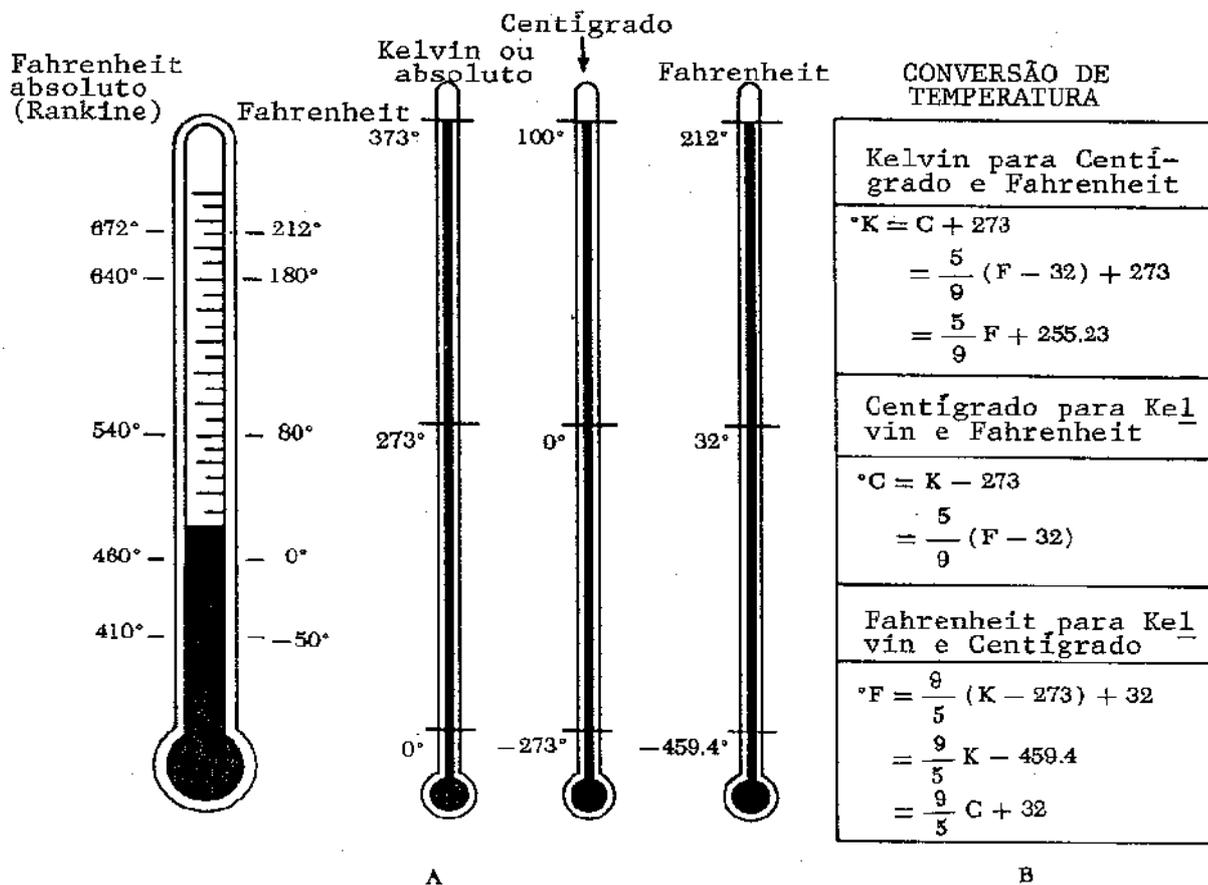


Figura 7-5 (A) Escala Rankine, usada para converter Fahrenheit para absoluto. (B) Comparação das temperaturas Fahrenheit, Centígrado e Kelvin.

Ao trabalhar com temperaturas, certifique-se, sempre, quanto ao sistema de medição que está sendo usado e, saiba como converter as temperaturas.

As fórmulas de conversão são mostradas na letra B da figura 7-5. Para fins de cálculos, a escala Rankine, ilustrada na figura 7-5 é comumente usada para converter Fahrenheit em absoluta. Para leituras Fahrenheit acima de zero, adicionar 460°.

Desta forma 72°F é igual a 460° mais 72° ou 532° absolutos. Se a leitura Fahrenheit for abaixo de zero, subtrair de 460° . Assim, -40°F é igual a 460° menos 40° , ou 420° absolu-

tos. É necessário destacar que a escala Rankine não indica leitura de temperatura absoluta de acordo com a escala Kelvin, mas estas conversões podem ser usadas para cálculos de modificações no estado físico dos gases.

As escalas Kelvin e Centígrada são usadas mais efetivamente em trabalhos científicos; portanto muitos manuais técnicos usam estas escalas quando tratando de orientações e instruções de operação.

A escala Fahrenheit é comumente usada nos Estados Unidos e a maioria das pessoas são familiarizadas com ela. Portanto a escala Fahrenheit é usada em muitas partes deste texto.

PRESSÃO

O termo "pressão", conforme é usado em todo este capítulo, é definido como uma força por unidade de área. A pressão é, normalmente, medida em p.s.i. (pounds per square inch, ou libras por polegada quadrada). Às vezes a pressão é medida em polegadas de mercúrio ou, para pressões muito baixas, em polegadas de água.

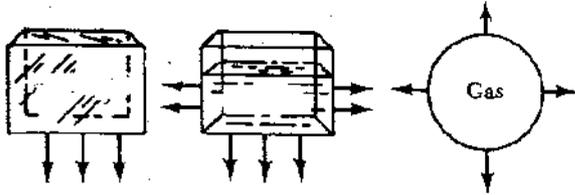


Figura 7-6 Pressão exercida.

A pressão pode estar em uma direção, várias direções ou em todas as direções (Veja a figura 7-6). Gelo (um sólido) exerce pressão apenas para baixo. Água (um fluido) exerce pressão em todas as superfícies com as quais entra em contato. Gás (um fluido) exerce pressão em todas as direções, porque ele ocupa completamente o recipiente que o contém.

PRESSÃO ATMOSFÉRICA

A atmosfera é a massa total de ar que circunda a terra. Embora ela se estenda acima de 900Km (500 milhas), a seção de interesse principal é a porção do ar que fica sobre a superfície da terra e se estende em torno de 14 Km (7,5 milhas). Esta camada é chamada de troposfera, e quanto maior for a altura, menor será a pressão. Isto é devido ao peso do ar. Se uma coluna de ar de uma polegada quadrada que se estenda por todo o caminho até o topo da camada atmosférica fosse pesada, ela teria aproximadamente 14,7 libras ao nível do mar. Deste modo, a pressão atmosférica ao nível do mar é de aproximadamente 14,7 p.s.i..

Quando a altitude aumenta, a pressão atmosférica diminui aproximadamente 1,0 p.s.i. a cada 2.343 pés. No entanto, abaixo do nível do mar, a pressão atmosférica aumenta. As pressões sob a água diferem daquelas somente sob o ar, porque o peso da água deve ser adicionado ao peso do ar.

A pressão atmosférica, os efeitos da temperatura sobre ela e os meios utilizados

para medi-la serão discutidos com maiores detalhes em outra seção deste capítulo.

Pressão absoluta

Como afirmado anteriormente, a temperatura absoluta é usada nos cálculos de mudanças no estado dos gases. Também é necessário o uso da pressão absoluta para esses cálculos.

A pressão absoluta é medida da pressão zero absoluta, preferivelmente, do que da normal ou da pressão atmosférica (aproximadamente 14,7 p.s.i.).

A escala de pressão é usada normalmente em todos os medidores, e indica a pressão que excede a atmosférica.

Por esta razão, a pressão absoluta é igual a pressão atmosférica mais a pressão do indicador.

Por exemplo, 100 p.s.i.g. (libras por polegada quadrada indicada) é igual a 100 p.s.i. mais 14,7 p.s.i. ou 114,7 p.s.i.a. (libras por polegada quadrada absoluta).

Incompressibilidade e expansão dos líquidos

A compressão dos líquidos, que é a redução do volume que eles ocupam, mesmo sob extrema pressão, é tão pequena, que pode ser considerada desprezível.

Se uma pressão de 100 p.s.i. for aplicada a uma quantidade substancial de água, o seu volume decrescerá somente 3/10.000 do seu volume original. Seria necessário uma força de 64.000 p.s.i. para reduzir o seu volume em 10%. Como os outros líquidos se comportam da mesma maneira, os líquidos são, usualmente, considerados incompressíveis.

Os líquidos geralmente se expandem quando aquecidos. Esta ação é normalmente conhecida como expansão térmica.

Todos os líquidos não se expandem na mesma quantidade para um certo aumento de temperatura.

Se dois frascos forem colocados em um recipiente aquecido, e se um deles estiver cheio de água e o outro de álcool, a expansão do álcool será maior do que a da água pela mesma razão de temperatura.

A maioria dos óleos se expandem mais do que a água. Os sistemas hidráulicos das aeronaves contém meios de compensar esse aumento de volume, de modo a evitar danos ao equipamento.

COMPRESSIBILIDADE E EXPANSÃO DE GASES

As duas maiores diferenças entre gases e líquidos são suas características de compressibilidade e expansão. Embora os líquidos sejam praticamente não compressíveis, os gases são altamente compressíveis. Os gases preenchem totalmente qualquer recipiente fechado que os contenham, mas os líquidos enchem um recipiente somente na extensão de seu volume normal.

TEORIA CINÉTICA DOS GASES

A estrutura dos gases os torna rapidamente adaptáveis a análise matemática, da qual surgiu a teoria detalhada do comportamento dos gases, chamada teoria cinética dos gases. A teoria pressupõe que a massa do gás é composta de moléculas idênticas que se comportam como esferas elásticas pequenas, separadas relativamente longe entre si e continuamente em movimento.

O grau do movimento molecular depende da temperatura do gás, uma vez que as moléculas estão freqüentemente batendo umas nas outras e contra as paredes do recipiente; um aumento na temperatura, com o conseqüente aumento no movimento molecular, causa um aumento correspondente no número de colisões entre as moléculas. O número aumentado de colisões resulta num número maior de moléculas que colidem nas paredes do recipiente numa certa unidade de tempo.

Se o recipiente fosse um vaso aberto, o gás se expandiria e transbordaria. Contudo, se o recipiente é selado e possui elasticidade (tal qual uma bola de borracha), a pressão aumentada determinaria a expansão do recipiente.

Por exemplo, ao fazer uma longa viagem num dia quente, a pressão nos pneus de um automóvel aumenta; e o pneu, que parecia ser algo macio numa manhã fresca, pode parecer normal numa temperatura maior ao meio dia.

Tais fenômenos como esses são explicados por leis concernentes a gases e, tendem a corroborar a teoria cinética.

A qualquer momento, algumas das moléculas do gás se movem numa dada direção, algumas em outra direção; algumas viajam rapidamente, outras lentamente; algumas não se movem. O efeito combinado dessas velocidades

des corresponde a temperatura do gás. Em qualquer quantidade considerável de gás, existem tantas moléculas presentes que, de acordo com "as leis da probabilidade" uma velocidade média pode ser encontrada. Se essa velocidade média existisse em todas as moléculas do gás, produziria o mesmo efeito numa dada temperatura como resultante das várias velocidades.

Lei de Boyle

Como afirmado anteriormente, a compressibilidade é uma característica marcante dos gases. O cientista inglês Robert Boyle estava entre os primeiros a estudar essa característica que ele chamou "espalhamento do ar". Pela medição direta ele descobriu que, quando a temperatura de uma amostra combinada de gás era mantida constante e a pressão dobrava, o volume era reduzido a metade do valor anterior; a medida que a pressão aplicada diminuía, o volume aumentava. Dessas observações, ele concluiu, que para uma temperatura constante, o produto do volume e a pressão para um gás preso permanece constante. A lei de Boyle é estabelecida: "o volume de um gás seco enclausurado varia inversamente com sua pressão, permanecendo constante a temperatura".

Essa lei pode ser demonstrada apriacionando uma quantidade de gás num cilindro, que tem um pistão firmemente posicionado. Uma força, é então aplicada ao pistão, de modo a comprimir o gás no cilindro de algum volume específico. Quando a força aplicada no pistão é dobrada, o gás é comprimido à metade do seu volume original, como indicado na Figura 7-7.

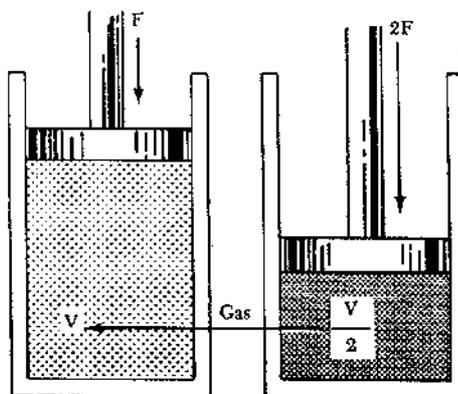


Figura 7-7 Metade do volume pelo dobro da força.

Na equação, a relação pode ser expressa por:

$$V_1 P_1 = V_2 P_2 \text{ ou } \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

onde, V_1 e P_1 são volume e pressão iniciais, e V_2 e P_2 são volume e pressão posteriores.

Exemplo da Lei de Boyle: 4 pés cúbicos de nitrogênio estão sob uma pressão de 100 p.s.i.g. Ao nitrogênio é permitida uma expansão para um volume de 6 pés cúbicos.

Qual é a nova pressão indicada ?

Fórmula ou equação:

$$V_1 P_1 = V_2 P_2 \quad \text{Substituindo: } 4 \times (100) = 6 \times P_2 \\ \Rightarrow P_2 = \frac{4 \times 100}{6} \Rightarrow P_2 = 66,6 \text{ p.s.i.g.}$$

Um gás que se comporta de acordo com a lei de Boyle, é considerado um gás ideal. Quando a pressão aumenta sobre o gás, seu volume diminui proporcionalmente e sua densidade aumenta. Dessa forma, a densidade do gás varia diretamente com a pressão, se a temperatura permanecer constante como no caso de um gás ideal. A densidade também varia com a temperatura, uma vez que os gases se expandem quando aquecidos e se contraem quando esfriados.

As aplicações úteis da lei de Boyle são muitas e variadas. Algumas aplicações mais comuns na aviação são:

- 1- garrafas de dióxido de carbono (CO_2) usadas para inflar botes e coletes salva-vidas.
- 2- garrafas de oxigênio sob pressão e de acetileno usados em soldagem.
- 3- freios e amortecedores de choque a ar comprimido.
- 4- garrafa de oxigênio para vôos a grandes altitudes e para uso em emergência.

Lei de Charles

O cientista francês Jacques Charles colaborou muito na fundação da teoria cinética moderna dos gases.

Ele descobriu que todos os gases se expandem e contraem numa proporção direta à mudança na temperatura absoluta, permanecendo a pressão constante. Na forma de equação, essa parte da lei pode ser expressa.

$$V_1 T_2 = V_2 T_1 \text{ ou } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

A equação significa que, com um volume constante, a pressão absoluta do gás varia diretamente com a temperatura absoluta.

Exemplos da lei de Charles:

Um cilindro de gás sob uma pressão de 1.800 p.s.i.g. a 70°F é mantido sob o sol tropical e a temperatura sobe para 130°F . Qual a nova pressão dentro do cilindro? A pressão e a temperatura devem ser convertidas para absolutas.

Fórmula ou equação:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:

$$70^\circ\text{F} = 530^\circ \text{ absolutos}$$

$$130^\circ\text{F} = 590^\circ \text{ absolutos}$$

Substituindo:

$$\frac{1800 + 14,7}{P_2} = \frac{530}{590} \quad \text{Então: } P_2 = \frac{(590)(1814,7)}{530}$$

$$P_2 = 2.020 \text{ p.s.i.a.}$$

Convertendo a pressão absoluta para a pressão indicada:

$$2.020,0$$

$$- \quad 14,7$$

$$\hline 2.005,3 \text{ p.s.i.g.}$$

Balões livres voando na estratosfera, os gases de aeronaves a jato, e os efeitos das nuvens e do tempo nos instrumentos de registro, podem ser explicados pelo uso da lei de Charles. Aqui estão aplicações práticas da lei de física que ajuda o piloto, o controlador de ar e o aerógrafo nos seus serviços. Voar se torna mais seguro quando os humanos são capazes de aplicar essa lei no manuseio dos dados de tempo, tão vital para a aviação.

Lei geral dos gases

Os fatos referentes aos gases discutidos nas seções anteriores são resumidos e ilustrados na figura 7-8. A lei de Boyle é expressa em "A" da figura, e os efeitos das mudanças de temperatura na pressão e volume (lei de Charles) são ilustradas em "B" e "C", respectivamente. Ao combinar as leis de Boyle e Charles, uma expressão única pode ser encontrada, estabelecendo todas as informações contidas em ambas. Essa expressão é chamada "a lei geral dos gases", uma fórmula muito útil a partir da

qual é dada a equação que se segue. (Nota: o P e T maiúsculos significam pressão absoluta e temperatura absoluta, respectivamente).

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

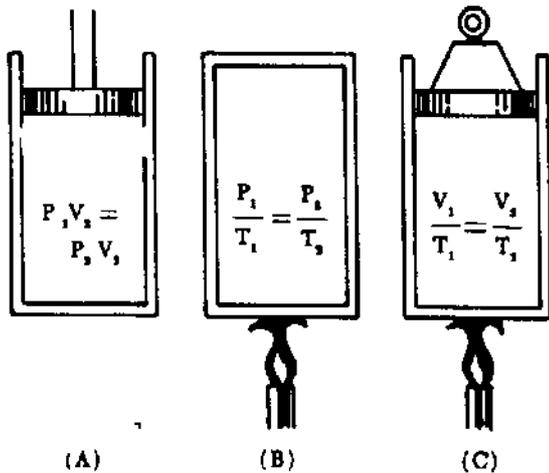


Figura 7-8 Lei geral dos gases.

Um exame da figura 7-8 revela que as três equações são casos especiais da equação geral. Portanto, se a temperatura permanecer constante, T_1 igual a T_2 , ambas podem ser eliminadas da fórmula geral, que então se reduz para a forma mostrada em "A". Quando o volume permanecer constante, V_1 igual a V_2 , reduzindo a equação geral para a forma dada em "B". Similarmente P_1 é igual a P_2 pela constante pressão, e a equação toma a forma dada em "C".

A lei geral dos gases aplica-se com exatidão somente para gases perfeitos ou "ideais", em que as moléculas são assumidas para serem perfeitamente elásticas. Ainda que a lei descreva o comportamento atual dos gases, com exatidão suficiente para a maioria dos propósitos práticos.

A seguir, dois exemplos da equação geral:

1 - Dois pés cúbicos de um gás a 75 libras por polegada quadrada e a 80°F. são comprimidos para um volume de 1 pé cúbico e, então, aquecido a uma temperatura de 300°F. Qual a nova pressão indicada?

Formula ou equação:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:

$$80^\circ\text{F} = 540^\circ \text{ABSOLUTO}$$

$$300^\circ\text{F} = 760^\circ \text{ABSOLUTO}$$

Substituindo:

$$\frac{(75 + 14,7)(2)}{540} = \frac{P_2(1)}{760} \text{ Então:}$$

$$\frac{179,4}{540} = \frac{P_2}{760} \Rightarrow P_2 = \frac{(179,4)(760)}{540}$$

$$P_2 = 252,5 \text{ p.s.i.a.}$$

Convertendo pressão absoluta para pressão indicada:

$$252,5$$

$$- 14,7$$

$$237,8 \text{ p.s.i.g.}$$

2 - Quatro pés cúbicos de um gás a 75 p.s.i.g. e 80°F. são comprimidos a 237,8 p.s.i.g. e aquecidos para uma temperatura de 300°F. Qual é o volume de gás resultante desta operação ?

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Usando o sistema Rankine:

$$80^\circ\text{F} = 540^\circ \text{absoluto}$$

$$300^\circ\text{F} = 760^\circ \text{absoluto}$$

Substituindo:

$$\frac{(75 + 14,7)(4)}{540} = \frac{(237,8 + 14,7)V_2}{760}$$

$$V_2 = \frac{358,8 \times 760}{540 \times 252,2} \Rightarrow V_2 = 2 \text{ pés cúbicos}$$

Lei de Avogadro

Avogadro, um físico italiano, conceituou a teoria que "na mesma temperatura e pressão, volumes iguais de diferentes gases, contêm iguais números de moléculas". Esta teoria foi provada por experiências e, comprovada com a teoria cinética, tanto que ela foi mostrada como "a lei Avogadro."

Lei de Dalton

Se a mistura de dois ou mais gases que não combinam quimicamente é colocada em

um recipiente, cada gás se expande através do espaço total e, a pressão absoluta de cada gás é reduzida para um pequeno valor, chamado de pressão parcial. Esta redução está de acordo com a lei de Boyle. A pressão dos gases misturados é igual a soma das pressões parciais. Este fato foi descoberto por Dalton, um físico inglês, e é determinada como a quarta lei de Dalton: "a mistura de vários gases que não reagem quimicamente, exerce uma pressão igual a soma das pressões que os vários gases exercerão separadamente se, a cada um, for permitido ocupar o espaço interior sozinho a uma dada temperatura".

Transmissão de forças através de fluidos

Quando a extremidade de uma barra é forçada, a força principal da pancada é transportada diretamente através da barra para o outro extremo (veja "A" da figura 7-9). Isto acontece porque a barra é rígida. A direção da pancada determina quase inteiramente a direção da força transmitida.

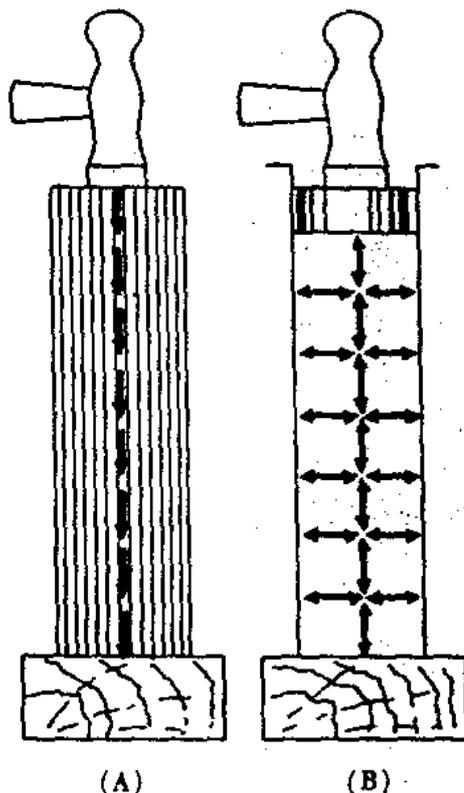


Figura 7-9 Transmissão de força: (A) Sólido; (B) Fluído.

Quanto mais rígida a barra, menor é a força perdida dentro da barra, ou transmitida

para fora, em ângulos retos na direção da pancada.

Quando uma força é aplicada na extremidade da coluna de um líquido confinado ("B" da figura 7-9), esta é transmitida diretamente através do outro final e, também, igualmente sem diminuir em todas as direções através da coluna - para frente, para trás e para os lados - de tal modo que o recipiente seja literalmente ocupado com a pressão.

Se um gás for usado em lugar de um líquido, a força será transmitida da mesma maneira.

A única diferença é que, o gás sendo compressível, fornece uma força rígida muito menor do que o líquido, que é incompressível. (Esta é a principal diferença na ação de líquidos e gases nos sistemas de força de fluidos).

Lei de Pascal

Os fundamentos da hidráulica e pneumática modernas foram estabelecidas em 1653, quando Pascal descobriu que a pressão em cima de um fluido, atua igualmente em todas as direções.

Esta pressão atua em ângulos retos para as superfícies do recipiente. Portanto, na figura 7-10, se o líquido estagnado em uma polegada quadrada "A" no fundo de um tanque pesar 8 libras, uma pressão de 8 p.s.i. é exercida em todas as direções em "A".

O líquido repousando em "A" empurra igualmente para baixo e para fora. O líquido em toda polegada quadrada da superfície do fundo está empurrando para baixo e para fora igualmente, tanto que, as pressões nas diferentes áreas estão em equilíbrio.

Na borda do fundo do tanque, as pressões atuam contra a parede, que por sinal deve ser bastante forte para resistí-las com a força exatamente igual a empurrada.

Cada uma polegada quadrada do fundo do tanque deve também ser suficientemente forte para resistir a pressão para baixo do líquido, em descanso no seu fundo.

O mesmo equilíbrio de pressões existe em todos os outros níveis do tanque, ainda que de inferiores pressões como a mais próxima da superfície.

Quando o líquido permanece em descanso, ele não vaza; e o tanque não se rompe.

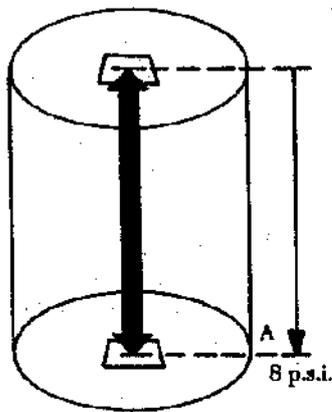


Figura 7-10 Pressão atuando em um reservatório.

Uma das consequências da lei de Pascal é que a forma interior do recipiente altera a relação de pressão. Portanto na figura 7-11, se a pressão devida para o peso do líquido em um ponto na linha horizontal "H" é de 8 p.s.i., a pressão será de 8 p.s.i., em qualquer lugar do nível "H" no sistema.

A pressão, devido ao peso de um fluido, depende em qualquer nível, da altura do fluido a partir da superfície. A distância vertical entre dois níveis horizontais em um fluido é conhecida como a cabeça do fluido

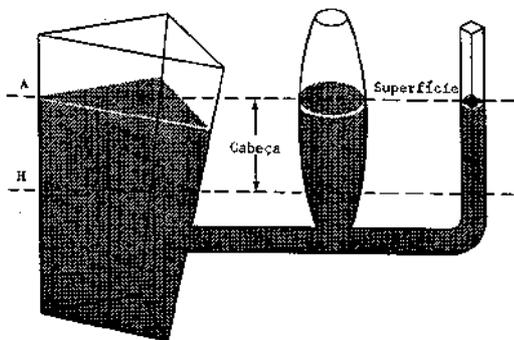


Figura 7-11 Relacionamento da pressão com o formato do reservatório.

Na figura 7-11 está indicada a cabeça do líquido de todos os pontos no nível "H" com relação à superfície.

A pressão devida para a cabeça do fluido também depende da densidade desse mesmo fluido. A água, por exemplo, pesa 62,4 libras/pé cúbico ou 0,036 libras/polegada cúbica, mas certos óleos fortes pesam 55 libras/pé cúbico, ou 0,32 libras/polegada cúbica. Para produzir uma pressão de 8 p.s.i., ele tomaria 222 polegadas de altura usando água, e 252 pole-

gadas de altura usando o óleo (veja figura 7-12).

Força e pressão

Para que possamos entender como a lei de Pascal é aplicada para força de um fluido, uma distinção deve ser feita entre os termos "força" e "pressão". Força pode ser definida como um "empurrar" ou "puxar", exercido contra a área total de uma determinada superfície, que é expressa em libras. Como colocado anteriormente, pressão é uma quantidade de força em uma unidade de área da superfície representada acima. Em hidráulica e pneumática, a pressão é expressa em libras por polegada quadrada. Portanto pressão é a quantidade de força atuando sobre a área de uma polegada quadrada.

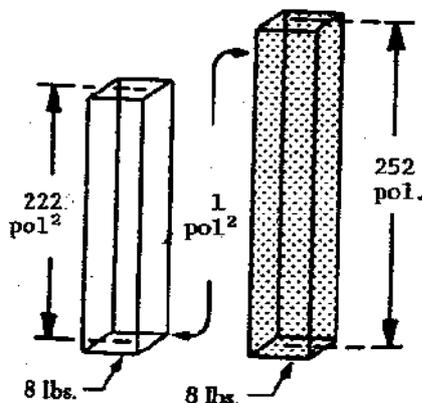


Figura 7-12 Relação entre pressão e densidade.

Calculando força, pressão e área

Uma fórmula, semelhante as usadas com a lei do gás, é usada calculando força, pressão e área no sistema de força do fluido. Embora pareçam ser três fórmulas, ela é somente uma, escrita em três variações; onde "P" refere-se a pressão, "F" indica força e "A" representa área.

Força é igual a pressão vezes a área. Assim, a fórmula será escrita: $F = P \times A$

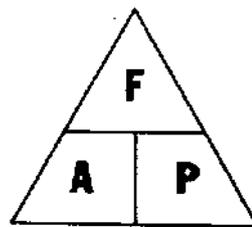


Figura 7-13 Dispositivo para determinar a relação entre Força, Pressão e Área.

Pressão é igual a força dividida pela área. Reacompondo a fórmula, esta afirmação é considerada em: $P = \frac{F}{A}$

Como a área é igual a força dividida pela pressão, a fórmula será escrita: $358,8 \times 760$

A figura 7-13 ilustra um artifício para relembrar estas fórmulas. Qualquer letra no triângulo pode ser expressa como o produto ou quociente das outras duas, dependendo da posição dela dentro do triângulo.

Por exemplo, para acharmos a área, consideramos a letra "A" como destaque, seguida por um sinal de igual. Agora, olhamos para as outras duas letras. A letra "F" está sobre a letra "P"; logo, $A = \frac{F}{P}$

De maneira similar, para achar a força, consideramos a letra "F" como sendo destaque. As letras "P" e "A" estão lado a lado, logo, $F = P \times A$.

Às vezes a área não pode ser expressa em polegadas quadradas. Se ela é uma superfície retangular, a área pode ser achada multiplicando-se o comprimento (em metros ou polegadas) pela largura (em metros ou polegadas). A maioria das áreas consideradas nestes cálculos são circulares.

Tanto o diâmetro como o raio (metade do diâmetro) podem ser dados. O raio em polegadas deve ser conhecido para achar a área. Então, a fórmula para achar a área de um círculo é usada.

Ela é escrita $A = \pi r^2$, onde A é a área, π é 3,1416 (3,14 ou $3 \frac{1}{7}$ para a maioria dos cálculos), e r^2 indica raio ao quadrado.

Pressão e força em um fluido num sistema de potência

De acordo com a lei de Pascal, alguma força aplicada para um fluido preso é transmitida, igualmente, em todas as direções e, por todas as partes através do fluido independente da forma do recipiente. O efeito disto está no sistema mostrado na figura 7-14, que é uma modificação de "B" da figura 7-9. A coluna do fluido é curvada para cima para o seu nível original, com um segundo pistão neste ponto.

Está claro que quando o pistão entra (1) empurrado para baixo, a pressão é gerada através do fluido, o qual age igualmente em ângu-

los retos para as superfícies em todas as partes do recipiente.

Referente a figura 7-14, se a força (1) é 100 libras e a área do pistão é de 10 polegadas quadradas, então a pressão no fluido é 10 p.s.i. (100/10). Esta pressão age no pistão (2), para que cada polegada quadrada da sua área seja empurrada para cima, com a força de 10 libras. Neste caso, uma coluna de fluido de seção uniforme é considerada, de modo que a área do pistão de saída (2) é a mesma que a do pistão de entrada (1), ou 10 polegadas quadradas. Então, a força para cima, no pistão de saída (2) é de 100 libras, a mesma que é aplicada no pistão de entrada (1). Tudo que se executou neste sistema foi para transmitir a força de 100 libras ao redor de uma curva.

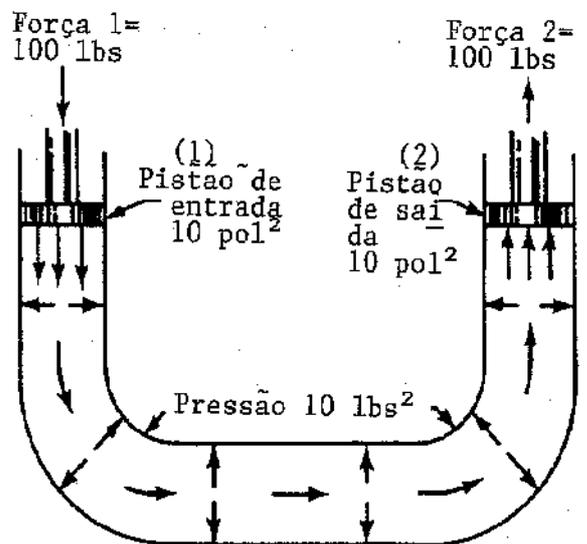


Figura 7-14 Força transmitida através dos fluidos.

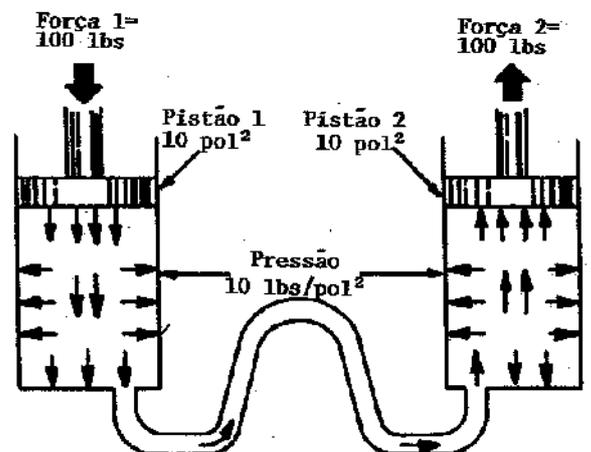


Figura 7-15 Transmitindo força através de um pequeno tubo.

Entretanto, este princípio fundamenta praticamente toda aplicação mecânica da potência do fluido.

Este detalhe deve ser observado, pois a lei de Pascal é independente da forma do recipiente, não sendo necessário que o tubo que conecta os dois pistões tenha a mesma área dos pistões.

Uma conexão de qualquer tamanho, forma ou comprimento, fará o controle se a passagem não estiver obstruída. Daí, o sistema mostrado na figura 7-15, no qual um pequeno tubo em curva conecta os dois cilindros, que agirão exatamente da mesma maneira, como mostrado na figura 7-14.

Multiplicação de forças

Nas figuras 7-14 e 7-15, os sistemas contêm pistões de área iguais, os quais a força de saída é igual a força de entrada.

Considerando-se a situação na figura 7-16, onde o pistão de entrada é muito menor que o pistão de saída.

Suponhamos que a área do pistão (1) de entrada seja de 2 polegadas quadradas. Empurrando o pistão (1) com uma força de 20 libras, produziremos 10 p.s.i. (20/2) no fluido.

Embora esta força seja muito menor do que a força aplicada nas figuras 7-14 e 7-15, a pressão é a mesma. Isto, é porque a força está concentrada numa área relativamente pequena.

Esta pressão de 10 p.s.i. age em todas as partes do fluido no recipiente, incluindo a base do pistão (2) de saída.

A força para cima, no pistão (2) de saída é, portanto, 10 libras para cada 20 polegadas quadradas de área, ou 200 libras (10 x 20).

Neste caso, a força original foi multiplicada por dez, enquanto a mesma pressão é usada no fluido anterior.

Obviamente, o sistema trabalhará da mesma maneira para outras forças e pressões; assim a razão da força de saída para a força de entrada é sempre a mesma.

O sistema trabalha da mesma forma, na situação contrária.

Considerando o pistão (2) na figura 7-16 como de entrada, e o pistão (1) como o de saída, vemos que a força de saída será sempre 1/10 da força de entrada. Às vezes tais resultados são desejados.

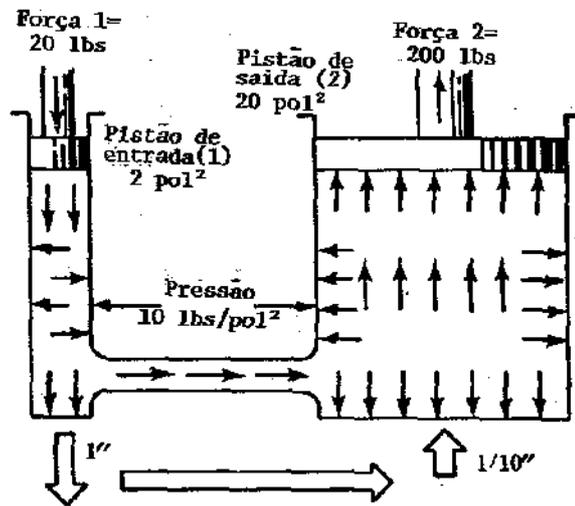


Figura 7-16 Multiplicação de forças.

Então, se dois pistões são usados em um fluido num sistema de potência, a força que atua em cada um é diretamente proporcional a sua área, e a magnitude de cada força é o produto da pressão pela sua área.

Áreas diferenciais

Eis a situação especial mostrada na figura 7-17. Aqui, um pistão individual em um cilindro tem uma haste ligada a um dos lados do pistão, ela se estende para fora do cilindro em uma extremidade. O fluido sob pressão entra para ambas as extremidades do cilindro, através de tubos. As duas faces do pistão permanecem como se dois pistões estivessem agindo um contra o outro.

A área de uma das faces é a área completa do cilindro, por exemplo, 6 polegadas quadradas. A área da outra face é a área do cilindro menos a área da haste do pistão a qual é de 2 polegadas na face direita do pistão. A pressão em ambas as faces é a mesma, neste caso, 20 p.s.i. Aplicando a regra já estabelecida, a força empurrando o pistão para a direita, é a sua área vezes a pressão, ou 120 libras (20 x 6). Similarmente, a força empurrando-o para a esquerda, é a sua área vezes a pressão, ou 80 libras.

Então existe uma força desequilibrada de 40 libras agindo para a direita, e o pistão se moverá naquela direção. O efeito resultante é o mesmo como se o pistão e o cilindro fossem do mesmo tamanho da haste do pistão, desde que todas as outras forças estejam em equilíbrio.

Fatores de volume e distância

No sistema ilustrado nas figuras 7-14 e 7-15, os pistões têm áreas de 10 polegadas quadradas cada. Então, se um destes pistões é empurrado 1 polegada, 10 cu. in. de fluido serão deslocadas.

Desde que o líquido seja realmente incompressível, este volume deve ir para algum lugar. No caso de um gás, ele se comprimirá momentaneamente, mas se expandirá eventualmente para seu volume original.

Assim, este volume se move para o outro pistão. Visto que a área deste pistão é também de 10 polegadas quadradas, ele se moverá 1 polegada com o fim de acomodar as 10 cu. in. do fluido.

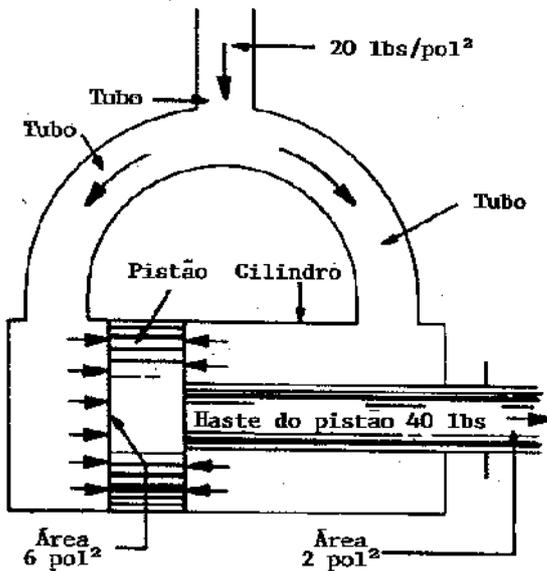


Figura 7-17 Áreas diferenciais em um pistão.

Os pistões são de áreas iguais e, portanto, se moverão distâncias iguais, embora em direções opostas.

Aplicando-se esse raciocínio para o sistema na figura 7-16, é óbvio que se o pistão (1) de entrada é empurrado 1 polegada, somente 2 cu. in. do fluido serão deslocadas.

Com o propósito de acomodar estas 2 cu. in. do fluido, o pistão (2) de saída terá que se mover somente 1/10 de uma polegada porque sua área é 10 vezes daquela do pistão (1) de entrada.

Isto nos leva para a segunda regra básica para dois pistões no mesmo sistema de potência de fluido, de que, as distancias percor-

ridas são inversamente proporcionais as suas áreas.

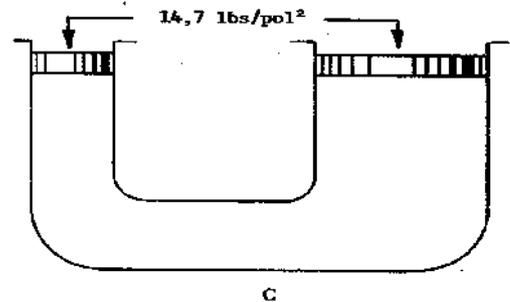
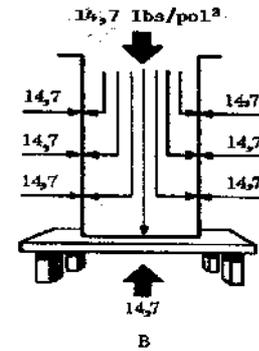
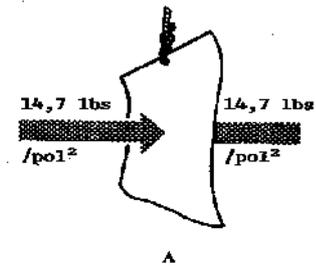


Figura 7-18 Efeitos da pressão atmosférica.

Efeitos da pressão atmosférica

A pressão atmosférica, descrita anteriormente obedece, a lei de Pascal, igual ao estabelecido para pressão nos fluidos. Como ilustrado na figura 7-14, pressões devidas para uma cabeça de líquido são distribuídas igualmente em todas as direções. Isto também é verdadeiro para a pressão atmosférica. A situação é a mesma se essas pressões agirem de lados opostos de alguma superfície, ou através de fluidos. Em "A" na figura 7-18 uma folha de papel suspensa não é puxada pela pressão atmosférica, como ela seria por uma força desequilibrada, devido a pressão atmosférica atuar igualmente em ambos os lados do papel. Em "B" da figura 7-18, a pressão atmosférica atuando na superfície de um líquido é transmitida igualmente através do líquido para as paredes do recipiente, mas é equilibrada pela mesma pressão, atuando diretamente no exterior das paredes do recipi-

ente. Em "C" da figura 7-18, pressão atmosférica atuando na superfície de um pistão é equilibrada pela mesma pressão atuando na superfície do outro. As diferenças de áreas de duas superfícies não fazem diferença, desde que para uma unidade de área, as pressões estejam equilibradas.

Princípio de Bernoulli

O princípio de Bernoulli foi originalmente estabelecido para explicar a ação de um líquido fluindo através de tubos de áreas de corte seccional diferentes.

Na figura 7-19 um tubo é mostrado com o corte seccional diminuindo gradualmente a área para um diâmetro mínimo na sua seção central. Um tubo construído desta forma é chamado um "Venturi", ou "Tubo de Venturi".

Quando um líquido(fluido) flui através do tubo de venturi, os três tubos verticais agem como indicadores de pressão, enchendo com líquido até que a pressão deste em cada tubo se iguale à pressão do líquido movendo-se no Venturi.

O Venturi na figura 7-19 pode ser usado para ilustrar o princípio de Bernoulli, o qual estabelece que a pressão de um fluido (líquido ou gás) diminui no ponto onde a velocidade do fluido aumenta. Na seção larga do Venturi (pontos "A" e "C" da figura 7-19), o líquido se move a baixa velocidade, produzindo uma alta pressão, como indicado pela altura do líquido nos tubos verticais nestes dois pontos. A parte central do tubo, mais estreita, deve conter o mesmo volume de fluido das duas áreas extremas.

Nesta seção estreita, o líquido se move em alta velocidade, produzindo uma pressão menor que nos pontos "A" e "C", como indicado pela altura da coluna do líquido no tubo vertical acima do ponto "B" da figura 7-19.

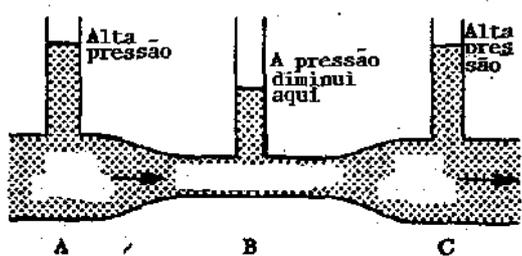


Figura 7-19 Pressões e velocidades em um tubo de Venturi.

O princípio de Venturi; em diversas formas e medidas, é usado em sistemas de aeronaves. Eles podem ser aplicados como restrições ou orifícios. Por exemplo, como orifício é geralmente instalado em uma linha hidráulica para limitar a velocidade do fluxo do fluido. O trem de pouso de uma aeronave operado hidráulicamente, quando comandado para baixar, tenderá a descer com uma boa velocidade devido ao peso dos mecanismos. Se uma restrição for instalada na linha de retorno hidráulico a extensão do trem será mais lenta, evitando desta forma, um possível dano estrutural.

ATMOSFERA

Geral

A aviação é quase tão dependente dessa categoria de fluidos chamada gases, e do efeito de forças e pressão agindo sobre esses gases, que uma discussão sobre o tema atmosfera é importante para as pessoas da manutenção e reparo de aeronaves.

Dados disponíveis sobre a atmosfera podem determinar se um vôo terá êxito, ou se ele ficará no ar. Os vários componentes do ar em volta da terra, as mudanças na temperatura e pressão em diferentes níveis acima da terra, as peculiaridades do tempo encontradas pela aeronave no vôo, e muitos outros dados detalhados são considerados pela aeronave no vôo, e muitos outros dados detalhados são considerados na preparação do plano de vôo.

Pascall e Torricelli pesquisaram com desenvolvimento o barômetro e os instrumentos para medir a pressão atmosférica. Os resultados de seus experimentos continuam sendo usados hoje com poucas melhorias no projeto ou no conhecimento. Eles determinam que o ar tem peso, o qual varia quando a altitude é mudada com relação ao nível do mar. Cientistas atuais também estão interessados em como a atmosfera afeta a performance da aeronave e seus equipamentos.

Composição da atmosfera

A atmosfera é uma mistura complexa e em constante mudança, seus ingredientes variam de local para local e de dia para dia. Além dos inúmeros gases, ela contém matérias estra-

nhas como pólen, poeira, bactérias, fuligem, cinza de vulcão, esporos e poeira do espaço exterior.

A composição do ar permanece quase constante desde o nível do mar até seu mais alto nível, mas sua densidade diminui rapidamente com a altitude. A seis milhas acima, por exemplo, ele é muito rarefeito para se manter a respiração, e 12 milhas acima não existe oxigênio bastante para suportar a combustão.

Em um ponto de várias centenas de milhas acima da terra, algumas partículas de gás "spray" entram no espaço; algumas arrastadas pela gravidade retrocedem para dentro do oceano de ar abaixo; outras nunca retornam, mas viajam como satélite em torno da terra; e, ainda outras, como o hidrogênio e o hélio, continuam como foragidas do campo gravitacional da terra.

Físicos discordam quanto ao limite exterior da camada da atmosfera. Alguns acham que ela começa a 240 milhas acima da terra e se estendem por 400 milhas; em outros locais ela beira 600 milhas e o limite superior, vai a 6000 milhas.

Existem também certas dissidências em vários níveis. Entre 12 e 30 milhas, alta radiação ultravioleta do sol reage com moléculas de oxigênio para produzir uma fina cortina de ozônio, um gás muito venenoso mais sem o qual a vida na terra não poderia existir.

O ozônio filtra uma porção dos raios letais ultravioleta, permitindo somente a passagem bastante para dar um bronzeado ao homem, matando bactérias e prevenindo o raquitismo. A 50 ou 65 milhas acima, muitas moléculas de oxigênio se decompõem pela radiação solar em átomos livres e, formam a molécula incompleta, hidroxila (OH) do vapor da água. Também nesta região todos os átomos ficam ionizados.

Estudos de atmosfera têm revelado que a temperatura não diminui uniformemente com o aumento da altitude; ao contrário, ela obtém um frio constante em alturas de 7 milhas, onde a razão de mudança da temperatura diminui abruptamente e fica quase constante em -55°C (218°K) a cerca de 20 milhas.

Então a temperatura começa a aumentar para um valor máximo de 77°C (350°K) no nível de 55 milhas. Depois ele sobe rapidamente atingindo 2.270°C (2.543°K). Na altura de 250 a 400 milhas em um nível superior a 50 milhas,

um homem ou algum outro ser vivo, sem a camada protetora da atmosfera, seria assado do lado do sol e congelado do outro.

A atmosfera está dividida em cinco concêntricas camadas ou níveis. A transição entre estes níveis é gradual e sem definição de limites severos.

Entretanto, existe um limite a tropopausa, entre a primeira e a segunda camada. A tropopausa é definida como o ponto na atmosfera, no qual a diminuição da temperatura (com o aumento da altitude) cessa abruptamente, entre a troposfera e a estratosfera.

Para melhor explicação, as quatro camadas são: troposfera, estratosfera, ionosfera e exosfera. A porção superior da estratosfera é freqüentemente chamada chemosfera ou ozonosfera, e a exosfera é também conhecida como mesosfera.

A troposfera vai desde a superfície da terra até 35.000 pés nas médias latitudes, mas varia de 28.000 pés nos polos até 54.000 pés no equador. A troposfera é caracterizada por uma grande mudança de temperatura e umidade e, geralmente, por condições de turbulência. Quase toda as formações de nuvens estão dentro da troposfera.

Aproximadamente $3/4$ do total de peso da atmosfera está dentro da troposfera. A temperatura e a pressão absoluta na troposfera diminui constantemente com o aumento da altitude para um ponto onde a temperatura é aproximadamente -55°C (ou 218°K) e a pressão é cerca de 6,9HG em um dia padrão.

A estrutura vai do limite superior da troposfera (e a tropopausa) até atingir a altitude de 60 milhas.

Na estratosfera a temperatura declina e, virtualmente pára; entretanto, em 18 ou 20 milhas, ela freqüentemente decresce até o nível de 300 a 600 milhas. Pouco é conhecido sobre as características da ionosfera, mas é nela onde ocorre a maioria dos fenômenos elétricos. Basicamente, esta camada é caracterizada pela presença de íons e elétrons livres, e a ionização parece aumentar com a altitude e em sucessivas camadas.

A temperatura aumenta de quase 200°K , no limite inferior para cerca de 2.500°K , no limite superior. Essas temperaturas, extremamente altas nas altitudes superiores, não têm o mesmo significado das temperaturas ao nível do mar. A leitura de um termômetro nesta

região estaria determinando mais a radiação solar do que a temperatura, devido a energia das partículas.

A exosfera (ou mesosfera) é a camada externa da atmosfera. Ela começa na altitude de 600 milhas e se estende até o limite da atmosfera. Nesta camada, a temperatura é aproximadamente constante em 2.500°K, e a propagação é impossível devido a carência de substância molecular.

Pressão atmosférica

O corpo humano está sob pressão, devido a massa de ar que o engloba. Esta pressão se deve ao peso da atmosfera. A pressão que a atmosfera aplica em uma polegada quadrada de área, é igual ao peso de um coluna de ar de uma polegada quadrada no corte seccional, o qual se estende desde essa área até a área superior da atmosfera.

Desde que a pressão atmosférica, em alguma altitude, é devido ao peso do ar sobre ela, a pressão diminui com o aumento da altitude. Obviamente, o peso total do ar sobre uma área a 15.000 pés seria menor do que o peso total de ar sobre uma área a 10.000 pés.

A pressão atmosférica é, freqüentemente, medida por um barômetro de mercúrio, que é um tubo de vidro com cerca de 30 polegadas de comprimento, selado em uma das extremidades e enchido com mercúrio (Hg.). Ele é então invertido, e a abertura da extremidade é colocada em um prato de mercúrio. Imediatamente, o nível de mercúrio no tubo invertido diminui uma pequena distância, deixando um pequeno volume de vapor de mercúrio, próximo do zero absoluto de pressão no tubo, acima do nível máximo do líquido da coluna de mercúrio. A pressão atuando por cima da extremidade do tubo, sobre o nível de mercúrio no prato é a pressão atmosférica. A pressão, atuando embaixo, no mesmo ponto, é o peso da coluna de mercúrio. Então, a altura da coluna de mercúrio indica a pressão exercida pela atmosfera.

Este meio de medição da pressão atmosférica, dá lugar à prática de expressar a pressão atmosférica em polegadas de mercúrio (in. Hg), melhor do que em libras por polegada quadrada (p.s.i.). Pode ser visto, entretanto, que um simples relacionamento existe entre a pressão medida em P.S.I. e em polegadas Hg. Uma polegada cúbica de mercúrio pesa 0,491 libras. Por-

tanto, a pressão de 30 polegadas de mercúrio será equivalente a:

$$0,491 \times 30 = 14,73 \text{ p.s.i.}$$

Uma segunda maneira de medir a pressão atmosférica é com um barômetro aneróide. Este instrumento mecânico pode ser usado em aviões muito mais adequadamente do que o barômetro de mercúrio. Barômetros aneróides (altímetros) são usados para indicar a altitude do vôo.

As calibrações são feitas em milhares de pés, melhor do que em p.s.i. Por exemplo, a pressão padrão ao nível do mar é 29,92 polegadas de mercúrio, ou 14,69 p.s.i. A 10.000 pés acima do nível do mar, a pressão padrão é de 20,58 polegadas de mercúrio ou 10,10 p.s.i. Os altímetros são calibrados, de tal modo, que a pressão de 20,58 in. Hg. exercida pela atmosfera, causará a indicação de 10.000 pés.

Em outras palavras, o altímetro é calibrado para indicar a altitude na qual a pressão atmosférica predominante é considerada pressão padrão. Assim, a altitude lida no altímetro, sendo dependente da pressão atmosférica superior, é chamada pressão de altitude (Hp). Realmente, um altímetro indicará a pressão de altitude somente quando o ajuste do altímetro estiver selecionado para 29,92 polegadas Hg.

Uma terceira expressão é, ocasionalmente, usada para indicar a pressão atmosférica. A pressão atmosférica pode ser expressa em atmosferas. Por exemplo, um teste pode ser conduzido em um compartimento pressurizado abaixo da pressão de seis atmosferas. Isto simplesmente significa que a pressão é seis vezes maior do que a pressão padrão ao nível do mar.

Densidade atmosférica

Desde que, tanto a temperatura como a pressão diminuem com a altitude; pode parecer que a densidade da atmosfera permanecerá mais ou menos constante com o aumento da altitude. Isto não é verdade para a pressão que diminui mais rapidamente com o aumento da altitude do que com o da temperatura. O resultado é que a densidade diminui com o aumento da altitude.

No uso da lei geral dos gases, estudado anteriormente, pode-se mostrar que para um gás em particular, pressão e temperatura determinam a densidade.

Desde que o padrão de pressão e temperatura tem sido associado com cada altitude, a densidade do ar deve também, ser considerada padrão. Então, uma densidade atmosférica particular está associada com cada altitude. Isto dá lugar á expressão "densidade de altitudes", simbolizada por Hd.

A densidade de altitude de 15.000 pés é a altitude na qual a densidade é a mesma que a considerada padrão para 15.000 pés. Relembre, entretanto, que a densidade de altitude não é necessariamente a altitude verdadeira. Por exemplo, em um dia onde a pressão atmosférica é mais elevada do que a padrão, e a temperatura é mais baixa que a padrão; a densidade, a qual é padrão a 10.000 pés, pode ocorrer a 12.000 pés. Neste caso, em uma altitude real de 12.000 pés, nós temos ar, que tem a mesma densidade do ar padrão em 10000 pés. Densidade de altitude é uma altitude calculada, obtida pela correção da pressão de altitude pela temperatura.

A água contida no ar tem um pequeno efeito na densidade dele. Deve ser lembrado que o ar úmido, a uma determinada temperatura e pressão, é mais leve do que o ar seco, na mesma temperatura e pressão.

Água contida na atmosfera

Na troposfera, raramente o ar é completamente seco; nela o vapor de água tem duas formas: (1) neblina ou (2) vapor de água. A neblina consiste de diminutos pingos de água em suspensão no ar. As nuvens são compostas de neblina. A altura para a qual algumas nuvens se estendem, é uma boa indicação da presença de água na atmosfera, aproximadamente acima da estratosfera.

Como resultado da evaporação, a atmosfera as vezes contém algumas misturas em forma de vapor de água. A mistura é chamada de umidade do ar. A mistura não consiste de minúsculas partículas de líquidos mantidos em suspensão no ar, como no caso da neblina, mas é um vapor verdadeiramente invisível como o gás no ar.

Tanto a neblina como a umidade, afetam o desempenho de uma aeronave. Em vôo, durante a potência de cruzeiro, os efeitos são pequenos, não merecendo consideração. No entanto, durante a decolagem, a umidade tem um importante efeito, que pode ser compensado de duas

maneiras. Como o ar úmido é menos denso do que o ar seco, o peso de decolagem previsto para uma aeronave, deve ser reduzido para a operação em áreas de umidade constante.

Como a saída de potência dos motores convencionais é diminuída pela umidade, a pressão de admissão terá que ser aumentada para um valor acima do que é recomendado, para se obter a mesma potência de saída, em uma decolagem sob condições de umidade, porque a potência fornecida por um motor é calculada para condições de ar seco.

Uma vez que o vapor de água é incombustível, sua pressão na atmosfera em nada contribui para a potência de saída. A mistura do vapor de água e ar é sugada pelo carburador, e o combustível é medido por ele, como se aquela mistura fosse somente de ar.

A mistura saída do carburador composta de vapor de água, ar e combustível entra na câmara de combustão onde é queimada. Como o vapor de água não será queimado, a relação efetiva combustível/ar estará enriquecida, e o motor irá operar como se ele estivesse com uma mistura excessivamente rica.

A perda de potência resultante, sob condições de umidade, pode ser atribuída a perda de eficiência volumétrica devido ao ar deslocado; e a combustão incompleta, devido a mistura combustível/ar excessivamente rica.

A redução na potência, que pode ser esperada da umidade, é usualmente fornecida em tabelas contidas no Manual de vôo. Existem vários tipos de cartas em uso, sendo que algumas apenas apresentam a esperada redução da potência devido à umidade; outras mostram o reforço necessário na pressão de admissão, para restabelecer a potência de decolagem.

O efeito da neblina no desempenho de um motor é muito perceptível, particularmente em motores de alta razão de compressão. Normalmente alguma detonação ocorrerá durante a aceleração, devido a alta BMEP (Pressão Média Efetiva no Freio) desenvolvida. No entanto, em um dia de muita neblina, é muito difícil a ocorrência da detonação.

A explicação deste fato, é que, sendo a neblina composta por partículas de água não vaporizada, quando essas partículas entram nos cilindros, elas absorvem uma tremenda quantidade de energia calorífica no processo de evaporação. A temperatura é, então, reduzida o suficiente para evitar a detonação.

A neblina geralmente causará uma diminuição na potência de saída. Entretanto, nos motores com supercompressão, será possível usar alta pressão de admissão sem o perigo da detonação.

Umidade absoluta

Umidade absoluta é a quantidade real de vapor de água em uma mistura de ar e água. Ela é, algumas vezes, expressa em gramas por metro cúbico (g./cu.m.) e outras vezes em libras por pé cúbico (lbs/cu.ft.).

A quantidade de vapor de água que pode estar presente no ar, depende da temperatura e da pressão.

A mais alta temperatura e a maior quantidade de vapor de água que o ar é capaz de manter, assumindo uma pressão constante. Quando o ar tem todo o vapor de água que ele pode

manter, a uma determinada temperatura e pressão, ele é considerado ar saturado.

Umidade relativa

Umidade relativa é a razão da quantidade de vapor de água realmente presente na atmosfera, para a quantidade que deveria apresentar se o ar estivesse saturado, a uma determinada temperatura e pressão. Essa razão é, normalmente, multiplicada por 100 e expressa como uma porcentagem. Suponhamos, por exemplo, que uma previsão do tempo informe que a temperatura é de 75°F., e a umidade relativa do ar é de 56%. Isto indica que o ar mantém 56% de vapor de água necessários para saturá-lo a 75°F. Se a temperatura baixar e a umidade absoluta permanecer constante, a umidade relativa aumentará. Isto acontece, porque, menos vapor de água é necessário para saturar o ar na temperatura mais baixa.

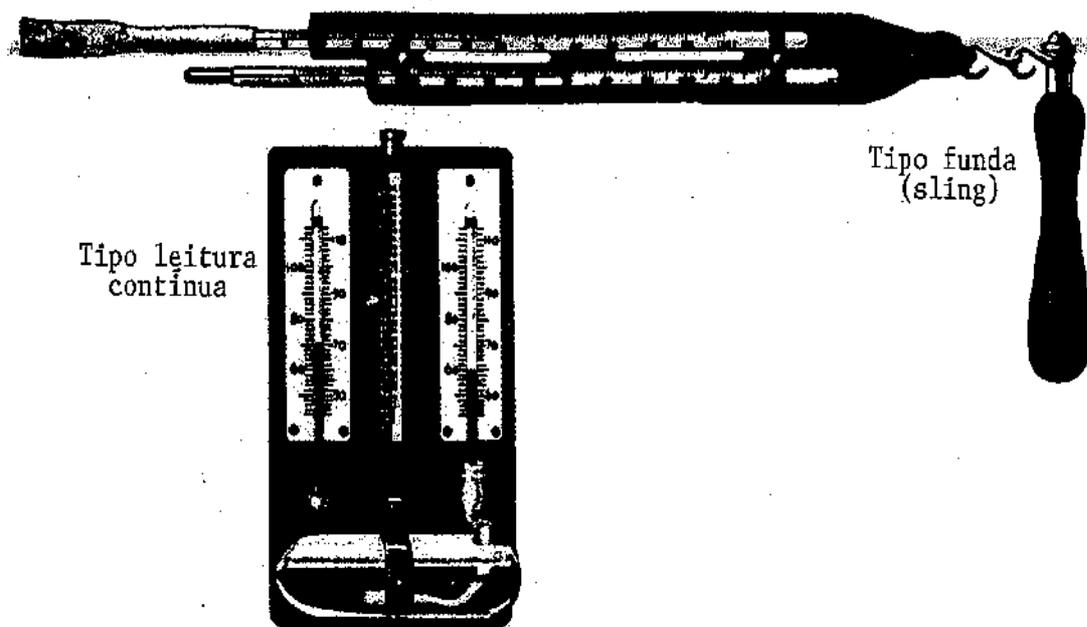


Figura 7-20 Termômetro de bulbo molhado.

Ponto de orvalho

O ponto de orvalho é a temperatura para a qual o ar úmido deve ser resfriado, a uma constante pressão, para tornar-se saturado. Se a temperatura cai abaixo do ponto de orvalho acontece a condensação.

Pessoas que usam óculos, já tiveram a experiência, ao saírem do frio para uma sala aquecida, de terem umidade coletada rapidamente

nos seus óculos. Isto aconteceu, porque os óculos estavam abaixo do ponto de orvalho para a temperatura de ar dentro da sala. O ar em contato com os óculos foi imediatamente resfriado para uma temperatura abaixo do ponto de orvalho, e algum vapor de água foi condensado por fora. Este princípio é aplicado na determinação do ponto de orvalho. Um recipiente é resfriado até que o vapor da água comece a condensar na sua superfície.

A temperatura na qual isto ocorre, é o ponto de orvalho.

Pressão de vapor

A pressão de vapor é a porção da pressão atmosférica que é exercida pela umidade do ar (expressa em décimos de uma polegada de mercúrio). O ponto de orvalho para uma determinada condição, depende da quantidade de pressão de água presente; por conseguinte, existe um relacionamento direto entre a pressão de vapor e o ponto de orvalho.

Temperatura de bulbo seco e de bulbo molhado

A pressão de vapor e a umidade podem ser determinadas por tabelas baseadas na temperatura de bulbo seco e na de bulbo molhado (fig 7-20). A temperatura de bulbo seco é obtida por meio de um termômetro comum. A temperatura de bulbo molhado é obtida de um termômetro que tem o seu bulbo coberto com uma fina peça de tecido molhado.

Devido a evaporação da umidade, o bulbo molhado indicará uma temperatura mais baixa do que a do bulbo seco. Quanto mais rápida for a evaporação, maior será a diferença na leitura. A razão de evaporação depende do grau de saturação do ar. Ao usar o termômetro de bulbo molhado, ele deverá ser movimentado através do ar a uma razão de aproximadamente 1.200 pés por minuto para uma leitura correta. Isto pode ser executado, montando-se ambos os termômetros, o de bulbo molhado e o de bulbo seco, em uma moldura, a qual deverá ser girada com a mão em torno de um eixo, até que a desejável velocidade de 1.200 pés por minuto seja alcançada.

Se o ar estiver saturado, nenhuma evaporação acontecerá, e as temperaturas dos bulbos seco e molhado serão as mesmas. Assim, essas duas temperaturas coincidirão com o ponto de orvalho.

Leis físicas relativas a atmosfera

Apesar do ar ser um composto de vários gases e ter que ser considerado como uma mistura para certas finalidades, para os cálculos de aerodinâmica ele é considerado como um gás uniforme.

O ar é um fluido, uma vez que ele tem a propriedade de fluir, e é também um gás, porque sua densidade é rapidamente variável.

Como é usual em trabalhos de engenharia, são feitas certas suposições simplificadas. Uma suposição considerada padrão é a que no ar seco não existe vapor de água presente.

As tabelas de vôo e decolagem, podem ser corrigidas para a pressão de vapor, mas o vôo subsônico não considera a pressão de vapor como um fator importante. Uma outra suposição padrão é que o atrito ou "efeito da viscosidade" pode ser negligenciado quando se trata de fluxo de ar. O ar é então, considerado como sendo um fluido perfeito. No entanto, algumas excessões podem ser feitas, particularmente, no caso da fina camada limite, do lento movimento do ar próximo a um corpo em movimento.

Teoria cinética dos gases aplicada ao ar

A teoria cinética estabelece que um gás é composto de pequenas e diferentes partículas chamadas moléculas. O tamanho das moléculas é pequeno, comparado com a distância média entre elas. Além disso, as moléculas estão se movendo a uma alta razão de velocidade, sem direção definida e, devido a isso, elas estão constantemente colidindo umas com as outras, e com as paredes do recipiente em que estão contidas.

A pressão produzida por um gás, é o resultado desses contínuos impactos de encontro a superfície e; como os impactos são essencialmente em número infinito, uma constante pressão é efetuada.

Logo que a pressão é produzida pelo impacto das moléculas contra a superfície, ela também é transmitida pelo impacto molecular. Supondo que as moléculas são perfeitamente elásticas (que nenhum atrito existe entre elas), uma onda de pressão, uma vez iniciada, continuará indefinidamente.

Para a maioria das finalidades, essa teoria é adequada; entretanto ela não é completamente correta.

Por exemplo, o som representa uma série de fracas ondas de pressão, para as quais o ouvido é sensível. Se a energia que o som representa não for perdida, o som continuará indefinidamente.

Desse modo então, a elasticidade imperfeita pode ser, de algum modo, associada com o

atrito dos fluidos, ou viscosidade, uma vez que a presença da viscosidade é também uma fonte de perda de energia.

Com base na teoria cinética, a pressão pode ser aumentada de duas maneiras: a primeira, aumentando o número de moléculas em um determinado espaço, o que é o mesmo que aumentar a densidade; a segunda, pelo aumento da velocidade das moléculas, que pode ser feito pelo aumento da temperatura, pois o aumento da temperatura produz um aumento na velocidade molecular.

Uma análise da teoria cinética nos leva a um relacionamento definido entre a temperatura, pressão e densidade de um gás, quando este gás está sujeito a um determinado conjunto de condições.

Este relacionamento é conhecido como equação de estado.

Equação de estado

Com a condição de que a temperatura e a pressão de um gás não são excessivamente diferentes daquelas normalmente experimentadas na superfície da terra, a seguinte equação é verdadeira:

$$PV = RT$$

Onde: P = pressão em lbs./sq.ft.

V = volume específico

R = uma constante para um determinado gás (para o ar R = 53,345).

T = temperatura absoluta (Rankine = ° F. + 459,4)

Se a temperatura e a pressão são aquelas em que o gás se torna um líquido, ou se a pressão cai para aquele valor em que não exista igualdade de pressão, a equação perderá a validade. Na prática de trabalhos aeronáuticos, esses extremos são encontrados somente em um supersônico túnel de vento ou em camadas externas da atmosfera. Esta fórmula deve ser, além disso, melhorada para a engenharia prática, pela introdução da densidade do ar.

Atmosfera padrão

Se o desempenho de uma aeronave for computado, ou através de testes de voo ou testes no túnel de vento, alguns padrões de referência devem ser determinados em primeiro lugar, para

que possam ser comparados os resultados com aqueles de testes semelhantes.

As condições atmosféricas variam continuamente e, geralmente, não é possível obter-se exatamente as mesmas condições em dois dias diferentes, ou semelhança em dois vôos sucessivos.

Conseqüentemente, devem ser estabelecidos um grupo de condições padrão, que podem ser usados arbitrariamente como referência.

O conjunto de condições padrão atualmente usado nos Estados Unidos da América é conhecido como "*U.S. Standard Atmosphere*".

A atmosfera padrão aproxima-se das condições médias existentes a 40° de latitude, e é determinado, baseado nos seguintes dados.

As condições padrão ao nível do mar são:

Pressão na altitude zero (Po) = 29,92 polegadas de mercúrio.

Temperatura na altitude zero (To) = 15°C. = 59° F.

Gravidade na altitude zero (Go) = 32,174 pés/segundo quadrado.

O *U.S. Standard Atmosphere* tem um acordo com a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) divisão de *Standard Atmosphere*, sobre os seus comuns limites de altitude. A atmosfera padrão da ICAO foi adotada como padrão pela maioria das principais nações do mundo.

Variações do dia padrão

Como pode ser esperado, a temperatura, pressão, densidade e conteúdo de vapor de água do ar, varia consideravelmente na troposfera. A temperatura a 40° de latitude pode alcançar de 50°C. em baixas altitudes, durante o verão; a -70°C. a grandes altitudes, durante o inverno. Conforme estabelecido anteriormente, a temperatura usualmente diminui com o aumento da altitude.

As exceções dessa regra ocorrem quando o ar frio fica preso próximo da terra, por uma camada aquecida. Isso é chamado de inversão da temperatura, comumente associada com um movimento frontal das massas de ar.

A pressão também varia em um determinado ponto da atmosfera.

Em um dia padrão, ao nível do mar, a pressão será 29,92 polegadas de mercúrio (in Hg). Nos dias fora das condições padrão, a pressão ao nível do mar variará consideravelmente, acima ou abaixo desse valor.

A densidade do ar é determinada pela pressão e temperatura atuando sobre ela. Uma vez que a atmosfera nunca pode ser considerada "padrão", um método conveniente de calcular a densidade foi idealizado.

Uma vez que a pressão é medida em termos inconvenientes, como recurso deve-se utilizar o altímetro à aneroide como um indicador e referência para o termo "pressão de altitude" no lugar de pressão atmosférica.

Pressão de altitude

Pressão de altitude é a altitude na atmosfera padrão correspondente a um particular valor de pressão do ar.

O altímetro da aeronave é, essencialmente, um barômetro sensível, calibrado para indicar a altitude em uma atmosfera padrão.

Com o altímetro da aeronave selecionado para 29,92 in, Hg, o mostrador indicará o número de pés acima ou abaixo do nível, onde existe 29,92 in. Hg - não sendo necessariamente acima ou abaixo do nível do mar - a menos que existam as condições de um dia padrão. Em geral, o altímetro indicará a altitude na qual a pressão existente será considerada pressão padrão. O símbolo Hp é usado para indicar pressão de altitude.

PRINCÍPIO DE BERNOULLI

Geral

Em uma discussão anterior sobre fluidos, o princípio de Bernoulli foi introduzido para explicar o relacionamento entre a velocidade e a pressão de um líquido fluindo através de um venturi.

Desde que o princípio de Bernoulli se aplica aos fluidos, que pela definição inclui gases e líquidos, sua aplicação aos gases (ar) está incluída neste ponto da explanação sobre o relacionamento entre a velocidade do ar e a pressão na superfície de um aerofólio.

Como uma asa de aeronave reage com a atmosfera

Um aerofólio é qualquer superfície projetada para obter reação do ar, através do qual ele se movimenta. Asas, ailerons, profundos, estabilizadores, pás de hélice e rotores de helicópteros, todos são aerofólios.

A reação para a qual as asas são projetadas é chamada de sustentação. A asa produz sustentação por causa de uma diferença de pressão - e com o aumento desta diferença, maior sustentação será desenvolvida.

Se a pressão de ar sobre a asa for a mesma que a sob a asa, não haverá sustentação. Mas se a pressão sobre a asa é reduzida e a sob a asa for aumentada, então a sustentação será produzida.

A forte pressão de ar sob a asa, a move para cima de encontro à fraca pressão sobre a asa. Portanto, o que causa essas pressões desiguais?

Um exame do formato de uma asa de aeronave, revela que ela foi projetada para criar uma diferença de pressão. Se uma asa for cortada, do bordo de ataque para o bordo de fuga, a visão final do corte será um perfil com a seção semelhante ao mostrado na figura 7-21. A parte dianteira do perfil do aerofólio é arredondada e é chamada de bordo de ataque. A parte traseira, estreita e afilada, é chamada de bordo de fuga.

Uma linha de referência, freqüentemente usada em discussões sobre aerofólio, é a corda, uma linha reta imaginária unindo as extremidades do bordo de ataque ao de fuga. A superfície curva da parte superior do aerofólio é chamada de "cambra". A superfície inferior é normalmente reta, ou ligeiramente curvada.

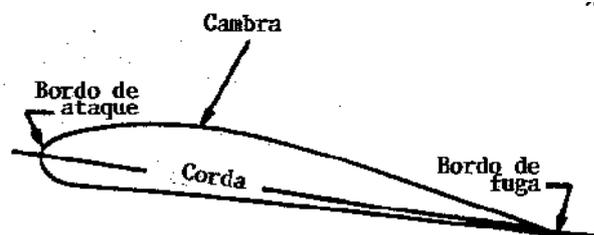


Figura 7-21 Seção de um aerofólio.

Um aerofólio é muito semelhante ao formato da metade de uma seção de venturi. Em "A" da figura 7-22, a garganta ou porção restrita de um venturi está ilustrada.

O fluxo do ar através do venturi é indicado pelas linhas de fluxo. Em "B" da figura 7-22, a metade de uma restrição do venturi é mostrada, junto com o fluxo de ar sobre a sua superfície curva. Observamos que esta porção de um venturi tem o mesmo perfil de um aerofólio.

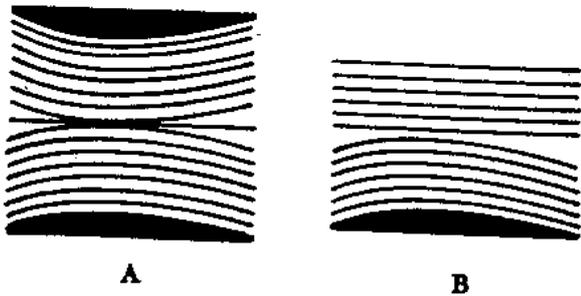


Figura 7-22 Fluxo de ar nas seções de um Venturi.

Para entender como a sustentação é produzida pelas asas de uma aeronave, o princípio de Bernoulli é aplicado para um aerofólio. Esse princípio, revela que a pressão do fluido (líquido ou gás), diminui nos pontos onde a velocidade do fluido aumenta. Em outras palavras, a alta velocidade está associada com a baixa pressão, e a baixa velocidade com a alta pressão. A asa ou aerofólio de uma aeronave, é projetada para aumentar a velocidade do fluxo de ar sobre a sua superfície, diminuindo por isso, a pressão sobre o aerofólio. Simultaneamente, o impacto do ar na superfície inferior do aerofólio, aumenta a pressão por baixo dele. Esta combinação da diminuição da pressão sobre o aerofólio e aumento por baixo dele, produz a sustentação.

MÁQUINAS

Geral

Vulgarmente, uma máquina é imaginada como um dispositivo complexo, tal como um motor de combustão interna ou uma máquina de escrever.

Estas são máquinas, mas o são também, o martelo, a chave de fenda ou uma roda.

Uma máquina é qualquer dispositivo com o qual pode ser realizado um trabalho. Máquinas são usadas para transformar energia, como no caso de um gerador, transformando energia mecânica em energia elétrica.

Máquinas são usadas para transferir energia de um lugar para outro, como, por exemplo, as hastes de ligação, eixos, e engrenagens de redução, transferindo energia do motor da aeronave para a sua hélice.

Um outro uso das máquinas é na multiplicação de força; por exemplo, um sistema de polias pode ser usado para erguer uma carga pesada.

O sistema de polias, permite a elevação de uma carga, exercendo uma força bem menor do que o peso da carga.

Máquinas são também usadas para a multiplicação de velocidades.

Um bom exemplo é a bicicleta, pela qual pode se ganhar velocidade, exercendo uma grande quantidade de força.

Finalmente, as máquinas podem ser usadas para mudar a direção de uma força.

Um exemplo deste uso é o hasteamento de uma bandeira. Uma força descendente de um lado da corda exerce uma força ascendente do outro lado, levando a bandeira na direção do topo do mastro.

Existem somente seis máquinas simples. São elas: a alavanca, a polia, a roda e o eixo, o plano inclinado, o parafuso e a engrenagem. Porém, os físicos reconhecem somente dois princípios básicos em máquinas: a alavanca e o plano inclinado.

A roda e o eixo, a talha e o conjunto de polias, e a engrenagem podem ser considerados como alavancas.

A cunha e o parafuso usam o princípio do plano inclinado.

Um entendimento dos princípios das máquinas simples, proporciona um fundamento necessário para o estudo das máquinas compostas, as quais são combinações de duas ou mais máquinas simples.

A alavanca

A máquina mais simples, e talvez a mais familiar, é a alavanca. A gangorra é um familiar exemplo de alavanca, na qual um peso equilibra o outro.

Existem três partes básicas em todas as alavancas são elas: o apoio "F"; a força ou esforço "E"; e a resistência "R".

Na figura 7-23, estão mostrados o ponto de pivotamento "F"(apoio); o esforço "E", o qual está aplicado a uma distância "A" do apoio; e

uma resistência "R", que atua a uma distância "a" do apoio. As distâncias "A" e "a" são os braços da alavanca.

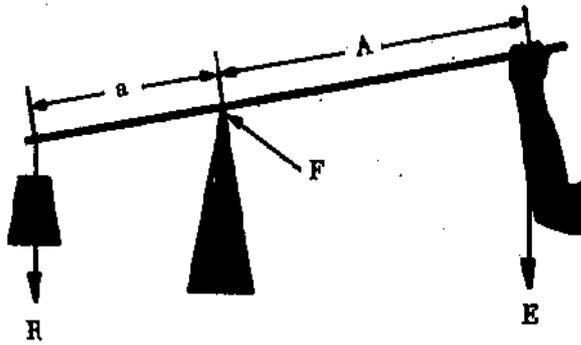


Figura 7-23 Uma alavanca simples.

Classes de alavancas

As três classes de alavancas estão ilustradas na figura 7-24.

A localização do apoio (o ponto fixo ou eixo) com relação a resistência (ou peso) e o esforço, determinam a classe da alavanca.

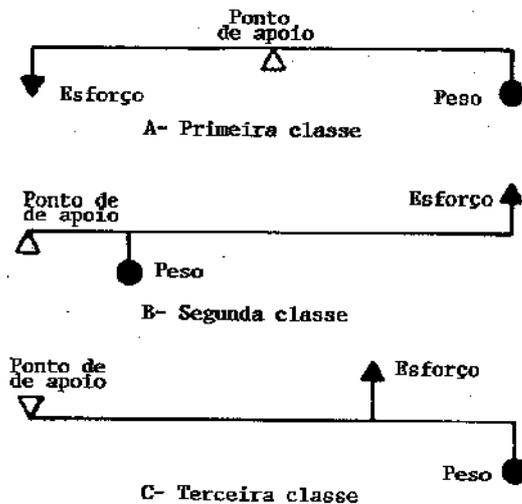


Figura 7-24 Três classes de alavancas.

Alavancas de primeira classe

Nas alavancas de primeira classe ("A" da figura 7-24), o apoio está localizado entre o esforço e a resistência. Como mencionado anteriormente, a gangorra é um bom exemplo de alavanca de primeira classe. A quantidade de peso e a distância do apoio podem ser variados para uma adaptação às necessidades. Um outro bom exemplo são os remos de um bote. O pescador

na figura 7-25 aplica o seu esforço nos punhos dos remos. O apoio de remo funciona como o apoio da alavanca, e a água atua como a resistência a ser superada.

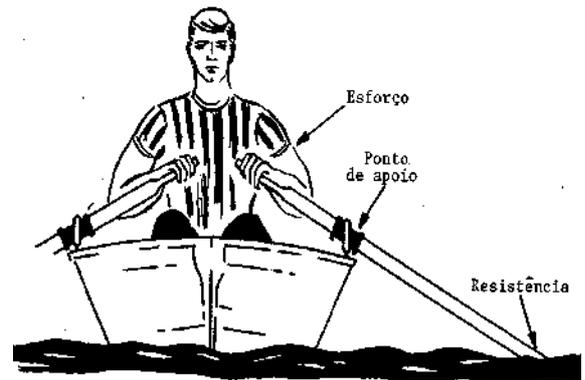


Figura 7-25 Os remos são alavancas.

Nesse caso, como em "A" da figura 7-24, a força está aplicada em um lado do apoio, e a resistência a ser superada está aplicada no lado oposto; portanto esta é uma alavanca de primeira classe.

Alavancas, tesouras e alicates, são exemplos comuns dessa classe de alavancas.

Alavancas de segunda classe

A alavanca de segunda classe ("B" da figura 7-24) tem o apoio em uma das extremidades; na outra, o esforço.

A resistência, algumas vezes está entre esses pontos. O carrinho de mão, na figura 7-26, é um bom exemplo de uma alavanca de segunda classe.

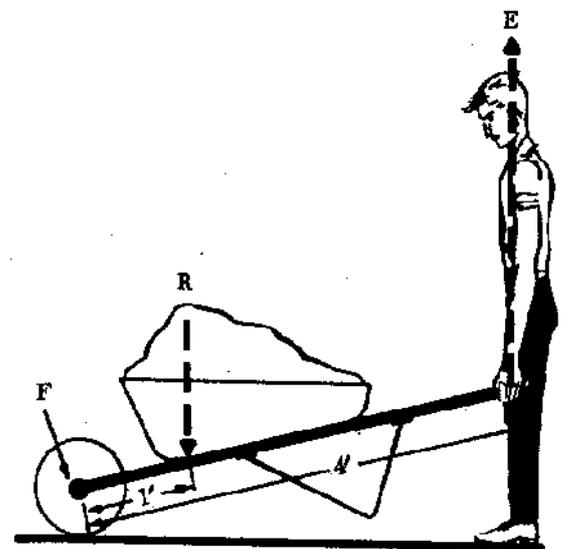


Figura 7-26 Alavanca de segunda classe.

Tanto as alavancas de primeira como as de segunda classe são comumente usadas para auxiliar e vencer grandes resistências, com um esforço relativamente pequeno.

Alavancas de terceira classe

Existem ocasiões em que é desejável acelerar o movimento da resistência, mesmo quando uma grande quantidade de esforço tenha que ser usada.

As alavancas que auxiliam na execução disso são as de terceira classe.

Conforme é mostrado em "C" da figura 7-24, o apoio está em uma das extremidades, e o peso, ou resistência, a ser superado, na outra extremidade; com o esforço sendo aplicado em algum ponto entre os dois.

As alavancas de terceira classe são facilmente reconhecidas, porque o esforço é aplicado entre o apoio e a resistência. Isto está ilustrado pelo diagrama da figura 7-27.

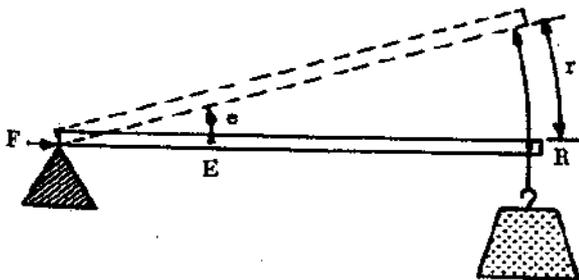


Figura 7-27 Alavanca de terceira classe.

Enquanto o ponto "E" está se movimentando a uma pequena distância "e", a resistência "R" movimenta uma grande distância "r". A velocidade de "R" deve ser maior do que "E", uma vez que "R" cobre uma distância maior, no mesmo espaço de tempo.

O braço humano (Figura 7-28) é uma alavanca de 3ª classe. A ação desta alavanca torna possível a rápida flexão dos braços.

Observamos que o cotovelo é o ponto de apoio. Os bíceps, os quais estão no antebraço, abaixo do cotovelo, aplicam o esforço; enquanto a mão é a resistência.

As alavancas de 3ª classe devem ser usadas para dar velocidade, ao invés de mover cargas pesadas.

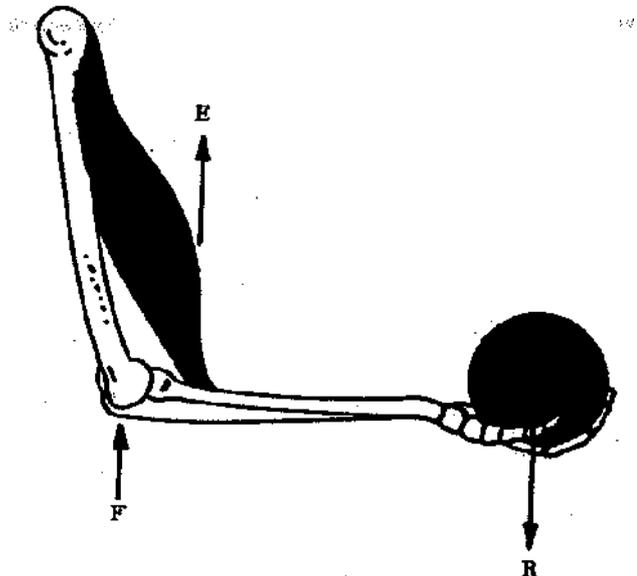


Figura 7-28 O braço é uma alavanca de terceira classe.

As forças requeridas para operarem as máquinas, bem como as forças que elas exercem, podem ser facilmente determinadas. Uma barra de ferro utilizada como alavanca de 1ª classe na figura 7-29. A barra tem 9 (nove) pés de comprimento e está sendo usada para levantar um peso de 300 (trezentas) libras. Um máximo de 100 libras está disponível para levantar o peso.

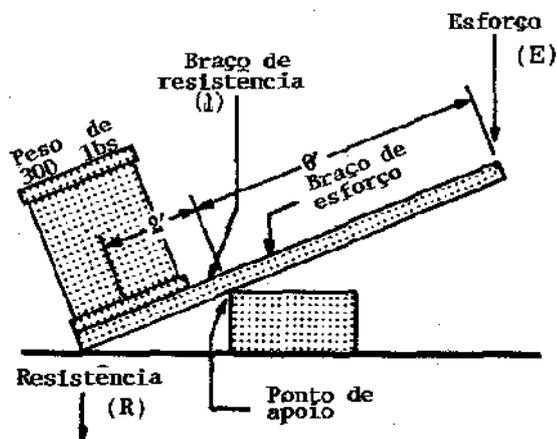


Figura 7-29 Calculando as forças em uma alavanca de primeira classe.

Se um ponto de apoio "F", está colocado a 2 (dois) pés do centro do peso, um comprimento de 6 (seis) pés da barra, fica sendo o braço de força. O comprimento de 6 (seis) pés é 3 vezes mais longo que a distância do ponto de apoio ao centro do peso. Com um esforço de 100 libras

de "E" o peso de 300 libras pode ser levantado, uma vez que, o comprimento do braço de esforço foi multiplicado 3 (três) vezes. Este é um exemplo do relacionamento direto entre os comprimentos do braço da alavanca, e a força atuando neste braço.

Esse relacionamento deve ser enunciado em termos gerais:

O comprimento do braço de esforço, é o mesmo número de vezes maior que o comprimento do braço da resistência; uma vez que a resistência que foi vencida é maior que o esforço que deve ser aplicado.

A equação matemática para este relacionamento é:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Onde:

L = Comprimento do braço da alavanca

l = distância do braço da resistência

R = Resistência do peso ou força

E = Força de esforço

Devemos lembrar que todas as distâncias devem estar na mesma unidade, e todas as forças também têm que ter as mesmas unidades.

Na figura 7-30 outro problema de alavanca de 1º classe é ilustrado: levantar a tampa de uma lata de tinta com uma barra de 6 (seis) polegadas, quando a força média que segura a tampa, possa ser de 50 libras.

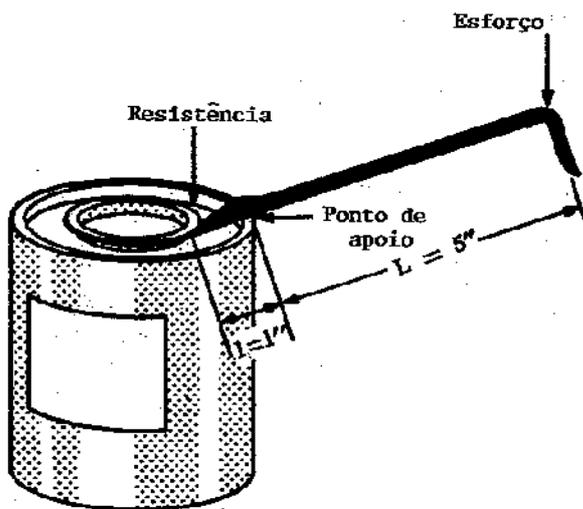


Figura 7-30 Um problema de alavanca de primeira classe.

Se a distância da borda da lata até a borda da tampa é 1 (uma) polegada, que força deve ser aplicada à extremidade da barra ?

De acordo com a fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Aqui, L = 5 polegadas; l = 1 polegada;

R = 50 libras e E é desconhecida.

Substituindo os números nos seus devidos lugares; então

$$\frac{5}{1} = \frac{50}{E} \text{ e } E = \frac{50 \times 1}{5} = 10 \text{ libras}$$

A força requerida é de 10 libras.

A mesma fórmula geral aplica-se para alavancas de 2ª classe; mas é importante medir os comprimentos adequados do braço de esforço e do braço de resistência. Referindo-se a figura 7-26, os comprimentos das hastes do carrinho de mão, medidos a partir do eixo da roda (que é o ponto de apoio), até onde estão segurando (até o punho) é de 4 pés. Este braço de esforço é de 4 (quatro) pés de comprimento. O centro da carga de areia está a 1 (um) pé do eixo; assim, o comprimento do braço da resistência é de 1 (um) pé.

Substituindo na fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E} \therefore \frac{4}{1} = \frac{200}{E} \therefore E = 50 \text{ libras}$$

Um problema de alavanca de 3ª classe é ilustrado na figura 7-28. Com uma das mãos, um peso de 10 libras deve ser levantado. Se o bíceps está fixo ao braço, uma polegada abaixo do cotovelo, e a distância do cotovelo até a palma da mão é de 18 polegadas.

Que esforço deve o músculo exercer para que segure o peso e flexione o braço até o cotovelo ?

Substituindo a fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E} \text{ obtemos } \frac{1}{18} = \frac{10}{E} \text{ e } E = 18 \times 10 = 180 \text{ libras}$$

O músculo deve exercer um esforço de 180 libras para segurar o peso de 10 libras. Isto ilus-

tra que o músculo, bíceps, não foi projetado para levantamento ou puxão, e, também ilustra, que as alavancas de 3ª classe devem ser usadas primariamente para elevar a velocidade de movimento de uma resistência.

Vantagem mecânica das alavancas

As alavancas podem prover vantagem mecânica, uma vez que elas possam ser aplicáveis, de tal maneira, que aumentem uma força aplicada, isto é verdade para alavancas de 1ª e 2ª classes. As alavancas de 3ª classe formam o que é chamado de desvantagem fracional, isto é, uma força maior que a força para levantar a carga, é requerida.

Em geral um problema envolvendo um carrinho de mão (Figura 7-26), um esforço de 50 libras sobrepõe o peso de 200 libras de areia. Neste caso, o esforço foi aumentado 4 (quatro) vezes.

Então a vantagem mecânica conseguida, usando-se o carrinho de mão, é igual a 4.

Expressando a mesma idéia em termos matemáticos:

$$\text{a vantagem mecânica é igual a} = \frac{\text{Resistencia}}{\text{esforço}}$$

$$\text{ou } MA = \frac{R}{E}$$

Então, no caso do carrinho de mão:

$$MA = \frac{200}{50} = 4$$

Esta regra aplica-se a todas as máquinas.

A vantagem mecânica das alavancas pode também ser encontrada dividindo-se o comprimento do braço de esforço "A", pelo comprimento do braço de resistência "a".

Colocado como a fórmula, lemos:

$$\text{Vantagem Mecânica} = \frac{\text{Braco de esforço}}{\text{Braco de resistencia}}$$

$$\text{ou } MA = \frac{A}{a}$$

Como isto se aplica às alavancas de 3ª classe? Se um músculo em X puxa com uma força de 1.800 libras, para que se levante 100 libras, a vantagem mecânica de 100/1800 ou 1/18 é obtida. Isto é uma desvantagem fracional, desde que menor que 1 (um).

O plano inclinado

O plano inclinado é uma máquina simples que facilita o levantamento ou abaixamento de objetos pesados pela aplicação de uma pequena força, sobre uma distância relativamente longa. Alguns exemplos, bastante familiares dos planos inclinados são as estradas sobre montanhas e as rampas de carregamento de gado.

O plano inclinado permite que uma grande resistência seja sobrepujada pela aplicação de uma pequena força, através de uma distância longa, na qual a carga deva ser levantada.

Na figura 7-31, um barril de 300 libras está sendo rolado para cima de uma rampa para a carroceria de um caminhão, 3 (três) pés acima da calçada. A rampa tem 9 (nove) pés de comprimento.

Sem a rampa, a força de 300 libras aplicada no sentido vertical, através da distância de 3 pés, seria requerida para que se carregasse o barril.



Figura 7-31 Plano inclinado.

Com a rampa, a força pode ser aplicada pelo comprimento inteiro de 9 pés, assim como o barril também é rolado vagarosamente até a altura de 3 pés. Isto pode ser determinado pela observação de que a força, de somente 3/9 de 300, ou 100 libras, será requerida para levantar o barril, utilizando um plano inclinado. Isto pode também ser determinado matematicamente, usando a fórmula:

$$\frac{L}{l} = \frac{R}{E}$$

Onde: L = comprimento da rampa medida ao longo da inclinação.

l = altura da rampa

R = peso do objeto a ser erguido ou baixado

E = força requerida para levantar ou baixar o objeto.

Neste caso, L = 9 pés; l = 3 pés; e R = 300 libras.

Substituindo estes valores na fórmula:

$$\frac{9}{3} = \frac{300}{E} \Rightarrow 9E = 900 \quad E = 100 \text{ linhas}$$

Uma vez que a rampa tem 3 vezes mais comprimento do que sua altura, a vantagem mecânica é de 3. A vantagem mecânica teórica é encontrada dividindo-se a distância total através da qual o esforço é exercido pela distância vertical, pela qual a carga é levantada ou abaixada.

A Cunha

A cunha é uma aplicação especial do plano inclinado. As lâminas das facas, machados, machadinhas e formões atuam como cunha, quando são forçados para dentro de um pedaço de madeira. A cunha, na verdade, são dois planos inclinados colocados base a base. Direcionando o comprimento total da cunha no material a ser cortado ou separado, ele é forçado a se dividir numa distância igual ao comprimento do lado maior da cunha (ver figura 7-32).

Cunhas longas e finas têm alta vantagem mecânica. Por exemplo, na figura 7-32 a cunha tem uma vantagem mecânica de 6. A grande vantagem das cunhas encontra-se em situações onde as máquinas simples não podem ser usadas. Por exemplo, basta imaginar-se tentando separar-se uma tora de madeira com um sistema de polias.

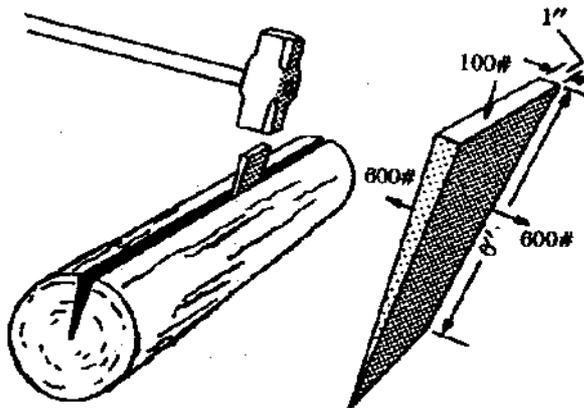


Figura 7-32 Uma cunha.

A polia

As polias são máquinas simples na forma de uma roda, montada sobre um eixo fixo e apoiada por uma cobertura. A roda, ou disco, tem

normalmente um sulco para acomodar uma corda.

A roda é algumas vezes conhecida como uma "roldana". A cobertura que suporta a roda é chamada de bloco. O bloco e os eixos formam um par de blocos. Cada bloco contém uma ou mais polias, e a corda conectando as polias de cada bloco.

Polias fixas simples

Uma polia fixa simples é realmente uma alavanca de 1ª classe com braços iguais. Os braços "EF e FR" na figura 7-33 são iguais; por isso, a vantagem mecânica é 1. Logo, a força para puxar a corda, deve ser igual ao peso do objeto que está sendo levantado.

A única vantagem de uma polia fixa simples é mudar a direção do esforço ou do puxão da corda.

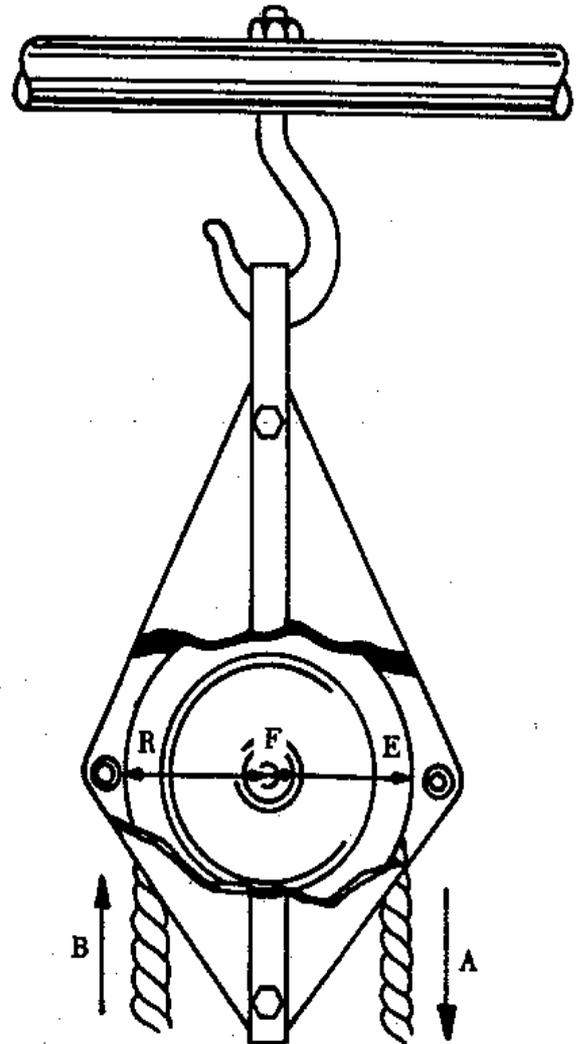


Figura 7-33 Polia fixa, simples.

A polia simples pode ser usada para aumentar a força exercida. Na figura 7-34 a polia não está fixa e a corda é dobrada, porque suporta o peso de 200 libras.

Usando desta maneira, um simples bloco pode levantar 200 libras de peso com um puxão de 100 libras, uma vez que cada metade da corda carrega a metade do total da carga.

A vantagem mecânica é de 2 (dois), que pode ser verificada usando a fórmula:

$$MA = \frac{R}{E} = \frac{200}{100} = 2$$

Uma polia móvel simples, usada na maneira mostrada na figura 7-34 é uma alavanca de 2ª classe.

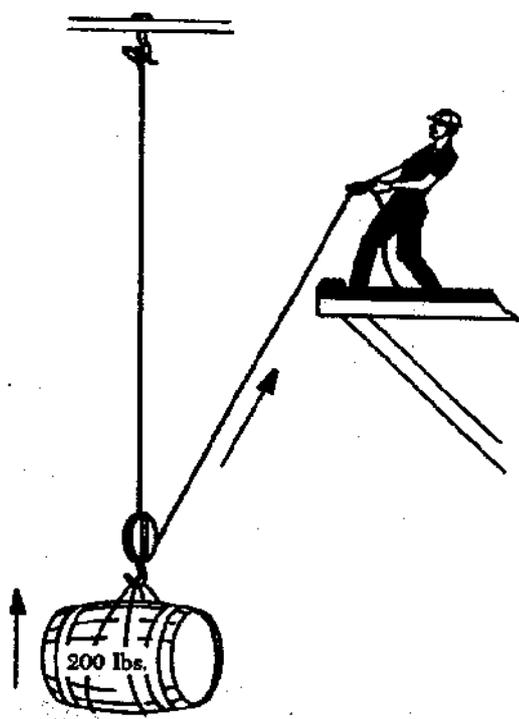


Figura 7-34 Polia móvel, simples.

Como referência temos a figura 7-35. O esforço "E" atua para cima no braço "EF", com o diâmetro da polia. A resistência "R" atua para baixo no braço "FR" que é o raio da polia. Uma vez que o diâmetro é duas vezes o raio, a vantagem mecânica é de 2 (dois).

Entretanto, quando o esforço em "E" move 2 (dois) pés para cima, a carga em "R" é elevada apenas 1 (um) pé. Isto é verdade para todos os sistemas de bloco e guincho, para que uma vantagem mecânica seja obtida, o comprimento da corda passado através das mãos é maior que a

distância em que a carga é elevada. A vantagem mecânica de um sistema de polia é encontrada através medição da resistência e do esforço, e dividindo a quantidade de resistência por este esforço. O método mais fácil, na maioria das vezes utilizado, é simplesmente cortar o número de voltas da corda que move ou suporta o bloco móvel.

TRABALHO, POTÊNCIA E ENERGIA

Trabalho

O estudo das máquinas tanto as simples como as complexas, é o estudo da energia do trabalho mecânico.

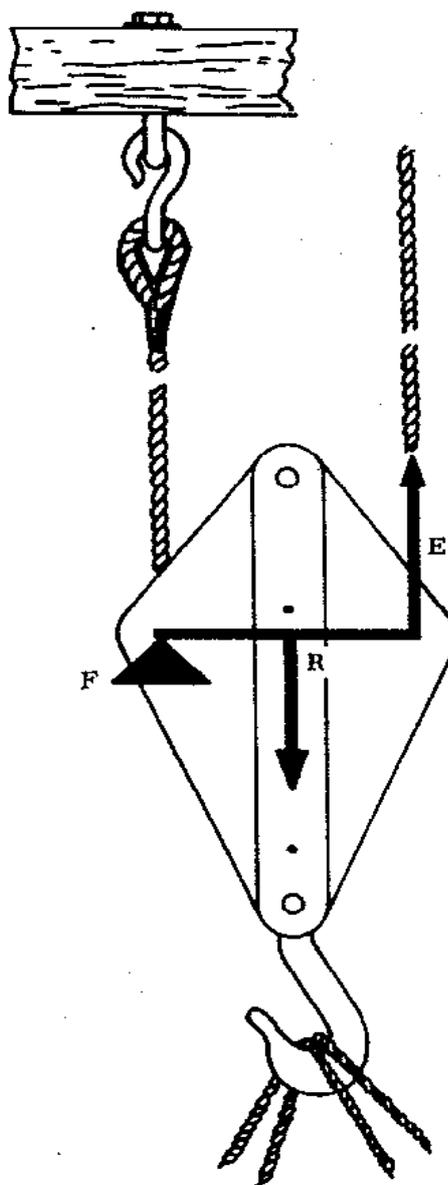


Figura 7-35 Uma polia móvel, simples como alavanca de segunda classe.

Todas as máquinas transferem a energia recebida ou o trabalho feito na máquina, para a energia de saída ou o trabalho feito pela máquina.

O significado de trabalho, dentro da mecânica, é feito quando uma resistência é superada por uma força atuando através de uma distância mensurável. Dois fatores são envolvidos: (1) força e (2) movimento através de uma distância. Como exemplo, suponha que uma aeronave pequena esteja atolada na neve. Dois homens empurram-na por um período de tempo, mas a aeronave não se move. De acordo com a definição técnica, nenhum trabalho foi feito quando se empurrou a aeronave. Por definição, o trabalho só é feito quando um objeto é movido a alguma distância contra uma força resistiva.

Na forma de equação, este relacionamento é:

$$\text{Trabalho} = \text{Força (F)} \times \text{distância (d)}.$$

Os físicos definem trabalho desta forma: "Trabalho é força vezes distância. O trabalho feito por uma força atuando em um corpo é igual a grandeza da força multiplicada pela distância, através do qual a força atua".

No sistema métrico, a unidade de trabalho é o Joule, onde 1 (um) Joule é a quantidade de trabalho feito por uma força de 1 (um) Newton, quando ele age através de uma distância de 1 (um) metro.

Ou seja: 1 Joule = 1 Newton . m .

Ainda podemos escrever a definição na forma:

$$W (\text{Joules}) = F (\text{Newtons}) \times d (\text{metros})$$

Se empurrarmos uma caixa por 8 (oito) metros, através do chão com uma força de 100 Newtons, o trabalho que faremos será: $W = Fd = 100 \text{ Newtons} \times 8\text{m} = 800 \text{ Joules}$.

Muito trabalho é feito na subida de um elevador de 500 Kg, desde o térreo de um prédio até o seu 10º andar, 30 metros mais alto. Nós notamos que a força necessária, é igual ao peso do elevador que é "MG" (massa vezes gravidade).

No sistema métrico, massa ao invés de peso é normalmente especificado. Para descobrir o peso em Newton (unidade métrica de força), de alguma coisa cuja massa em Kg é conhecido, nós simplesmente utilizamos $F = MG$ e colocamos $G = 9,8\text{m}/\text{seg}^2$.

$$F (\text{Newtons}) = M (\text{Kilogramas}) \times G (9.8 \text{ m}/\text{seg}^2)$$

$$W (\text{Joules}) = M (\text{Kilogramas}) \times G (9,8 \text{ m}/\text{seg}^2) \times d (\text{Metros})$$

$$W = Fd = Mgd = 500 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ seg}^2 \times 30 \text{ m} \\ 147.000 \text{ Joules} = 1,47 \times 10^5 \text{ Joules}$$

Força Paralela ao deslocamento

Se uma força for expressa em libras e as distâncias em pés, o trabalho será expresso em pés vezes libras.

Exemplo: quanto trabalho é feito, levantando um peso de 40 libras na altura vertical de 25 pés?

$$W = Fd = 40 \times 25 = 1000 \text{ libras/pés}$$

Exemplo: Quanto trabalho é feito empurrando uma pequena aeronave para dentro de um hangar, a uma distância de 115 pés, se uma força de 75 milhas é requerida para mantê-la em movimento ?

$$W = Fd = 75 \times 115 = 8.625 \text{ libras/pés}$$

Força não paralela ao deslocamento

Nesta equação consideramos "F" na mesma direção de "d".

Se isto não for verdade, por exemplo no caso de um corpo puxando um vagão com uma corda que não é paralela ao chão, devemos utilizar "F" para a componente da força aplicada que atua na direção do movimento, conforme a figura 7-36(B).

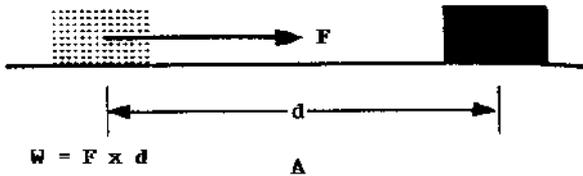
A componente de uma força na direção de um deslocamento "d" é: $F \cos \theta$. Sendo o θ o ângulo entre "F" e "d". Ainda que a equação mais comum para o trabalho seja:

$$W = Fd \cos \theta$$

Quando "F" e "d" são paralelos, $\theta = \text{zero}$ e $\cos \theta = 1$, de tal maneira que $Fd \cos \theta$ reduz-se a somente Fd . Quando F e d são perpendiculares, $\theta = 90^\circ$ e $\cos \theta = 0$, e nenhum trabalho é feito. Uma força que é perpendicular ao movimento de um objeto não pode realizar nenhum trabalho nele. Dessa forma a gravidade, que resulta em uma força para baixo em qualquer coisa perto da terra, não realiza o trabalho em objetos, em movimento horizontal através da superfície da terra. Entretanto, se jogarmos um objeto de forma que ele caia no chão, o trabalho definitivamente é feito nele.

Quando uma força e a distância, através da qual é aplicada, estão paralelas o trabalho feito é igual ao produto de $F \times d$.

Quando uma força e a distância através da qual ela atua são paralelas, o trabalho executado é igual ao produto de "F" e "d".



Quando não têm a mesma direção, o trabalho feito é igual ao produto de "d" e o componente de "F" na direção de "d" chamada de $(F \times \cos \theta) \times d$.

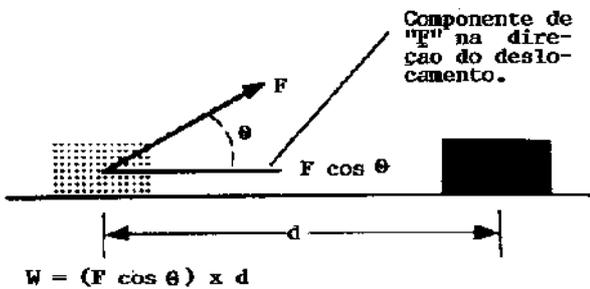


Figura 7-36 Direção do trabalho.

Quando elas não estão na mesma direção, o trabalho feito é igual ao produto de "d" e da componente de "F" na direção de "d". $(F \cos \theta) \times d$.

Atrito

Calculando o trabalho feito, é medida à resistência real a ser sobrepujada. Isto não é necessariamente o peso do objeto a ser movido. Este ponto pode ser ilustrado pela figura 7-37.

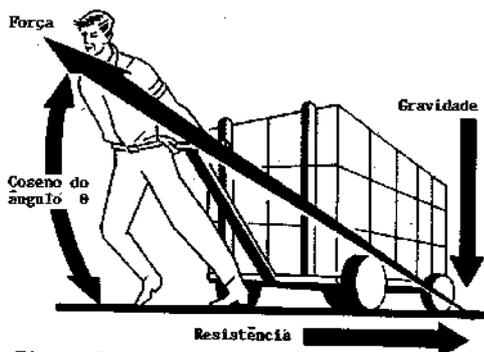


Figura 7-37 Trabalhando contra o atrito.

Uma carga de 900 libras está sendo puxada numa distância de 200 pés. O que não significa que o trabalho feito (força x distância) seja 180.000 libras/pés (900 libras x 200 pés). Isto porque o homem que está puxando a carga não está trabalhando contra o peso total da carga, e sim, contra o atrito do rolamento do carro, o qual não é mais do que 90 libras.

O atrito é um dos mais importantes aspectos da vida. Sem o atrito seria impossível andar. Uma pessoa teria que deslizar de um lugar para o outro e teria que bater contra algum obstáculo para parar no seu destino. Ainda assim o atrito é uma responsabilidade como um crédito, e requer considerações quando se analisa os mecanismos que têm movimento. Nos experimentos relacionados ao atrito, as medidas das forças aplicadas revelam que existem 3 tipos de atrito. Uma força é requerida para iniciar o movimento de um corpo, enquanto outra é requerida para manter o corpo em uma velocidade constante. Ainda, após o corpo estar em movimento, uma força definitivamente maior é requerida para manter o corpo deslizando, do que mantê-lo rolando.

Assim, existem 3 (três) tipos de atrito que podem ser classificados como:

- (1) Atrito de partida (estático)
- (2) Atrito de deslizamento e
- (3) Atrito de rolamento.

Atrito estático

Quando é feita uma tentativa para deslizar um objeto pesado ao longo de uma superfície, o objeto deve ser, em primeiro lugar, forçado a romper a inércia. Uma vez em movimento, ele deslizará mais facilmente.

A força que rompe a inércia é proporcional ao peso do corpo. A força necessária para deslocar o corpo, movendo-o lentamente, é designada "F", e a força normal que pressiona o corpo contra a superfície (usualmente o seu peso) é "F'." São consideradas importantes a natureza da superfície em atrito com outra.

A natureza da superfície é indicada pelo coeficiente de atrito inicial designado pela letra "K". Esse coeficiente pode ser estabelecido por vários materiais e, é muitas vezes, divulgado em forma tabular. Deste modo, quando a carga é conhecida (peso do objeto), o início do atrito

pode ser calculado pelo uso da equação, $F = KF'$.

Por exemplo, se o coeficiente de atrito de um bloco liso de ferro em uma superfície horizontal lisa é 0.3, a força requerida para movimentar um bloco de 10 libras, será de 3 libras; um bloco de 40 libras, será de 12 libras.

O atrito inicial, para os objetos equipados com rodas e rolamentos, é muito menor do que para os objetos deslizantes. No entanto, uma locomotiva teria dificuldade de pôr em movimento, um longo trem, com vários carros, todos ao mesmo tempo. Portanto, os acoplamentos entre os carros são propositadamente feitos para que tenham algumas polegadas de folga. Quando o maquinista está pronto para dar partida no trem, ele recua com o carro motor, até que todos os vagões sejam empurrados juntos. Então, com um impulso rápido para frente, o primeiro vagão entra em movimento. Esta técnica é empregada para superar o atrito estático de cada roda (tão bem como a inércia de cada vagão). Seria impossível para a máquina, deslocar todos os carros no mesmo momento, devido ao atrito estático, o qual é a resistência do que está sendo movimentado, sendo bem maior do que a força exercida pela máquina. Uma vez que os carros estejam em movimento, o atrito estático será grandemente reduzido, e uma força bem menor será necessária para manter o trem em movimento do que a requerida para a partida.

Atrito deslizante

Atrito deslizante é a resistência ao movimento oferecida por um objeto que desliza sobre uma superfície. Ele relaciona-se com o atrito produzido após o objeto ter sido posto em movimento, e é sempre menor do que o atrito inicial.

A quantidade de resistência ao deslizamento depende da natureza da superfície do objeto, da superfície sobre a qual ele desliza, e a força normal entre o objeto e a superfície. Esta força resistiva pode ser calculada pela fórmula: " $F = \mu N$ " onde: " F " é a força resistiva, devido ao atrito e expressa em libras; " N " é a força perpendicular (normal) exercida pelo objeto sobre a superfície na qual desliza; e " μ " (μ) é o coeficiente de atrito deslizante (em uma superfície horizontal, " N " é igual ao peso do objeto, em libras).

A área do objeto deslizante, exposta à superfície onde deslizará, não tem efeito nos resultados.

Um bloco de madeira, por exemplo, não deslizará tão facilmente no lado largo, quanto deslizará no lado estreito (supondo que todos os lados estejam igualmente muito lisos). Portanto, a área não entra na equação acima.

Atrito de rolamento

A resistência ao movimento, é grandemente reduzida, se um objeto for montado sobre rodas ou roletes. A força do atrito para um objeto montado sobre rodas, é chamada de atrito de rolamento.

Essa força pode ser calculada pela mesma equação usada no cálculo do atrito deslizante, mas os valores de " μ " para pneus no concreto ou asfalto, é cerca de .02.

O valor de " μ " para rolamento de esferas é muito menor, variando de .001 a .003, sendo muitas vezes desprezado.

Exemplo:

Uma aeronave, com um peso total de 79.600 libras, é rebocada sobre uma pista de concreto. Qual a força que deve ser exercida pelo veículo rebocador, para manter a aeronave rolando, após iniciar o movimento?

$$F = \mu N$$

$$F = .02 \times 79.600 = 1.592 \text{ lb}$$

Potência

Potência é um termo muitas vezes usando impropriamente. Quando falando sobre a potência de acionamento de um equipamento, as pessoas freqüentemente confundem o termo "potência", com a capacidade de mover cargas pesadas.

Este não é o significado de potência. Um motor de máquina de costura, tem potência suficiente para girar a hélice de um motor de aeronave, desde que esteja conectado ao eixo de manivelas, através de um mecanismo adequado. Ele porém, não poderá girar a hélice a 2.000 r.p.m., por não ter potência suficiente para movimentar uma grande carga em alta velocidade.

Potência, então, é um meio de produzir trabalho. Ele é medido em termos de trabalho,

executado por unidade de tempo. É escrito na seguinte forma de equação:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Força} \times \text{distancia}}{\text{tempo}}$$

$$\text{ou, } P = \frac{Fd}{t}$$

Se a força for expressa em libras, a distância em pés e o tempo em segundos, a potência, então, será dada em libra-pé por segundo (ft-lbs/sec).

O tempo pode também ser dado em minutos. Se o tempo for considerado em minutos nesta equação, a potência então será expressa em ft-lbs/min.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{libras} \times \text{pes}}{\text{segundos}} = \text{ft} - \text{lbs} / \text{seg}$$

$$\text{ou, Potencia} = \frac{\text{libras} \times \text{pes}}{\text{minutos}} = \text{ft} - \text{lbs} / \text{min}$$

Exemplo:

Um motor de aeronave, pesando 3.500 libras, foi erguido em uma altura vertical de 7 pés, para ser instalado em uma aeronave. A talha foi acionada manualmente e exigiu 3 minutos de manivela para erguer o motor. Qual a potência que foi desenvolvida pelo operador da manivela da talha? Não considerar o atrito da talha.

$$\begin{aligned} \text{Potencia} &= \frac{Fd}{t} \\ &= \frac{3500 \text{ libras} \times 7 \text{ feet}}{3 \text{ minutos}} = 8167 \text{ ft} - \text{lbs} / \text{min} \end{aligned}$$

A potência é muitas vezes expressa em unidades de cavalo vapor. Um cavalo vapor é igual a 550 ft-lbs/seg, ou 33.000ft-lbs/min.

Exemplo:

Na talha exemplificada anteriormente, calcular os cavalos vapor desenvolvidos pelo operador da manivela.

$$\begin{aligned} \text{Cavalo vapor} &= \frac{\text{Potencia em ft} - \text{lbs} / \text{min}}{33000} \\ \text{hp} &= \frac{Fd}{t} = \end{aligned}$$

$$\frac{8167}{33000} = 0,247, \text{ ou cerca de } 1/4 \text{ hp}$$

Potência é a razão do trabalho executado:

$$P = \frac{W}{t}$$

No sistema métrico, a unidade de potência é o "Watt", onde:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/segundo}$$

O Watt é a unidade medidora de potência, então, um motor com uma potência de saída de 5.000 Watts é capaz de fornecer 5.000 joules de trabalho por segundo.

Um Kilowatt (Kw) é igual a 1,000 watts. Portanto, o motor tem uma potência de saída de 5 Kw.

Quanto tempo é necessário para o elevador, do exemplo previsto anteriormente, para ascender 30 metros; se ele é elevado por um motor de 5 Kw. Reescrevendo $P = w/t$ na disposição $T = \frac{W}{P}$

E, então, substituindo $W = 1,47 \times 10^5$ joules, e $P = 5 \times 10^3$ concluímos que

$$t = \frac{W}{P} = \frac{1,47 \times 10^5 \text{ joules}}{5 \times 10^3 \text{ Watts}} = 29,4 \text{ segundos}$$

Energia

Em muitos casos, quando um trabalho é executado em um objeto, muitas vezes são dadas condições de retenção e habilidade para posteriormente executar o trabalho. Quando um peso é levantado a certa altura, como o levantamento de um martelo, ou quando do retorno da mola de um relógio, ainda que haja trabalho, o objeto adquire condições de produzir trabalho por ele próprio.

Em estocagem de bateria ou gasolina, a energia fica estocada, podendo ser usada mais tarde, para produzir trabalho. Energia estocada em carvão ou alimento, pode ser usada para produzir trabalho. Estes estoques de energia, dão ao objeto habilidade para produzir trabalho.

Em geral, a troca de energia é igual ao trabalho fornecido; a perda de energia de um

corpo pode ser medida pelo trabalho fornecido, ou o ganho de energia de um corpo, deve ser medido

pela quantidade do trabalho fornecido. Por conveniência; a energia a qual possuem os corpos, é classificada em duas categorias: (1) potencial e (2) cinética.

A energia potencial; pode ser classificada em três grupos: (1) aquele devido a posição, (2) aquele devido a distorções de um corpo elástico e (3) aquele que produz trabalho por ação química. Água em um reservatório elevado é do primeiro grupo; o estiramento de uma tira de borracha, ou a compressão de uma mola, são exemplos do segundo grupo; e a energia em carvão, alimentos e baterias estocados, são exemplos do terceiro grupo.

Corpos em movimento requerem trabalho, para ficarem em movimento. Assim, eles possuem energia de movimento.

Energia devido ao movimento, é conhecida como energia cinética.

Um veículo em movimento, um volante em rotação e um martelo em movimento, são exemplos de energia cinética.

Energia é expressa nas mesmas unidades, tais como aquelas usadas para expressar trabalho. A quantidade de energia potencial que possui um peso levantado, deve ser calculada pela equação:

$$\text{Energia Potencial} = \text{peso} \times \text{altura}$$

Se o peso é dado em libras e a altura em pés, a unidade final de energia será ft.-lbs (pés-libras).

Exemplo: Uma aeronave com um peso total de 110.000 libras está voando em uma altitude de 15.000 pés sobre a superfície da terra. Qual a energia potencial que o avião possui com relação à terra ?

$$\text{Energia Potencial} = \text{peso} \times \text{altura}$$

$$\text{PE} = 110.000 \times 15.000 = 1.650.000.000 \text{ ft.-lbs.}$$

Formas de energia

As mais comuns formas de energia são: calorífica, mecânica, elétrica e química. As várias formas de energia podem ser trocadas ou transformadas em outras formas de energia, por muitas maneiras diferentes. Por exemplo, no caso de energia mecânica, a energia que produz

trabalho durante atrito, é convertida em energia calorífica, e a energia mecânica a qual movimenta um gerador elétrico, desenvolve energia elétrica na saída do gerador.

MOVIMENTO DOS CORPOS

Geral

O estudo do relacionamento entre o movimento dos corpos ou objetos, e a força que os aciona, é freqüentemente chamada de estudo da "força e movimento". Em um maior sentido específico, o relacionamento entre velocidade, aceleração e distância, é conhecido como cinemática.

Movimento Uniforme

Movimento deve ser definido como uma troca contínua de posição ou lugar, ou o processo em que um corpo suporta o deslocamento. Quando um objeto está em diferentes pontos no espaço em momentos diferentes, aquele objeto é dito estar em movimento, e se a distância em que o objeto se move, permanecer igual, por um dado período de tempo, o movimento deve ser descrito como uniforme. Então, um objeto em movimento uniforme, tem uma velocidade constante.

Velocidade e Aceleração

No emprego diário, a aceleração e velocidade, são freqüentemente a mesma coisa. Em física elas têm definições e significados distintos.

Velocidade é atribuída à rapidez com que o objeto se move ou com a distância por ele percorrida em um tempo específico. A velocidade de um objeto não menciona sobre a direção em que o mesmo se move. Por exemplo, se a informação é fornecida, que uma aeronave deixa a cidade de Nova York e viaja 8 horas a uma velocidade de 150 m.p.h. esta informação não diz nada sobre a direção em que a aeronave está se movimentando. No fim de 8 horas ela pode estar na cidade de Kansas, ou navegando numa rota circular, voltando à cidade de Nova York.

Velocidade é uma quantidade em física, que indica a velocidade de um objeto e a direção em que o mesmo se movimenta. Velocidade

também pode ser definida como a razão do movimento, em uma determinada direção.

A velocidade média de um objeto, pode ser calculada, usando a seguinte fórmula:

$$V_a = \frac{S}{t}$$

onde:

V_a = velocidade média

S = distância percorrida

t = tempo gasto

Aceleração

A aceleração é definida pela física como a razão da variação da velocidade. Se a velocidade de um objeto é aumentada de 20 m.p.h. para 30 m.p.h., o objeto foi acelerado. Se o acréscimo na velocidade é de 10 m.p.h. em 5 segundos, a razão de variação na velocidade é de 10 m.p.h., em 5 segundos ou

$\frac{20 \text{ m.p.h.}}{5 \text{ seg}}$ Expresso pela equação:

$$A = \frac{V_f - V_i}{t}$$

ONDE:

A = aceleração

V_f = velocidade final (30 m.p.h.)

V_i = velocidade inicial (20 m.p.h.)

t = tempo gasto

O exemplo usado pode ser expresso da seguinte forma:

$$A = \frac{30 \text{ m.p.h.} - 20 \text{ m.p.h.}}{5 \text{ seg}}$$

$$A = \frac{2 \text{ m.p.h.}}{\text{seg}}$$

Se o objeto foi acelerado para 22 m.p.h. no primeiro segundo, 24 m.p.h. no próximo segundo e 26 m.p.h. no terceiro segundo, a variação de velocidade em cada segundo é de 2 m.p.h. A aceleração é dita como constante e o movimento é descrito como movimento uniformemente acelerado.

Se um corpo tem uma velocidade de 3 m.p.h. no final do primeiro segundo, 5 m.p.h. no final do próximo segundo e 8 m.p.h. no final do terceiro segundo, este movimento é descrito como uma aceleração, porém é um movimento variável acelerado.

Lei de Newton para o movimento

Quando um mágico retira rapidamente a toalha de uma mesa, deixando o local cheio de louça sem abalar as peças, ele não está fazendo nada místico; ele está demonstrando o princípio da inércia.

A inércia é responsável pelo sentimento de desconforto, quando uma aeronave pára repentinamente na área de estacionamento e os passageiros são atirados para frente de seus assentos. Inércia é uma propriedade da matéria.

Esta propriedade da matéria é descrita pela primeira lei de Newton para o movimento, que diz:

Objetos em repouso tendem a permanecer em repouso. Objetos em movimento, tendem a permanecer em movimento, com igual velocidade e igual direção.

Corpos em movimento, tem a propriedade chamada momento. Um corpo que tem grande momento, tem a grande tendência de permanecer em movimento e, por isso, difícil de parar. Por exemplo, um trem movimentando-se, até mesmo em baixa velocidade é difícil de parar, devido a sua grande massa.

A segunda lei de Newton aplica-se a esta propriedade e diz:

Quando uma força atua sobre um corpo, o momento daquele corpo é alterado. A razão da alteração do momento é proporcional à força aplicada.

O movimento de um corpo é definido como o produto de sua massa e de sua velocidade. Então:

Momento = massa x velocidade ou,

$$M = mV$$

Agora, se uma força é aplicada, o movimento é alterado a uma razão igual a força ou,

F = razão de alteração do momento

$$= \frac{M_f - M_i}{t}$$

Substituindo mV por M :

$$F = \frac{m_f V_f - m_i V_i}{t}$$

Desde que a massa não esteja constantemente em transformação; $m_f = m_i = m$. Então:

$$F = \frac{mV_f - m_i}{t} = \frac{m(V_f - V_i)}{t}$$

O segundo termo da seção anterior, é reconhecido como aceleração.

$$F = m a$$

Na terra, a gravidade exerce uma força em cada corpo, causando uma aceleração de 32ft./seg^2 , que é usualmente designado como "g". A força é comumente chamada peso; "W". Usando a fórmula abaixo:

$$W = m g$$

ou; $m = \frac{W}{g}$

Então na terra, a segunda lei torna-se:

$$F = ma = \frac{W}{g} (a)$$

Os seguintes exemplos ilustram o uso desta fórmula.

Exemplo:

Um trem pesando 32.000 lbs e viajando a 10ft./seg .

Qual força é requerida para conduzi-lo ao repouso em 10 segundos ?

$$F = \frac{W}{g} (a) \therefore \frac{W (V_f - V_i)}{g t} \therefore \frac{32000 (0 - 10)}{32 \cdot 10} \Rightarrow$$

$$\frac{32000x(-10)}{32x10} = -1000 \text{lbs}$$

O sinal negativo significa que aquela força deve ser aplicada contra o movimento do trem.

Exemplo:

Uma aeronave pesa 6.400 libras. Qual a força necessária para dar uma aceleração de 6ft./seg^2 ?

$$F = \frac{W(a)}{g} = \frac{6.400x6}{32} = 1.200 \text{ lb}$$

A terceira lei de Newton para o movimento é freqüentemente chamada de lei da ação e reação. Ela estabelece que, para toda ação há uma

reação igual e oposta. Isto quer dizer que, se uma força for aplicada em um objeto, este objeto suprirá uma força resistiva aplicada. É fácil entender como esta força se aplica nos objetos em repouso. Por exemplo, um homem parado sobre um piso qualquer, este piso exerce uma força contra os seus pés, exatamente igual ao seu peso. Mas, esta lei é também aplicável a um objeto em movimento.

Quando uma força aplicada em um objeto, for mais do que suficiente para produzir e sustentar um movimento uniforme, a inércia do objeto causará uma força resistiva semelhante, contrariando o movimento do objeto, e igual à força que produziu o movimento. Esta resistência à mudança de velocidade, devido à inércia é normalmente chamada de força interna.

Quando várias forças atuam sobre um objeto para produzir movimento acelerado, a soma das forças externas está em um estado de desequilíbrio; porém as forças externas e internas, somadas, estão sempre em um estado de equilíbrio, estando o movimento produzido ou sustentado.

As forças sempre ocorrem aos pares. O termo "força atuando" significa a força que o segundo corpo exerce sobre o primeiro.

Quando a hélice de uma aeronave, empurra para trás um fluxo de ar com a força de 500 libras, o ar empurra as pás da hélice para frente com a força de 500 libras. Essa força para frente, ocasiona o movimento da aeronave neste sentido. Da mesma maneira, o fluxo de ar internamente, e a descarga dos gases de escapamento de um motor à turbina, compõem as forças de ação que causam o movimento da aeronave para frente.

As três leis para o movimento que foram discutidas aqui, estão intimamente relacionadas. Em muitos casos, todas as três leis podem estar atuando em um corpo ao mesmo tempo.

Movimento circular

Movimento circular, é o movimento de um objeto ao longo de um curso curvo, o qual tem um raio constante.

Por exemplo, se o final de um barbante é preso a um objeto e o outro final é mantido na mão, o objeto pode ser girado em círculos. O objeto é constantemente desviado de um curso reto (linear) pelo impulso exercido no barbante, como mostra a figura 7-38.

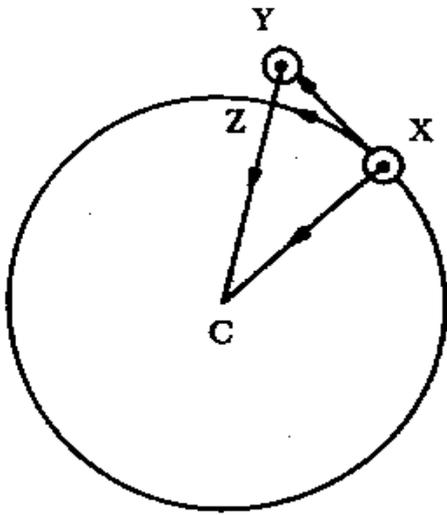


Figura 7-38 Movimento circular.

Quando um objeto como o da figura 7-38 é conduzido ao longo da circunferência de “x” para “y”, o impulso ou força do barbante leva-o de “y” para “z”. Este impulso no barbante, é chamado de força centrípeta, que desvia um objeto de um curso reto, forçando-o para um curso curvado. Assim, o barbante exerce uma força centrípeta no objeto e o objeto exerce uma igual força, porém oposta no barbante, obedecendo a terceira lei de Newton para o movimento.

Aquela força igual à força centrípeta, mas acionada em direção oposta, é chamada de força centrífuga.

No exemplo da figura 7-38, ela é a força exercida pelo objeto no barbante. Sem uma força centrípeta, não existe uma força centrífuga.

A força centrípeta, é sempre diretamente proporcional a massa do objeto em um movimento circular. Assim, se a massa do objeto na figura 7-38 é dobrada, o impulso no barbante deve ser dobrado, mantendo o objeto em seu curso circular, desde que a velocidade do objeto, permaneça constante.

A força centrípeta, é inversamente proporcional ao raio do círculo, no qual o objeto se movimenta.

Se o barbante na figura 7-38 for encurtado e a velocidade for mantida constante, o impulso no barbante deverá aumentar, desde que o raio seja diminuindo e o barbante puxe o objeto no seu curso linear, mais rapidamente.

Usando o mesmo raciocínio, o impulso no barbante deve ser aumentado, se o objeto for balançado mais rapidamente na sua órbita.

A força centrípeta é assim, diretamente proporcional ao quadrado da velocidade do objeto.

A fórmula para a força centrípeta é:

$$C.P. = \frac{MV^2}{R}$$

Onde:

M = a massa do objeto

V = velocidade

R = raio do curso do objeto

Movimento de Rotação

O movimento de um corpo; em torno de um eixo é chamado de movimento de rotação. Este é o movimento familiar, que ocorre quando o eixo de manivelas de um motor estiver girando.

A diferença entre rotação e movimento circular é que no caso do movimento de rotação, o corpo ou objeto rodopia, enquanto em movimento circular; o objeto se desloca ao longo de um curso curvado.

Quando um objeto rodopia em velocidade constante em torno de um eixo fixo, ele tem movimento de rotação uniforme.

Quando a sua direção ou razão de rotação muda, ele tem movimento de rotação variável.

Momento

Momento é definido como o produto da massa de um objeto e sua velocidade. A força requerida para acelerar um objeto, é proporcional à massa do objeto e a aceleração dada. A aceleração tem como definição, a mudança da velocidade de um objeto. Isto é expresso como na fórmula:

$$A = \frac{V_f - V_i}{t}$$

Onde:

A = Aceleração

V_f = Velocidade Final

V_i = Velocidade Inicial

t = Tempo decorrido

A segunda lei de Newton para o movimento, F = MA, implica aceleração.

Se a expressão original para aceleração for substituída na segunda lei de Newton, segue-se:

$$F = \frac{MV_f - MV_i}{t}$$

Esta fórmula pode ser resolvida mais adiante, para ilustrar o momento pela multiplicação, em ambos os lados para "t".

$$Ft = MV_f - MV_i$$

Esta fórmula ilustra que o momento de um objeto é o produto de sua massa e sua velocidade.

CALOR

O calor é uma forma de energia. Ele é produzido somente pela conversão de uma das outras formas de energia.

O calor pode, também, ser definido como energia cinética total das moléculas de qualquer substância.

Algumas formas de energia, as quais podem ser convertidas em energia calorífica são as seguintes:

(1) **Energia mecânica** - esta inclui todos os métodos de produção do aumento de movimento das moléculas, como a fricção, o impacto de corpos ou a compressão de gases.

(2) **Energia elétrica** - é convertida em energia calorífica quando uma corrente elétrica flui através de qualquer forma de resistência. Isto pode ser um ferro elétrico, uma lâmpada elétrica ou um aquecedor elétrico.

(3) **Energia química** - a maioria das formas de reação química converte energia potencial armazenada em calor. Alguns exemplos são o efeito explosivo da pólvora, a queima de óleo ou madeira, e a combinação de oxigênio e graxa.

(4) **Energia radiante** - ondas eletromagnéticas de certas frequências produzem calor quando são absorvidas pelos corpos no momento que se chocam. Incluindo estão raio X, raios de luz e raios infravermelhos.

(5) **Energia nuclear** - energia estocada dentro dos núcleos dos átomos, é liberada durante o processo de divisão nuclear em um reator nuclear ou explosão atômica.

(6) **O sol** - toda energia calorífica pode ser diretamente ou indiretamente direcionada em reações nucleares ocorridas no sol.

Equivalência Mecânica do Calor

Quando um gás é comprimido, trabalho é feito e o gás torna-se morno ou quente. Inversamente, quando o gás sob alta tensão torna-se frio.

No primeiro caso, o trabalho foi convertido em energia na forma de calor; no segundo, a energia calorífica foi expandida.

Desde que o calor seja despreendido ou absorvido, então deverá haver um relacionamento entre a energia calorífica e o trabalho. Do mesmo modo, quando duas superfícies são esfregadas juntas, a fricção produz calor. Entretanto um trabalho foi requerido para causar o calor, e pela experimentação foi mostrado que o trabalho requerido e a quantidade de calor, produzidos pela fricção, estavam proporcionais. Assim, o calor pode ser considerado como uma forma de energia. De acordo com esta teoria, de calor como uma forma de energia, as moléculas, átomos, e elétrons em todos os corpos, estão em um constante estado de movimento. Num corpo quente, estas pequenas partículas possuem relativamente, grande quantidade de energia cinética, mas as pequenas partículas são fornecedoras de movimento, e, portanto, energia cinética; trabalho deverá ser feito para deslizar um corpo sobre o outro.

Energia mecânica aparentemente é transformada, e o que nós conhecemos como calor é realmente energia cinética de pequenas subdivisões moleculares da matéria.

Duas diferentes unidades são usadas para expressar quantidades de energia calorífica. Elas são a caloria e a unidade termal britânica. Uma caloria é igual a quantidade de calor necessária para trocar a temperatura de 1 grama de água em 1 grau centígrado.

Este termo "caloria" (escreve-se com um c minúsculo) é 1/1.000 de Caloria (escrito com um C maiúsculo) usado para a medição do valor do calor produzido ou energia produzida em alimentos. Um B.t.u. (unidade térmica britânica) é definida como quantidade de calor necessário para mudar a temperatura de 1 libra de água em 1 grau Fahrenheit. A caloria e a grama são ra-

ramente usadas em discussões sobre manutenção de aeronaves. O B.t.u., entretanto, é comumente referido em debates de eficiência térmica do motor e o calor contido no combustível de aviação.

Um dispositivo conhecido como calorímetro é usado para medir quantidades de energia calorífica.

Por exemplo, ele pode ser usado para determinar a quantidade de energia calorífica disponível em 1 libra de gasolina de aviação.

Um determinado peso de combustível é queimado no calorímetro, e a energia calorífica é absorvida por uma grande quantidade de água. Pelo peso da água e o aumento em sua temperatura, é possível calcular o calor produzido pelo combustível.

Um relacionamento definido existe entre o calor e a energia mecânica. Este relacionamento tem sido estabelecido e verificado por muitas experiências como as abaixo:

$$1 \text{ B.t.u.} = 778 \text{ pés-libras}$$

Assim, se a amostra de combustível de 1 libra mencionada acima, foi achada para produzir 20.000 B.t.u., poderá ser o equivalente a 20.000 B.t.u. x 778 pés. lbs/B.t.u. ou 15.560.000 pés.lbs de energia mecânica.

Infelizmente, o calor do motor não é capaz de transformar toda a energia calorífica disponível no combustível queimado, em energia mecânica. Uma grande porção de energia é perdida através de perda de calor e fricção operacional.

Método de transferência de calor

Existem três métodos pelo qual o calor é transferido de um local para outro ou de uma substância para outra.

Estes três métodos são condução, convecção e radiação.

Condução

Todos conhecem por experiência que o metal de uma panela aquecida pode queimar a mão. Um cabo de plástico ou madeira, entretanto, permanece relativamente frio, ainda que esteja diretamente em contato com a panela.

O metal transmite o calor mais facilmente do que a madeira, porque é um melhor condutor de calor.

Diferentes materiais conduzem o calor em diferentes proporções.

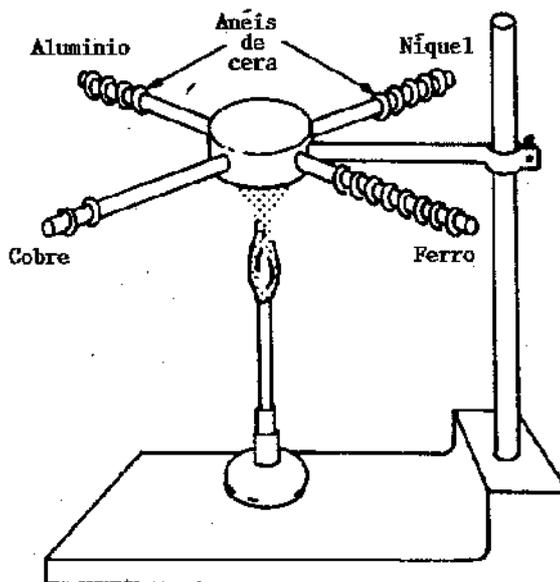


Figura 7-39 Vários metais conduzem calor em diferentes razões.

Alguns metais são melhores condutores de calor do que outros. Alumínio e cobre são usados em potes e panelas porque eles conduzem o calor muito rapidamente. Madeiras e plásticos são usados para punhos, porque eles conduzem o calor bem vagorosamente.

A figura 7-39, ilustra as diferentes razões de condução de vários metais. Quatro varetas de diferentes metais têm diversos anéis de cera pendurados nelas. Uma chama é usada para aquecer um terminal de cada vareta simultaneamente.

Os anéis derretem e pingam da vareta de cobre primeiro, então da vareta de alumínio, após vem a vareta de níquel, e por último vem a vareta de ferro.

Este exemplo mostra que entre os quatro tipos de metais usados, o cobre é o melhor condutor de calor e o ferro é o pior.

Líquidos são piores condutores de calor que os metais. Note que o gelo no tubo de teste mostrado na figura 7-40 não é fundido rapidamente, ainda que a água no topo esteja fervendo.

A água conduz o calor tão pobremente que não há bastante calor para atingir o gelo e derretê-lo.

Os gases são constantemente piores condutores de calor que os líquidos. É possível per-

manecer-se próximo a um fogão sem ser queimado, porque o ar é semelhante a um pobre condutor.

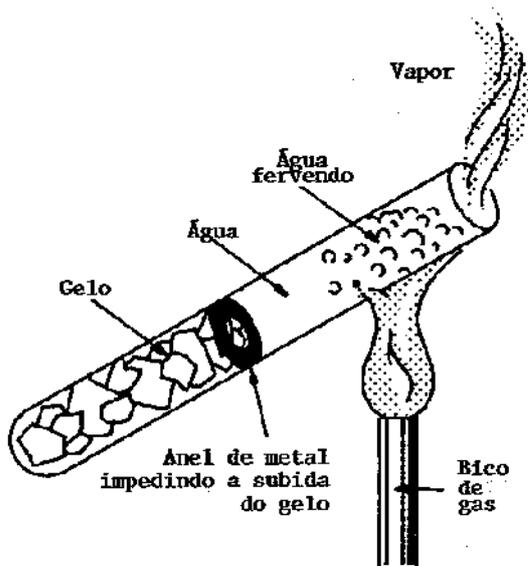


Figura 7-40 A água é um mau condutor de calor.

Visto que a condução é um processo pelo qual o aumento na energia molecular é transformado ao longo do contacto, os gases são pobres condutores.

No ponto de aplicação da fonte de calor, as moléculas tornam-se violentamente agitadas. Estas moléculas batem nas moléculas adjacentes, fazendo com que elas se tornem agitadas. Este processo continua até que a energia calorífica seja distribuída igualmente por todas as partes da substância.

As moléculas estão mais distantes nos gases que nos sólidos, os gases são piores condutores de calor.

Os materiais que são pobres condutores, são usados para evitar a transferência de calor, e são chamados de isoladores de calor. Um punho de madeira numa panela ou em um ferro de soldar servem como isolantes de calor. Certos materiais como fibra de vidro ou amianto, são particularmente pobres condutores de calor.

Estes materiais são, portanto, usados para muitos tipos de isolantes.

Convecção

É um processo pelo qual o calor é transferido pelo movimento de um fluido aquecido (gás ou líquido). Por exemplo, uma válvula eletrônica, quando aquecida, torna-se um aquecedor, aumentando o calor, até o ar ao redor co-

meçar a mover-se. O movimento do ar é ascendente. Este movimento para cima do ar aquecido carrega o calor da válvula quente, pela convecção. Transferir o calor pela convecção pode ser apressado pelo uso de um ventilador para mover o ar ao redor do objeto quente. A razão de refrigeração de uma válvula quente a vácuo, pode ser aumentada se estiver provido com tiras de cobre para reduzir o calor da válvula aquecida. As tiras aumentam a superfície, permitindo que o ar frio possa circular para a refrigeração.

Um processo de convecção pode acontecer tanto em um líquido como em um gás. A figura 7-41 mostra um transformador em um banho de óleo. O óleo aquecido é menos denso (tem menos peso por unidade de volume) e sobe, enquanto o óleo frio desce, é aquecido subindo em seguida.

Quando a circulação de um gás ou líquido não é rápida o suficiente para remover o calor, ventiladores ou bombas são usados para acelerar o movimento do material refrigerante. Em algumas instalações, são usadas bombas para circular água ou óleo, com a finalidade de refrigerar grandes equipamentos. Em instalações a bordo de aeronaves, ventiladores e circuladores de ar elétricos são usados para auxiliar a convecção.

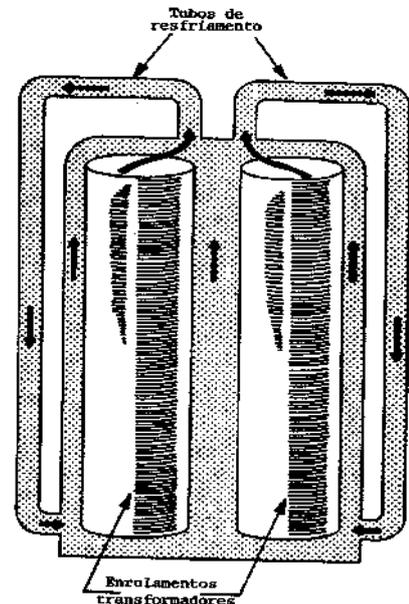


Figura 7-41 Resfriamento de transformador por convecção, com circulação de óleo.

Radiação

Condução e convecção não podem ser consideradas inteiramente, para alguns dos fe-

nômenos associados com a transferência de calor. Por exemplo, o calor que uma pessoa sente quando sentada diante de um fogo aceso, não pode ser transferido por convecção, porque a corrente de ar está se movendo em direção ao fogo.

Ele não pode ser transferido por condução, porque a condutividade do ar é muito pequena e a corrente de ar frio, movendo-se em direção ao fogo em maior quantidade, superará a transferência de calor. Portanto, deve haver um outro meio para o calor viajar pelo espaço diferente da condução e da convecção.

A existência de um outro processo de transferência de calor é mais evidente quando o calor do sol é considerado. Uma vez que a condução e a convecção só podem transferir calor através de um meio, como um gás ou um líquido, o calor do sol deve atingir a terra por outro método, uma vez que o espaço é quase um vácuo perfeito. Radiação é o nome deste terceiro método de transferência de calor.

O termo “radiação” refere-se à emissão contínua de energia, da superfície de todos os corpos. Esta energia é conhecida como energia radiante. Ela está na forma de ondas eletromagnéticas, ondas de rádio ou de raios “X”, as quais são todas semelhantes, exceto pela diferença do comprimento das ondas.

Estas ondas, viajam na velocidade da luz e são transmitidas através do vácuo, mais facilmente do que através do ar, porque o ar absorve algumas delas. A maior parte das formas de energia podem ser pesquisadas pela energia da luz solar. A luz do sol é uma forma de energia calorífica radiante que viaja através do espaço para atingir a terra. Estas ondas eletromagnéticas de calor são absorvidas quando entram em contato com corpos não transparentes.

O resultado é que o movimento das moléculas do corpo é aumentado, sendo indicado pelo aumento da temperatura do corpo.

As diferenças entre condução, convecção e radiação podem agora ser consideradas. Em primeiro lugar, embora a condução e a convecção sejam extremamente lentas, a radiação é feita com a velocidade da luz.

Este fato é evidente durante um eclipse do sol, quando a obstrução do calor do sol tem lugar ao mesmo tempo da obstrução da luz. Em segundo lugar, o aquecimento por radiação pode passar através de um meio sem aquecê-lo. Por exemplo, o ar dentro de uma estufa pode ser

mais quente do que o vidro através do qual passam os raios do sol. Em terceiro lugar, embora o calor conduzido e o convectado possam percorrer caminhos curvos ou irregulares, o calor por radiação sempre é conduzido em linha reta. Por exemplo, o efeito da radiação pode ser cortado com a colocação de uma tela entre a fonte de calor e o corpo a ser protegido.

O sol, o fogo e uma lâmpada elétrica, todos irradiam energia, mas um corpo não precisa brilhar para irradiar calor. Um caldeirão de água quente ou um aquecido ferro de soldar irradiam calor. Se a superfície for polida ou de cor clara, menos calor será irradiado.

Corpos que não refletem, são bons irradiadores e bons absorventes de calor e os corpos que refletem são maus irradiadores e maus absorventes. Por esta razão, são usadas roupas claras no verão.

Um exemplo prático do controle da perda de calor é a garrafa térmica. O frasco é feito de duas paredes de vidro separadas por vácuo. O vácuo evita a perda do calor por condução e convecção e uma camada de prata nas paredes evita a perda de calor por radiação.

Calor específico

Um aspecto importante no qual as substâncias diferem, é na necessidade de diferentes quantidades de calor para produzir a mesma mudança de temperatura em uma determinada massa da substância.

Cada substância requer uma quantidade de calor, chamada capacidade específica de calor, para aumentar a temperatura de uma unidade de sua massa em 1 grau. O calor específico de uma substância é a relação da sua capacidade específica de calor para a capacidade específica de calor da água.

O calor específico é expresso por um número, o qual, pode ser uma razão, não possui unidade e se aplica tanto ao sistema inglês como ao sistema métrico.

É uma felicidade que a água tenha uma grande capacidade específica de calor. As grandes porções de água na terra mantêm o ar e a matéria sólida em sua superfície ou próxima a ela, em uma temperatura constantemente moderada.

Uma grande quantidade de calor é necessária para mudar a temperatura de um grande lago ou rio.

Material	Calor específico
Mercurio.....	0,033
Cobre.....	0,095
Ferro e aço.....	0,113
Vidro.....	0,200
Álcool.....	0,500
Água.....	1,000

Figura 7-42 Valores do calor específico de alguns materiais comuns.

Entretanto, quando a temperatura cai, abaixo daquela das porções de água, elas desprendem grandes quantidades de calor. Este processo preserva a temperatura atmosférica na superfície da terra, das rápidas variações.

O valor do calor específico de alguns materiais comuns estão relacionados na figura 7-42.

Expansão térmica

A expansão térmica acontece nos sólidos, líquidos e gases quando eles estão aquecidos. Com algumas exceções, os sólidos se expandem quando aquecidos e se contraem quando esfriados. Devido as moléculas dos sólidos estarem muito juntas e serem fortemente atraídas umas com as outras, a expansão, dos sólidos é muito insignificante em comparação com a expansão dos líquidos e dos gases. A expansão dos fluidos foi discutida no estudo da lei de Boyle. A expansão térmica nos sólidos deve ser explanada em alguns detalhes devido ao seu relacionamento com os metais e materiais das aeronaves.

Expansão nos sólidos

Os materiais sólidos se expandem no comprimento, largura e espessura, quando são aquecidos. Um exemplo da expansão e contração das substâncias, é o aparelho bola e o anel, ilustrado na figura 7-43. A bola e o anel são feitos de ferro.

Quando ambos estão na mesma temperatura, a bola desliza através do anel. Quando a bola é aquecida ou o anel resfriado, a bola não passa no anel.

Experiências mostram que, para uma determinada mudança de temperatura, a variação do comprimento ou volume é diferente para cada substância.

Por exemplo, uma determinada mudança na temperatura, causa a dilatação de uma peça de cobre, aproximadamente o dobro

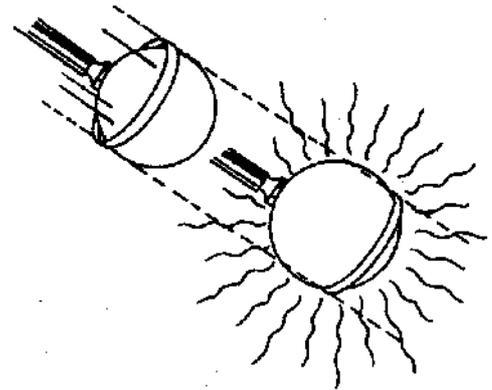


Figura 7-43 Bola e anel.

da expansão de uma peça de vidro do mesmo tamanho e formato. Por esta razão, o fio condutor do interior de uma válvula eletrônica não pode ser feito de cobre, mas deve ser feito de um metal que tenha a mesma razão de expansão do vidro. Se o metal não tiver a mesma razão de expansão, haverá uma perda do vácuo devido a entrada de ar pelo espaço entre o fio e o vidro.

Em virtude de algumas substâncias se expandirem mais do que outras é necessário a medição experimental da exata razão de expansão de cada uma. A quantidade de unidades de comprimento de uma substância, ao se expandir com o aumento de 1 grau na temperatura, é conhecida como coeficiente linear de expansão, para aquela substância.

Coefficientes de expansão

Para calcular a expansão de qualquer objeto, tal como um trilho de aço, é necessário conhecer três coisas sobre ele; isto é, seu comprimento, a elevação de temperatura a que ele está sujeito, e seu coeficiente de expansão. Este relacionamento é expresso pela equação:

Expansão = coeficiente x comprimento x elevação da temperatura

$$e = KL (t_2 - t_1)$$

Nesta equação, a letra “K” representa o coeficiente de expansão para a determinada substância. Em alguns casos a letra Grega “α” (alfa) é usada para indicar o coeficiente de expansão linear.

Se uma haste de metal mede exatamente 9 pés a 21°C, qual é o seu comprimento a 55°C ? O valor de "K" para metal é 10×10^{-6} . Se a equação $e = KL(t_2 - t_1)$ for usada, então: $e = (10 \times 10^{-6}) \times 9 \times (55-21)$
 $e = 0,000010 \times 9 \times 34$
 $e = 0,00306$

Esta quantidade, quando adicionada ao comprimento original da haste, faz com que a haste tenha 9,00306 pés.

O aumento no comprimento da haste é relativamente pequeno; mas se a haste fosse colocada onde não pudesse expandir-se livremente, existiria uma tremenda força exercida, devido à expansão térmica. Desta maneira, a expansão térmica deve ser levada em consideração quando projetar células, grupos motopropulsores ou equipamentos relacionados.

A figura 7-44 contém a lista dos coeficientes de expansão linear para algumas substâncias comuns.

Substância	Coefficiente de expansão linear por grau cent.
Alumínio.....	24×10^{-6}
Latão.....	19×10^{-6}
Cobre.....	17×10^{-6}
Vidro.....	$4 \text{ a } 9 \times 10^{-6}$
Quartzo.....	$0,4 \times 10^{-6}$
Aço.....	11×10^{-6}
Zinco.....	26×10^{-6}

Figura 7-44 Coeficiente de expansão de alguns materiais comuns.

Uma aplicação prática que emprega a diferença dos coeficientes de expansão linear dos metais é o termostato. Este instrumento consiste de um arranjo de duas barras de metais diferentes fixadas juntas. Quando a temperatura muda, ocorre um arco por causa da expansão desigual dos metais. A figura 7-45 mostra um semelhante instrumento, feito com um punho de madeira para demonstrações de laboratório. Os termostatos são usados nos reles de sobrecarga dos motores, em chaves sensitivas de temperatura e em sistemas de aquecimento.

SOM

O som tem sido definido como uma série de perturbações na matéria que o ouvido humano pode detectar. Esta definição pode também

ser aplicada a perturbações que estão além do alcance da audição humana.

Existem três elementos que são necessários para a transmissão e recepção do som. Estes são a fonte, um meio para transportar o som e o detector. Alguma coisa que move de cá para lá (vibre) e perturbe o meio em volta dele, pode ser considerado uma fonte de força.

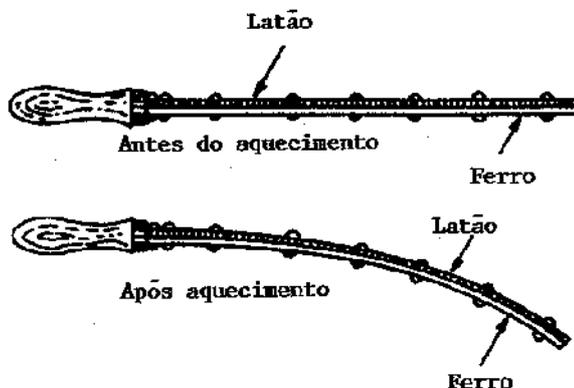


Figura 7-45 Barra composta.

Um exemplo da produção e transmissão do som é a badalada de um sino. Quando o sino é golpeado e começa a vibrar, as partículas do meio (o ar nos arredores) em contato com o sino também vibram. A perturbação vibracional é transmitida de uma partícula do meio para a próxima, e as vibrações viajam em uma onda através do meio, até encontrarem o ouvido. O tímpano, atuando como detector, é posto em movimento pelas partículas do ar, e o cérebro interpreta as vibrações do tímpano como a característica do som associada com o sino.

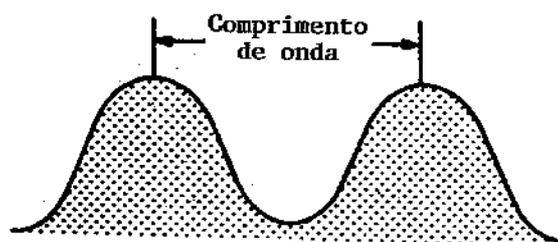


Figura 7-46 Onda transversal.

Movimento da onda

Visto que o som é um movimento de onda em questão, ele pode ser melhor entendido, primeiramente, considerando as ondas de água. Quando uma pedra é atirada dentro de uma piscina, uma série de ondas circulares viajam fora da perturbação. Na figura 7-46 tais ondas são diagramadas como vistas na seção transversal,

de lado. Observe que as ondas de água são uma sucessão de cristas e cavados. O comprimento de onda é a distância da crista de uma onda à crista da próxima. As ondas de água são conhecidas como ondas transversais, por causa do movimento das moléculas da água para cima e para baixo, ou em ângulos retos para a direção na qual as ondas estão viajando. Isto pode ser visto observando uma rolha na água, boiando para cima e para baixo, quando as ondas passam por ela; as rolhas movem-se muito pouco para o lado.

O som viaja através da matéria na forma de movimentos longitudinais de onda. Essas ondas são chamadas de ondas longitudinais, porque as partículas do meio vibram de lá para cá, longitudinalmente na direção da propagação, como mostrado na figura 7-47.

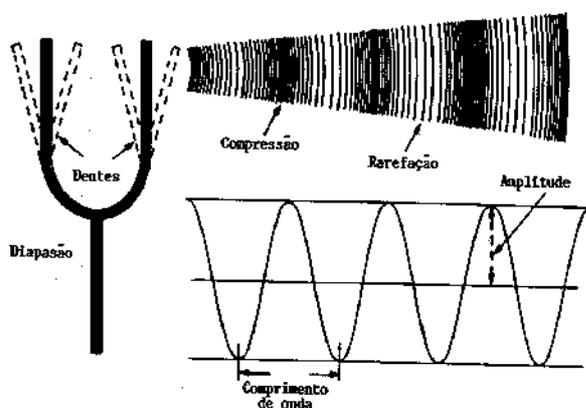


Figura 7-47 Propagação do som por um diapasão.

Quando o dente do diapasão (figura 7-47) se move para fora, o ar imediatamente na frente do dente é então comprimido, e sua pressão momentânea é aumentada acima dos outros pontos do meio em volta. Por causa da elasticidade, esta perturbação é transmitida progressivamente para fora do dente na forma de uma onda de compressão.

Quando o dente retorna e se move para dentro, o ar na frente do dente fica rarefeito, então sua pressão momentânea é reduzida abaixo dos outros pontos do meio em volta. Esta perturbação é transmitida na forma de uma onda de rarefação (expansão) e segue a onda de compressão através do meio.

O desenvolvimento de alguma onda envolve dois movimentos distintos: (1) A onda se move para frente com velocidade constante e,

(2) simultaneamente, as partículas do meio que levam a onda vibram harmonicamente. (Exemplos de movimento harmônico são o movimento de um pêndulo de um relógio, a roda do balanço em um relógio, e o pistão de um motor convencional).

O período de uma partícula vibrando é o tempo “t” (em segundos), requerido para a partícula completar uma vibração.

A frequência “f” é o número de vibrações completas por segundo e pode ser expressa em c.p.s. Quando expressa nesta unidade, a palavra “ciclos” significa vibrações. O período é o recíproco da frequência:

$$t = 1/f$$

A velocidade de uma onda é igual ao comprimento da onda, λ (lambda) dividido pelo período. Visto que, o período é o recíproco da frequência, a velocidade é,

$$v = f\lambda$$

Onde:

v = velocidade em pés/segundo

f = frequência em c.p.s.

λ = comprimento de onda em pés.

A amplitude de vibração é o deslocamento máximo da partícula do seu ponto de equilíbrio.

Duas partículas estão em fase, quando elas estão vibrando com a mesma frequência e continuamente passam através dos correspondentes pontos de seus caminhos ao mesmo tempo. Em qualquer outra condição, as partículas estarão fora de fase. Duas partículas estão em fase oposta, quando elas encontram seu deslocamento máximo em direções opostas ao mesmo tempo.

O comprimento de onda é a distância medida ao longo da direção de propagação entre dois pontos correspondentes e de igual intensidade que estão na fase adjacente as ondas. Este comprimento pode ser representado pela distância entre o ponto de rarefação máxima no curso completo da onda (fig 7-47).

Quando a figura 7-47 é referida, mantenha em mente que a onda transversal desenhada abaixo da onda de compressão é simplesmente um meio de simplificar o conceito e a relação com o tipo de onda da ilustração, comumente usada em discussões sobre ondas eletromagnéticas.

Quando uma onda avança e encontra um meio de natureza diferente, parte dessa energia

é refletida de volta ao meio inicial, e parte é transmitida para dentro do segundo meio.

Reflexão das ondas sonoras

Para entender a reflexão das ondas sonoras, ajuda muito pensar na onda como um raio. Um raio é uma linha que indica a direção que a onda está se propagando. Num ambiente uniforme, um raio percorrerá uma linha reta. Apenas no limite entre dois ambientes, ou em uma área onde o meio está em mudança, os raios mudam a sua direção.

Se uma linha, chamada “normal”, é desenhada perpendicular ao limite, o ângulo entre a entrada do raio e a linha normal é chamado de ângulo de incidência, “ i ” como mostrado na figura 7-48. O ângulo que o raio refletido faz com a linha normal é chamado de ângulo de reflexão “ r ”. Algumas ondas são refletidas de tal maneira que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Freqüentemente pensa-se primeiro na luz quando o assunto discutido é reflexão, embora a reflexão seja igualmente comum em outros tipos de onda. Como exemplo, os ecos são causados pela reflexão das ondas sonoras. Quando uma superfície dura é posicionada de modo a permitir uma boa reflexão de som, ele retorna como um eco, e é ouvido com um certo atraso em relação ao momento no qual o som foi emitido. Se a superfície for côncava, ele pode ter um efeito de foco e concentrar a energia do som refletido em uma localidade.

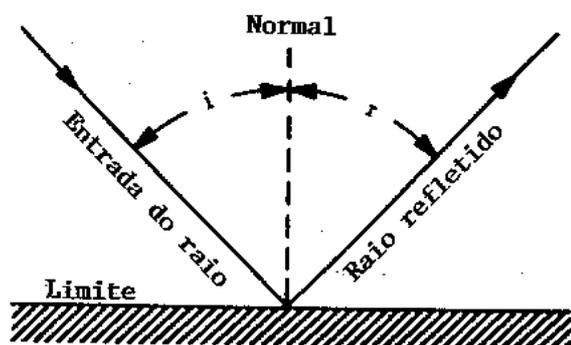


Figura 7-48 Reflexão de um raio.

Essa reflexão pode ser de nível variado em intensidade, maior que o som direto, e a sua chegada em um momento mais tarde, pode ter particular importância na sua aplicação, como o sonar.

Velocidade do som

Em um meio uniforme, sob determinada condição física, o som se propaga com uma velocidade definida.

Em algumas substâncias, a velocidade do som é maior do que em outras. Mesmo em meios iguais, mas sob diferentes condições de temperatura, pressão, etc., a velocidade do som varia. A densidade e a elasticidade são duas propriedades físicas básicas que governam a velocidade do som.

Em geral, uma diferença de densidade entre duas substâncias é suficiente para indicar que uma será um meio de transmissão mais lento para o som. Por exemplo, o som se propaga mais rapidamente na água do que no ar, ambos na mesma temperatura. Embora existam algumas inesperadas exceções para esta regra. Um notável exemplo entre estas exceções envolvem a comparação da velocidade do som no chumbo e no alumínio, na mesma temperatura. O som se propaga a 16.700 f.p.s. no alumínio a 20°C., e apenas a 4.030 f.p.s. no chumbo a 20°C., apesar do fato do chumbo ser muito mais denso que o alumínio.

A razão para tais exceções é encontrada no fato, mencionado acima, que a velocidade do som depende tanto da elasticidade quanto da densidade.

Usando a densidade como indicação grosseira da velocidade do som em dada substância, podemos afirmar como regra geral, que o som se propaga com velocidade maior nos materiais sólidos, menor nos líquidos e ainda menor nos gases.

Para uma temperatura fixa, a velocidade do som é constante para qualquer meio e é independente do período, freqüência, ou amplitude da manifestação. Desta maneira, a velocidade do som no ar a 0°C.(32°F) é 1.087 f.p.s. e aumenta de 2 f.p.s. para cada grau centígrado de temperatura e aumenta (1,1 f.p.s. para cada grau Fahrenheit). Na prática a velocidade do som no ar pode ser considerada 1.100 f.p.s.

Número Mach

No estudo de aeronaves que voam em velocidades supersônicas é costumeiro discutir a velocidade da aeronave em relação a velocidade do som (aproximadamente 750 milhas por hora). O termo “Número Mach” foi dado para a

razão da velocidade da aeronave com a velocidade do som, em homenagem a *Ernst Mach*, um cientista austríaco.

Assim, se a velocidade do som ao nível do mar é 750 milhas por hora, uma aeronave voando em um número *Mach* de 2,2 estaria viajando em uma velocidade de $750 \text{ m.p.h.} \times 2,2 = 1.650$ milhas por hora.

↳ Para Km/h é calculado por 3,6 e multiplicar ou 3,6

Frequência do som *o/ dividir*

O termo “pitch” é usado para descrever a frequência de um som. É importante reconhecer que a diferença entre os tons produzidos por duas diferentes teclas de um piano é uma diferença de “pitch”. O “pitch” de um tom é proporcional ao número de compressões e rarefações recebidas por segundo, que em geral, é determinado pela frequência da vibração, da origem do som.

Frequência, ou “pitch”, é normalmente medido por comparação com um padrão. O tom padrão pode ser produzido por um diapasão de frequência conhecida ou uma sirene cuja frequência é computada por uma particular velocidade de rotação. Através da regulagem da velocidade, o “pitch” da sirene é igualado ao tom que está sendo medido.

Intensidade do som

Quando um sino toca, as ondas sonoras se propagam em todas as direções e o som é ouvido também em todas as direções. Quando um é tocado lentamente, as vibrações são de pequena amplitude e o som é baixo. Um golpe forte produz vibrações de maior amplitude no sino, e o som é mais alto.

É evidente que a amplitude das vibrações do ar será maior quando a amplitude das vibrações da fonte for aumentada. Daí, a altura do som depender da amplitude das vibrações das ondas sonoras. Quando a distância da fonte aumenta, a energia em cada onda espalha-se, e o som torna-se mais baixo.

A intensidade do som é a energia por unidade de área, por segundo. Em uma onda sonora de movimento harmônico simples, a energia é metade cinética e metade potencial; uma é devido a velocidade das partículas, outra devido a compressão e rarefação do meio. Estas duas energias em alguns instantes ficam defasadas 90

graus. Isto é, quando a velocidade de movimento da partícula está no máximo, a pressão está normal, e quando a pressão está no máximo ou mínimo, a velocidade das partículas é zero.

A altura do som depende tanto da intensidade quanto da frequência. A intensidade de uma onda sonora em um meio é proporcional às seguintes quantidades;

- (1) Quadrado da frequência de vibração.
- (2) Quadrado da amplitude.
- (3) Densidade do meio.
- (4) Velocidade de propagação.

Em determinada distância da fonte do som (ponto), a intensidade da onda varia inversamente com o quadrado da distância da fonte.

Quando a onda sonora avança, as variações da pressão ocorrem em todos os pontos do meio de transmissão.

Quanto maior a variação da pressão, mais intensa será a onda sonora. Pode ser demonstrado que a intensidade é proporcional ao quadrado da variação de pressão, para qualquer que seja a frequência. Desta maneira, pela variação da pressão, a intensidade dos sons com frequências diferentes podem ser comparadas diretamente.

Medida da intensidade do som

A altura (intensidade) do som não é medida pelo mesmo tipo de escala usada para medir comprimento.

O ouvido humano tem um padrão de resposta não linear, e as unidades de medida do som usadas, variam logaritmicamente com a amplitude da variação do som. Estas unidades são o “BEL” e “DECIBEL”, que se referem as diferenças entre sons de intensidade e níveis diferentes.

O decibel, que é um décimo de um bel, é a mudança mínima de nível do som perceptível pelo ouvido humano.

Daí, o decibel simplesmente descrever o índice entre dois níveis. Por exemplo, 5 decibéis podem representar qualquer volume de som, dependendo da intensidade do nível de referência, ou o nível do som em que o índice é baseado.

CAPÍTULO 8

ELETRICIDADE BÁSICA

INTRODUÇÃO

Qualquer pessoa envolvida com manutenção de aeronaves está ciente do crescente uso da eletricidade nos sistemas modernos, e reconhece a importância do mecânico compreender os princípios da eletricidade.

A eletricidade, hoje, é extensamente usada nos sistemas de aeronaves, salientando a importância de um fundamento sólido de eletricidade para técnicos de célula e moto-propulsão.

No estudo da física, a teoria do elétron foi introduzida para explicar a natureza essencial da estrutura da matéria.

Um exame mais detalhado desta teoria é necessário para explicar o comportamento do elétrons, bem como sua aplicação no estudo da eletricidade básica.

MATÉRIA

A matéria pode ser definida como algo que possui massa (peso) e ocupa espaço. Logo, matéria é alguma coisa que existe. Ela pode existir em forma de sólidos, líquidos ou gases.

A menor partícula de matéria, em qualquer estado ou forma que existe, possui sua identidade, é chamada de molécula.

Substâncias compostas por apenas um único tipo de átomo são chamadas de elementos, entretanto a maioria das substâncias existentes na natureza são compostas, isto é, são combinações de dois ou mais tipos de átomos. Água, por exemplo, é um composto de dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio.

Uma molécula de água é ilustrada na figura 8-1. Ela não teria mais características de água, se fosse composta por um átomo de hidrogênio e dois átomos de oxigênio.

O átomo

O átomo é considerado a parte constitutiva básica de toda matéria. É a menor partícula possível em que um elemento pode ser dividido conservando, ainda, suas propriedades químicas. Em sua forma mais simples, consiste em

um ou mais elétrons, orbitando velozmente em torno de um centro ou núcleos, também na maioria dos átomos.

O átomo não é visível, mesmo que colocássemos 200.000 deles lado a lado numa linha de uma polegada, ainda assim não poderíamos vê-los. Apesar disso, grandes conhecimentos sobre seu comportamento são obtidos através de testes e experiências.

O átomo mais simples é o de hidrogênio, que é formado por um elétron girando em torno de um próton, conforme mostrado na figura 8-2. Um átomo mais completo é o do oxigênio (veja figura 8-3), que consiste de oito elétrons girando em duas órbitas diferentes, em torno de um núcleo formado por oito prótons e oito neutrons.

Um elétron representa a carga elétrica negativa básica e, além disso, não pode ser dividido. Alguns elétrons são mais fortemente ligados ao núcleo do seu átomo do que outros, e giram em órbitas imaginárias mais fechadas e próximas do núcleo, enquanto outros orbitam seus núcleos mais livremente e distantes.

Estes últimos são chamados elétrons "livres", porque podem ficar livres com facilidade da atração positiva dos prótons (núcleo) para formar o fluxo de elétrons num circuito elétrico.

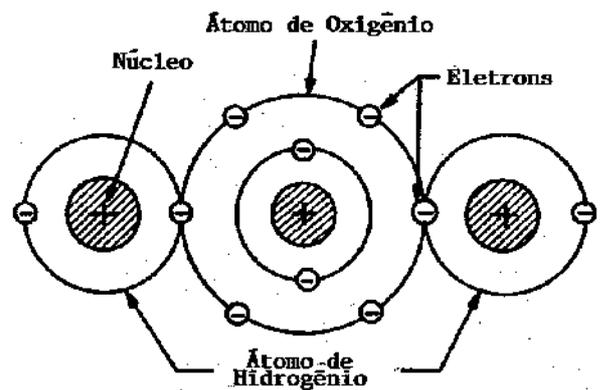


Figura 8-1 Uma molécula de água.

Os neutrons, no núcleo, não possuem carga elétrica. Eles não são positivos nem negativos, mas são iguais aos prótons em tamanho e peso. Como um próton pesa aproximadamente 1.845 vezes mais do que um elétrons, o peso total de um átomo é determinado através da

quantidade de prótons e neutrons existentes no seu núcleo.

O peso do elétron não é considerado. Na verdade a natureza da eletricidade não pode ser definida claramente, porque não se tem certeza se o elétron é uma carga negativa desprovida de massa (peso) ou uma partícula de matéria com carga negativa.

A eletricidade é melhor compreendida pelo seu comportamento, que se baseia no papel da carga transportada pelo átomo. Quando a carga positiva total dos prótons, no núcleo, se equilibra com a carga total negativa dos elétrons em órbita, em torno do núcleo, diz-se que o átomo possui carga neutra.

Se um átomo tem escassez de elétrons, ou carga negativa, ele está carregado positivamente, e é chamado de íon positivo. Se ele possui um excesso de elétrons, diz-se que está carregado negativamente, e é chamado de íon negativo.

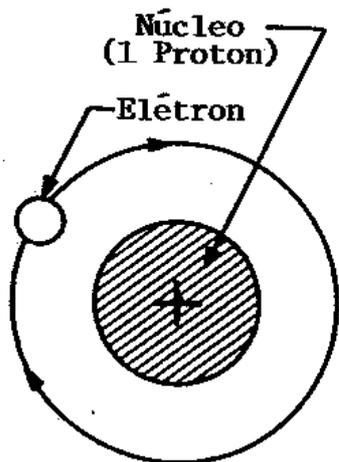


Figura 8-2 Átomo de hidrogênio.

Transferência de elétrons

Em condição de carga neutra, um átomo tem um elétron para cada próton existente no núcleo. Deste modo, o número de elétrons atrelados ao átomo configurarão os vários elementos, variando de 1, no caso do hidrogênio, até 92 para o urânio.

Os elétrons girando em torno do núcleo percorrem órbitas, chamadas camadas. Cada camada pode conter um certo número máximo de elétrons e, se tal quantidade for excedida, os elétrons excedentes serão obrigados a se transferirem para a camada mais alta (em relação ao núcleo), ou mais externa.

A camada mais próxima do núcleo pode conter no máximo dois elétrons. A segunda camada não mais do que oito elétrons; a terceira, dezoito elétrons; a quarta, trinta e dois; etc. Entretanto, é preciso observar que em alguns átomos, grandes e complexos, os elétrons podem estar dispostos nas camadas mais externas antes que algumas camadas internas estejam completas.

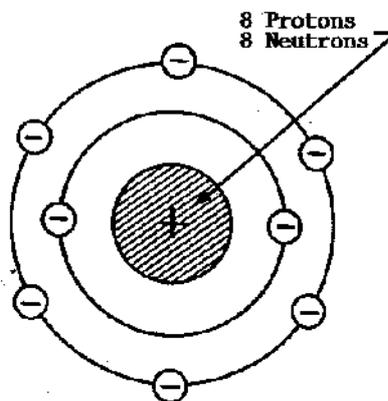


Figura 8-3 Átomo de Oxigênio.

ELETRICIDADE ESTÁTICA

A eletricidade é normalmente definida como sendo estática ou dinâmica. Como todos os elétrons são parecidos, tais palavras não descrevem de fato os diferentes tipos de eletricidade, distinguem, mais precisamente, elétrons em repouso ou em movimento.

A palavra estática significa "estacionária" ou "em repouso", e se refere à deficiência ou excesso de elétrons. Inicialmente pensava-se que eletricidade estática era eletricidade em repouso, porque a energia elétrica produzida por fricção não teria movimento.

Uma experiência simples, como passar um pente seco no cabelo, produz estalidos, indicando ocorrência de descarga estática, consistindo, pois na transferência de elétrons para o pente, como resultado da fricção.

A descarga é causada pelo rápido movimento na direção oposta (do pente para o cabelo), para equilibrar as cargas eventualmente. No escuro, há possibilidade de se enxergar pequenas centelhas correspondentes a essas descargas.

A eletricidade estática tem pouca utilidade prática e, freqüentemente, causa problemas. É difícil de controlar, e descarrega rapidamente.

Ao contrário, a corrente elétrica ou dinâmica é gerada e controlada facilmente, e supre energia para o trabalho do dia-a-dia.

Um resumo da teoria do elétrons ajuda a explicar a eletricidade estática. Todos os elétrons são semelhantes e repelem-se entre si, o mesmo ocorre com os prótons. Elétrons e prótons são diferentes e se atraem. Daí, a lei fundamental da eletricidade; Cargas iguais se repelem e diferentes se atraem.

Produção de eletricidade estática

Eletricidade estática pode ser produzida por contato, fricção ou indução. Como exemplo de fricção, uma vareta de vidro esfregada com pelica torna-se carregada negativamente, mas se esfregada com seda torna-se carregada positivamente. Alguns materiais que produzem eletricidade estática facilmente são flanela, seda, rayon (seda artificial), âmbar, borracha rígida e vidro.

Quando dois materiais são friccionados entre si, algumas órbitas de elétrons dos átomos de cada um podem se cruzar, ocasionando transferência de elétrons.

A transferência de elétrons se dá nas camadas ou órbitas externas do átomo, e são chamadas de elétrons livres.

Quando uma vareta de vidro é esfregada com seda, surgem elétrons ficando positivamente carregada. A seda se torna negativamente carregada, acumulando excesso de elétrons. A fonte destas cargas elétricas é a fricção.

Uma vareta de vidro carregada pode ser utilizada para carregar outras substâncias, por exemplo, se duas esferas maciças são penduradas, conforme mostrado na figura 8-4, e cada esfera é tocada com a vareta carregada, esta transfere alguma carga para as esferas.

As esferas então, passam a ter cargas similares e, conseqüentemente, repelem-se conforme mostrado na parte "B" da figura 8-4. Se uma vareta de plástico é esfregada com pelica, ela se torna negativamente carregada, e a pelica positivamente.

Tocando cada esfera com estas diferentes fontes de cargas, as esferas adquirem cargas contrárias e se atraem, como mostrado na parte "C" da figura 8-4.

Não obstante, muitos objetos se tornam carregados com eletricidade estática por meio de fricção. Uma substância carregada somente

pode afetar objetos próximos por contato. Isto está ilustrado na figura 8-5.

Se uma vareta carregada positivamente toca uma barra de metal descarregada, fluirão elétrons da barra descarregada pelo ponto de contato. Alguns elétrons passarão para a vareta, deixando a barra metálica com deficiência de elétrons (positivamente carregada), e tornando a vareta menos positiva do que estava ou, talvez, igualmente neutralizando sua carga completamente.

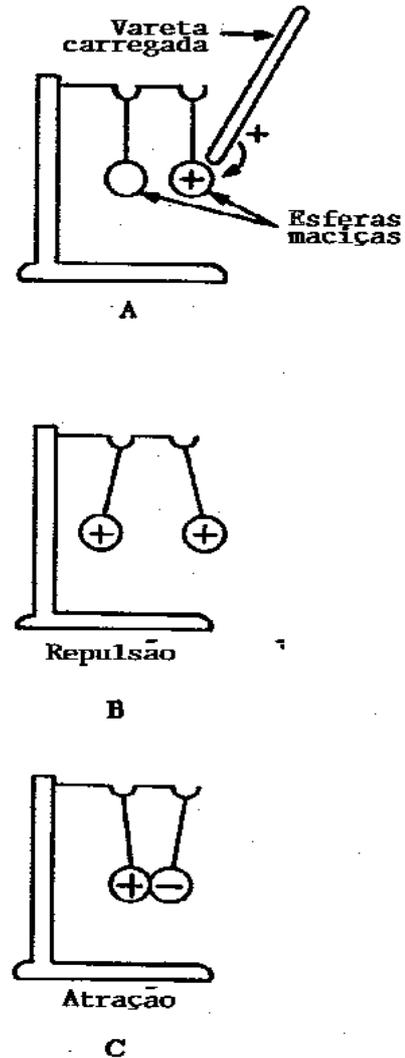


Figura 8-4 Reação de cargas iguais e desiguais.

Um método para carregar por indução uma barra metálica é demonstrado na figura 8-6. Uma vareta carregada positivamente é aproximada, mas não toca fisicamente uma barra de metal descarregada.

Os elétrons na barra metálica são atraídos para a extremidade mais próxima da vareta positiva, deixando a extremidade oposta da barra deficiente de elétrons.

Caso esta extremidade positiva seja tocada por um objeto neutro, elétrons fluirão para a barra metálica, neutralizando sua carga. A barra metálica é deixada com excesso de elétrons em toda a sua extensão.

Campo eletrostático

Existe um campo de força em torno de um corpo carregado. Esse campo é um campo eletrostático (às vezes chamado um campo dielétrico) e é representado por linhas estendendo-se em todas as direções a partir do corpo carregado, até onde houver uma carga oposta e com a mesma intensidade.

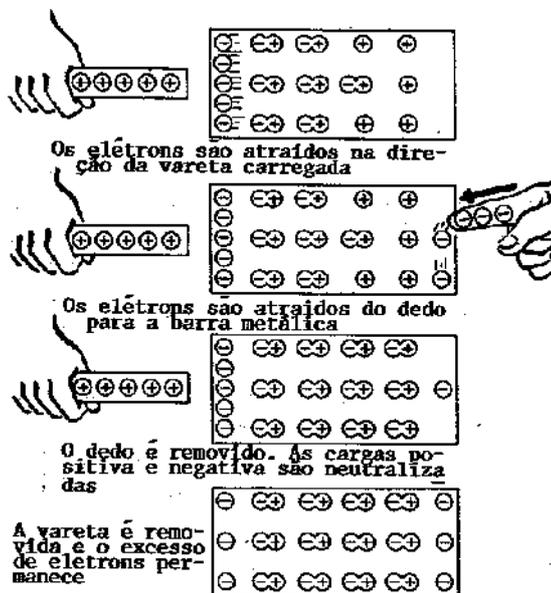


Figura 8-6 Carga de uma barra por indução.

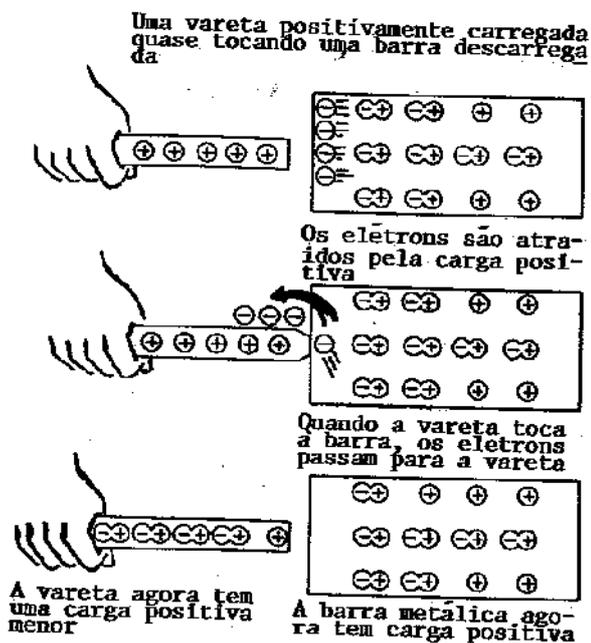


Figura 8-5 Carga por contato.

Para explicar a ação de um campo eletrostático, são empregadas linhas para representar a direção e a intensidade do campo de força elétrico.

Conforme ilustrado na figura 8-7, a intensidade do campo é indicada pela quantidade de linhas por área, e a direção é mostrada pelas setas sobre as linhas, apontando na direção em que uma pequena carga de teste poderia ou tenderia a mover-se, se afetada pelo campo de força.

Tanto uma carga de teste positiva ou negativa podem ser usadas, mas tem sido arbitrariamente consentido que uma pequena carga positiva será sempre usada na determinação da direção do campo.

Deste modo, a direção do campo em torno de uma carga positiva é sempre no sentido de afastamento a partir da carga, conforme mostrado na figura 8-7, porque uma carga positiva de teste seria repelida. Por outro lado, a direção das linhas no caso de uma carga negativa é em direção a esta carga, já que uma carga de teste positiva é atraída por ela.

A figura 8-8 ilustra campos em torno de corpos possuindo cargas iguais (+). São mostradas cargas positivas, mas fossem positivas ou negativas, as linhas de força se repeliriam entre os campos, se as duas cargas fossem iguais.

As linhas terminam sobre um objeto material, e sempre se estendem da carga positiva para a carga negativa. Estas linhas são imaginárias, usadas para mostrar a direção do campo de força.

É importante saber como uma carga é distribuída sobre um objeto. A figura 8-9 mostra um pequeno disco de metal sobre o qual uma carga negativa concentrada foi colocada.

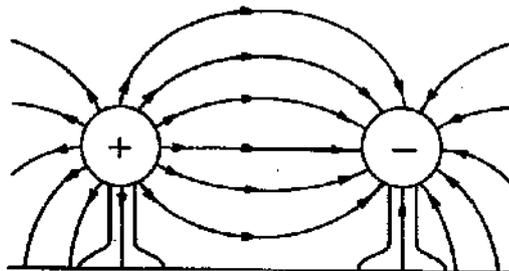


Figura 8-7 Direção de um campo elétrico em torno de cargas positivas e negativas.

Usando um detetor eletrostático, é possível mostrar que a carga é distribuída uniformemente sobre toda a superfície do disco.

Desde que o disco de metal proporcione resistência uniforme em todos os pontos de sua superfície, a repulsão mútua dos elétrons resultará numa distribuição equilibrada sobre toda a superfície.

Um outro exemplo, mostrado na figura 8-10, refere-se à carga em uma esfera oca. Apesar da esfera ser feita de material condutor, a carga é distribuída uniformemente por toda a superfície externa.

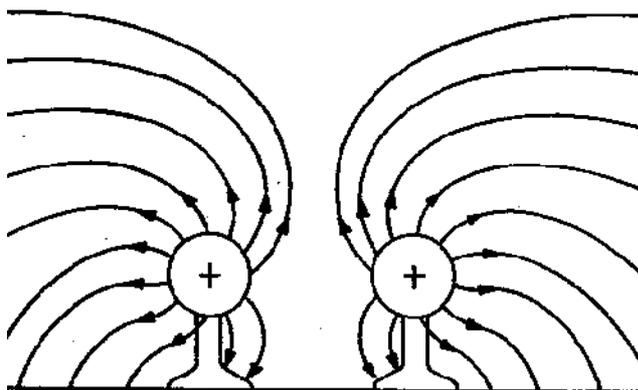


Figura 8-8 Campo em torno de dois corpos carregados positivamente.

A superfície interna é completamente neutra. Esse fenômeno é usado para proteger os operadores dos grandes geradores estáticos VAN DE GRAAFF.

A área de proteção para os operadores é dentro da grande esfera, onde são gerados milhões de volts.

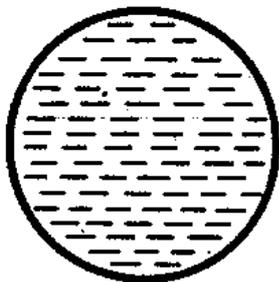


Figura 8-9 Distribuição uniforme da carga em um disco metálico.

A distribuição de carga num objeto de forma irregular é diferente da que ocorre no caso de um objeto de forma regular. A figura 8-11 mostra que a carga em objetos, deste modo,

não é distribuída uniformemente. A maior concentração de carga dá-se nas extremidades, ou áreas de curvatura mais acentuada.



Figura 8-10 Carga em uma esfera oca.

Os efeitos da eletricidade estática devem ser considerados na operação e manutenção de aeronaves.

A interferência estática nos sistemas de comunicação, e a carga estática criada pelo movimento da aeronave através da massa de ar, são exemplos dos problemas ocasionados pela eletricidade estática.

Peças da aeronave precisam ser "unidas" ou ligadas entre si para prover um caminho de baixa resistência (ou fácil) para a descarga estática, e o equipamento rádio precisa ser blindado.

Cargas estáticas precisam ser consideradas no reabastecimento da aeronave para prevenir possível ignição do combustível e, é necessário aterrar a estrutura da aeronave, tanto através de pneus condutores de estática, como através de fiação de aterramento.

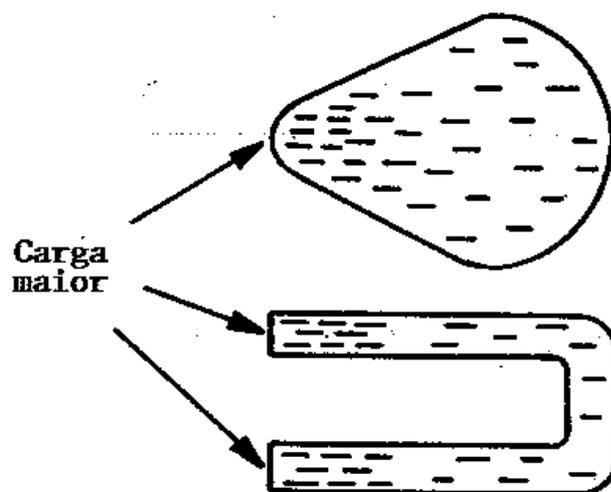


Figura 8-11 Carga em objetos de diferentes formatos.

FORÇA ELETROMOTRIZ

O fluxo de elétrons de um ponto negativo para um positivo é chamado de corrente elétrica; essa corrente flui por causa de uma diferença na pressão elétrica entre dois pontos.

Se um excesso de elétrons com carga negativa ocorre no final de um condutor, e uma deficiência de elétrons com carga positiva em outro, ocorre um campo eletrostático entre as duas cargas.

Os elétrons são repelidos do ponto carregado negativamente, e são atraídos pelo ponto carregado positivamente.

O fluxo de elétrons de uma corrente elétrica pode ser comparado ao fluxo d'água entre dois tanques interligados, quando existir diferença de pressão entre eles.

A figura 8-12 mostra que o nível d'água no tanque "A" é mais alto do que no tanque "B". Se a válvula que interliga os tanques for aberta, a água fluirá do tanque "A" para o tanque "B", até que o nível da água se torne igual em ambos os tanques.

É importante observar que não foi a pressão no tanque "A" que causou o fluxo d'água, mas foi a diferença de pressão entre os tanques que o fez.

Quando a água nos dois tanques está no mesmo nível, o fluxo cessa, porque não existe diferença de pressão entre eles.

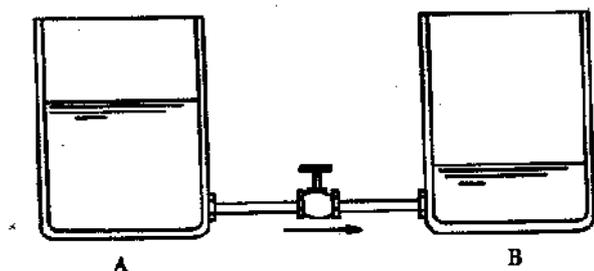


Figura 8-12 Diferença de pressão.

Essa comparação ilustra o princípio que causa o movimento dos elétrons, quando um caminho é disponível, de um ponto onde há excesso a outro onde há escassez de elétrons.

A força que provoca este movimento é a diferença potencial em entrega elétrica entre os dois pontos. Essa força é chamada de pressão elétrica ou diferença potencial ou força eletromotriz.

A força eletromotriz, abreviada f.e.m., provoca corrente (elétrons) em um caminho ou

circuito elétrico. A unidade de medida prática da f.e.m. ou diferença de potencial é o VOLT. O símbolo para f.e.m. é a letra maiúscula "E".

Se a pressão d'água no tanque "A" da figura 8-12 é 10 p.s.i. e no tanque "B" é de 2 p.s.i., existe uma diferença de 8 p.s.i.. Similarmente, pode-se dizer que uma força eletromotriz de 8 volts existe entre dois pontos elétricos. Como a diferença potencial é medida em volts, a palavra "voltagem" pode também ser usada para nomear quantidade de diferença potencial.

Assim, é correto dizer que a voltagem da bateria de certa aeronave é 24 volts, ou seja, uma outra maneira de indicar que a diferença potencial de 24 volts existe entre dois pontos conectados por um condutor.

Fluxo de corrente

A corrente elétrica é formada por elétrons em movimento. Essa corrente é normalmente referida como "corrente" ou "fluxo de corrente", não importando a quantidade de elétrons em deslocamento.

Quando o fluxo ocorre numa direção apenas, é chamado de corrente contínua. Posteriormente, no estudo dos fundamentos de eletricidade, a corrente que se inverte periodicamente será discutida. Agora, será abordada apenas a corrente contínua.

Como uma corrente elétrica consiste de variada quantidade de elétrons, é importante saber o número de elétrons fluindo num circuito em determinado tempo. A carga acumulada de 6,28 bilhões de bilhões de elétrons é chamada de um Coulomb.

Quando esta quantidade de elétrons flui através de um determinado ponto em um circuito, é dito que um ampère de corrente passa por ele.

O fluxo de corrente é medido em ampères ou partes de ampères, por um instrumento chamado amperímetro.

O símbolo empregado para representar corrente em fórmulas ou esquemas é a letra maiúscula "I", que representa a intensidade do fluxo de corrente.



Figura 8-13 Movimento dos elétrons.

O impulso dos elétrons livres não deve ser confundido com o conceito de fluxo de corrente que diz respeito à velocidade da luz.

Quando uma voltagem é aplicada em um circuito, os elétrons livres percorrem pequena distância até colidirem com átomos. Essas colisões, normalmente, deslocam outros elétrons livres de seus átomos, e esses elétrons se movimentam na direção do terminal positivo do condutor, colidindo com outros átomos, assim deslocando-se com relativa e reduzida razão de velocidade.

Para se compreender o efeito de velocidade quase instantânea da corrente elétrica, basta uma visualização do longo tubo repleto de bolas de aço, conforme mostrado na figura 8-13.

Pode-se ver que cada bola introduzida na extremidade de entrada do tubo, que representa um condutor, causará imediatamente a expulsão da bola que estiver posicionada na extremidade oposta.

Desta forma, se o tubo for suficientemente comprido, esse efeito ainda poderá ser observado como instantâneo.

RESISTÊNCIA

A propriedade de um condutor de eletricidade que limita ou restringe o fluxo de corrente elétrica é chamada de resistência. É necessária pressão elétrica para superar essa resistência, que nada mais é do que a força de atração mantendo os elétrons em suas órbitas. Os materiais usados na fabricação de condutores, usualmente na forma de fios extrudados, são materiais que oferecem diminuta resistência ao fluxo de corrente.

Embora fios de qualquer medida ou valor de resistência possam ser usados, a palavra "condutor", normalmente, se refere a materiais que oferecem baixa resistência ao fluxo de corrente, e a palavra isolador nomeia materiais que oferecem alta resistência para a corrente elétrica.

Não existe distinção completamente definida entre condutores, sob condições adequadas, todos os tipos de material conduzem alguma corrente.

Materiais oferecendo alguma resistência para o fluxo de corrente, intercalados com os melhores condutores e os piores (isoladores), são, às vezes, referidos como "semicondutores" e encontram sua melhor aplicação no campo dos

transistores. Os melhores condutores são materiais, principalmente metais, que possuem um grande número de elétrons livres; contrariamente, isolantes são materiais possuindo poucos elétrons livres.

Os melhores condutores são prata, cobre, ouro e alumínio, mas materiais não-metálicos, como o carbono e a água podem ser usados como condutores.

Materiais como borracha, vidro, cerâmica, sendo maus condutores, são normalmente usados como isoladores. O fluxo de corrente em alguns desses materiais é tão pequeno, que nem é considerado.

A unidade empregada para medir resistência é chamada Ohm. O símbolo desta unidade é a letra grega ÔMEGA (Ω).

Nas fórmulas matemáticas a letra "R", refere-se a resistência. A resistência de um condutor, e a voltagem aplicada a ele determinam a quantidade de ampères (corrente) fluindo através desse condutor. Assim, 1 Ohm de resistência limitará o fluxo de corrente em 1 ampère, num condutor ao qual seja aplicada a voltagem de 1 volt.

Fatores que afetam a resistência

Dentre os quatro fatores mais importantes que afetam a resistência de um condutor, um dos mais considerados é o tipo de material do condutor.

Foi destacado que certos metais são comumente usados como condutores por causa da abundância de elétrons livres em suas órbitas externas.

O cobre é considerado o melhor material condutor disponível, tendo em vista que um fio de cobre com determinado diâmetro oferece menor resistência ao fluxo de corrente do que um fio de alumínio com o mesmo diâmetro. Entretanto o alumínio é mais leve do que cobre e, por esta razão o alumínio é freqüentemente utilizado, quando o fator peso é importante.

Um segundo fator de resistência é o comprimento do condutor. Quanto mais comprido, maior a sua resistência.

A figura 8-14 apresenta dois condutores de diferentes comprimentos. Se 1 volt de pressão elétrica for aplicado através das duas extremidades do condutor que tem 1 pé (304,799 mm) de comprimento e a resistência ao movi-

mento de elétrons livres é supostamente 1 ohm, o fluxo de corrente fica limitado em 1 ampère.

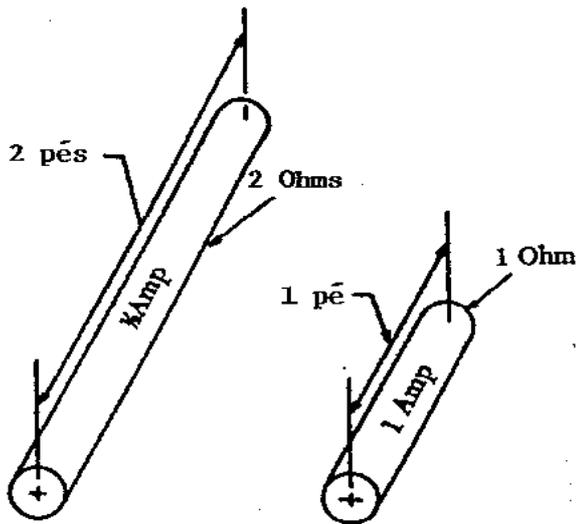


Figura 8-14 Variação da resistência com o comprimento do condutor.

Se o mesmo condutor tiver seu comprimento duplicado e a mesma voltagem aplicada (1 volt), agora a resistência encontrada é dobrada, conseqüentemente o fluxo de corrente fica reduzido à metade.

O terceiro fator que afeta a resistência de um condutor é a área da seção transversal, ou a superfície de sua extremidade. Essa área pode ser triangular e até mesmo quadrada, mas normalmente é circular.

Se a área de seção transversal de um condutor é dobrada, sua resistência ao fluxo de corrente é reduzida a metade. Isto é verdadeiro porque implica no aumento da área em que um elétron pode se deslocar sem colisão ou sem ser capturado por outro átomo. Deste modo, a resistência varia inversamente em relação a área da seção transversal de um condutor.

Para comparar a resistência de um condutor com um outro, tendo uma área de seção transversal maior, precisa ser estabelecido um padrão unidade e dimensões do condutor. A melhor unidade de medição do diâmetro do fio é o MIL (0,001 de uma polegada). A melhor unidade de medição do comprimento do fio é o "Pé". Usando esses padrões a unidade das dimensões será MIL-PÉS.

Então, um fio terá uma dimensão padrão se tiver 1 mil de diâmetro e 1 pé de comprimento. A especificação, em ohms, da unidade de condução de um certo material é chamada de

resistência específica ou resistividade específica da substância.

Um mil quadrado é uma unidade adequada para condutores quadrados ou retangulares. Um mil quadrado é uma área de um quadrado com cada lado medindo 1 MIL.

Para calcular a área de uma seção transversal de um condutor, em MILS quadrados, o comprimento em MILS de um dos lados é elevado ao quadrado.

No caso de um condutor retangular, o comprimento de um dos lados é multiplicado pelo comprimento de outro lado. Por exemplo, uma barra retangular comum (grande, condutor especial) tem a espessura de 3/8 da polegada e 4 polegadas de extensão. A finura de 3/8 polegada pode ser expressa como 0,375 polegadas. Como 1000 MILS equivale a 1 polegada, o comprimento em polegadas pode ser convertido para 4000 MILS. A área da seção transversal do retângulo condutor é $00,375 \times 4.000$ ou 1.500 MILS quadrados.

O condutor circular é mais comum do que os de forma quadrada e retangular. Devido aos diâmetros dos condutores circulares serem medidos somente em frações da polegada é conveniente expressar esses diâmetros em MILS para evitar o uso de decimais.

O MIL circular é a unidade padrão da área da seção transversal do fio, usada na América e nas tabelas de fios Inglesas. Então, o diâmetro de um fio que tem 0,025 polegadas pode ser convenientemente escrito como 25 MILS. A figura 8-15 ilustra um circuito que tem um diâmetro de 1 MIL. A área em MIL circular é obtida, elevando-se ao quadrado a medida do diâmetro em MILS. Então, um fio com diâmetro de 25 MILS tem uma área de 25 ao quadrado ou 25×25 ou 625 MILS circular.

Comparando condutores quadrados e circulares, deve ser observado que o MIL circular é uma unidade de área menor do que um MIL quadrado. Para determinar a área em MIL circular quando a área em MIL quadrada é conhecida a área em MIL quadrada é dividida por 0,7854. Inversamente, para encontrar a área em MIL quadrado, quando o MIL circular é conhecido, a área em MIL circular é multiplicada por 0,7854.

Os fios são fabricados em dimensões numeradas de acordo com uma tabela conhecida como "American Wire Gage" (AWG). Os diâmetros de fio se tornam cada vez menores quan-

quando os números da espessura aumentam. Nessa tabela está disponível, como referência para os técnicos de aviação, não somente as dimensões do fio, como também a resistência e a área da seção transversal.

O último fator importante que influencia a resistência de um condutor é a temperatura. Embora algumas substâncias como o carbono apresentem diminuição em resistência, acompanhando elevação de temperatura ambiente, o maior porte dos materiais usados como condutores tem sua resistência aumentada conforme aumenta a temperatura. A resistência de poucas ligas, como *constantan* e *maganin*, muda muito pouco com as mudanças de temperatura ambiente.

A quantidade de aumento na resistência de uma amostra de condutor de 1 ohm por grau de elevação de temperatura acima de 0° centígrado, o padrão estabelecido, é chamado de coeficiente térmico de resistência. Este valor modifica-se para cada metal. Por exemplo, para o cobre o valor é aproximadamente 0,00427 ohm. Deste modo, um fio de cobre possuindo uma resistência de 50 ohm a uma temperatura de 0°C, terá um aumento em resistência de $50 \times 0,00427$, ou 0,214 ohm, por cada grau de elevação na temperatura acima de 0°C.

O coeficiente térmico de resistência precisa ser considerado quando existe apreciável mudança de temperatura de um condutor durante a operação. Existem tabelas listando coeficientes térmicos de resistência para os diferentes materiais.

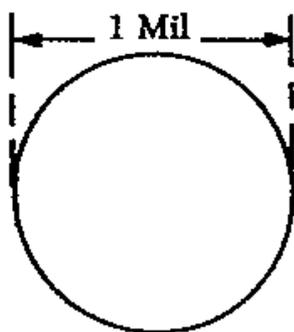


Figura 8-15 Mil circular.

COMPONENTES E SÍMBOLOS DE CIRCUITO BÁSICO

Um circuito elétrico consiste de: (1) uma fonte de pressão elétrica ou F.E.M.; (2) resistên-

cia na forma de um dispositivo de consumo elétrico; e (3) condutores, normalmente fio de cobre ou alumínio que representam o caminho para o fluxo dos elétrons do lado negativo da fonte de força, através da resistência retornando para o lado positivo.

A figura 8-16 é uma representação ilustrada de um circuito prático.

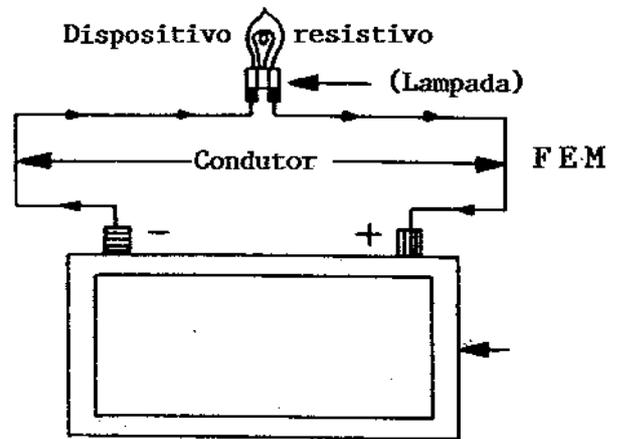


Figura 8-16 Um circuito prático.

Esse circuito contém uma fonte de F.E.M. (bateria de acumuladores), um condutor para permitir o fluxo de elétrons do terminal negativo para o positivo da bateria e um dispositivo de dissipação de força (lâmpada) para limitar o fluxo de corrente.

Sem qualquer resistência no circuito, a diferença de potencial entre os dois terminais seria neutralizada muito rapidamente ou o fluxo de elétrons tornar-se-ia tão violento que o condutor ficaria superaquecido e se queimaria.

Ao mesmo tempo em que a lâmpada funciona como resistência de limitação da corrente, ela também cumpre a desejada função de iluminar.

A figura 8-17 é uma representação esquemática da figura 8-16, e apresenta símbolos, substituindo as figuras representativas dos componentes do circuito.

Todos os componentes utilizados em circuitos elétricos são representados em desenhos, plantas elétricas e ilustrações esquemáticas por símbolos.

Os componentes comumente usados nos circuitos básicos, juntamente com seus símbolos esquemáticos, são aqui discutidos para prover o necessário suporte para interpretação dos diagramas de circuito.

Fonte de força

A fonte de força ou força aplicada, para um circuito pode ser qualquer uma das fontes comuns de f.e.m., como uma fonte mecânica (gerador), uma fonte química (bateria), uma fonte fotoelétrica (luz) ou uma fonte térmica (calor). A figura 8-18 ilustra dois símbolos esquemáticos referentes a um gerador.

A maior parte dos componentes elétricos possui apenas um símbolo; entretanto, no caso do gerador e de outros, mais de um símbolo foi criado para representar um mesmo componente elétrico. Esses símbolos são muito parecidos em desenho.

A figura 8-18 ilustra que os dois símbolos para um gerador são tão parecidos que a chance para confusão é mínima.

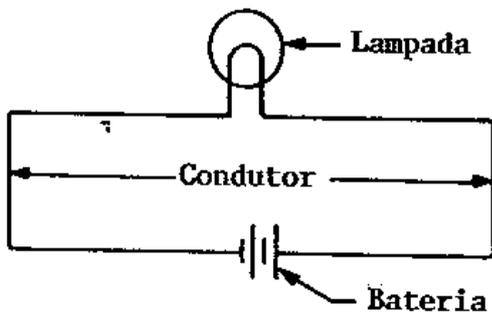


Figura 8-17 Componentes de um circuito representados por símbolos.

Uma outra fonte comum para a voltagem aplicada a um circuito é a bateria, uma fonte de força química. A figura 8-19 mostra símbolos para uma bateria de célula única e uma bateria de três células.

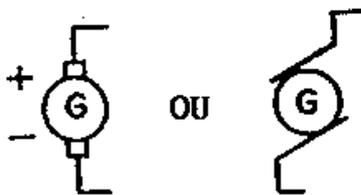


Figura 8-18 Símbolos para um gerador de corrente contínua.

Referente a símbolos de baterias, usados em diagramas esquemáticos, são verdadeiras as seguintes afirmativas (ver figura 8-19).

1. A linha vertical mais curta representa o terminal negativo.
2. A linha vertical mais longa é o terminal positivo.
3. As linhas horizontais representam os condutores conectados aos terminais.
4. Cada célula de uma bateria tem um terminal negativo e um positivo.



Figura 8-19 Símbolos para baterias de uma e de três células.

Pilhas secas, como as usadas em lanternas, são chamadas de pilhas primárias. As baterias de acumuladores maiores, contendo várias células primárias são chamadas de pilhas secundárias. O símbolo esquemático para pilha primária é mostrado na figura 8-20.

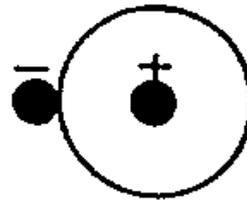


Figura 8-20 Símbolo esquemático de uma pilha seca.

A bola central é o terminal positivo e o círculo que a envolve é o terminal negativo.

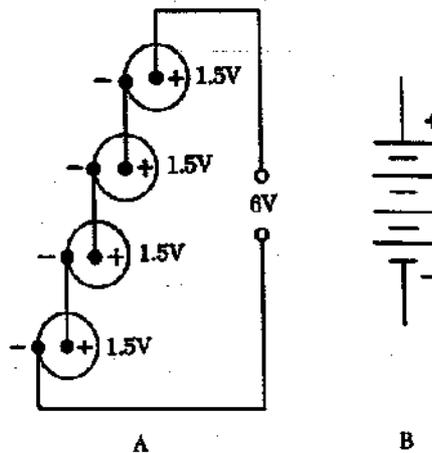


Figura 8-21 Diagrama esquemático e símbolos de pilhas conectadas em série.

Quando há necessidade de mais de 1,5v são conectadas células em série, ou seja, o terminal negativo de cada uma é ligado ao positivo da célula seguinte, conforme mostrado em "A" da figura 8-21. A voltagem fica então igual à soma das voltagens de cada uma das células.

Como a mesma corrente flui através das sucessivas células, a corrente que a bateria pode suprir é igual a capacidade de corrente de uma única célula. Assim, uma bateria composta por células em série proporciona uma voltagem maior, mas não uma maior capacidade de corrente.

Para obter um maior fluxo de corrente que uma célula é capaz de suprir, as células são ligadas em paralelo. A corrente total disponível é igual à soma das correntes individuais de cada célula, entretanto, a voltagem é a mesma de uma única célula.

Para ligar células em paralelo todos os terminais positivos são conectados entre si, e todos os terminais negativos da mesma forma. Na letra "A" da figura 8-22 é mostrado um diagrama esquemático de células ligadas em paralelo.

E na letra "B" da mesma figura é ilustrado o símbolo usado para representar este grupo de células conectadas em paralelo.

Cada célula precisa ter a mesma voltagem; caso contrário, uma célula com maior voltagem forçará corrente através das células de menor voltagem.

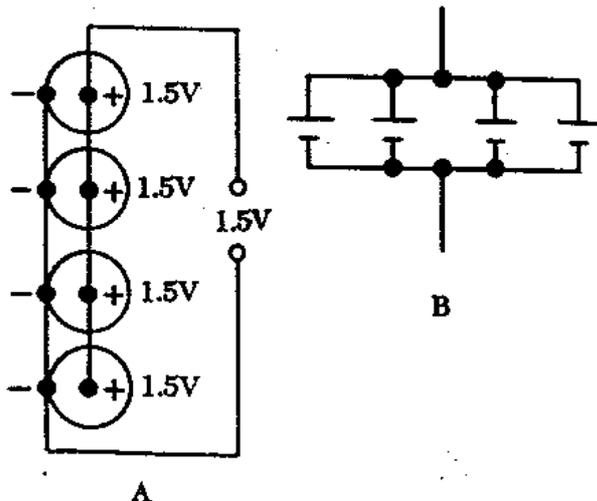


Figura 8-22 Pilhas conectadas em paralelo.

Um outro modo de combinar células é conectá-las em série-paralelo. Desta maneira,

mostrada na figura 8-23, dois grupos de células (série) são conectados em paralelo.

Essa arrumação fornece tanto maior voltagem como maior saída de corrente.

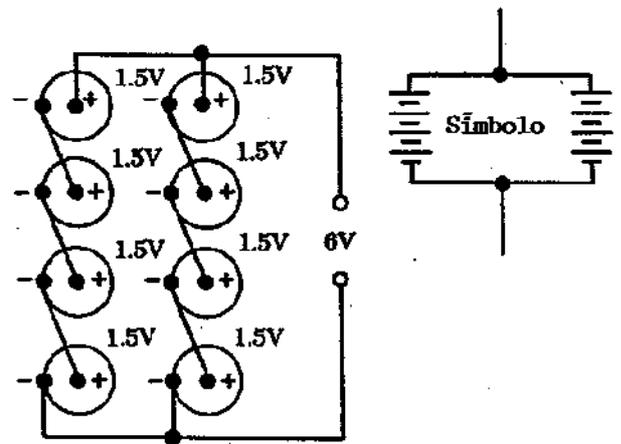


Figura 8-23 Arranjo de pilhas em série e em paralelo.

Condutor

Outra necessidade básica de um circuito é o condutor, ou fio, interligando os diversos componentes elétricos. É sempre representado em diagramas esquemáticos como uma linha. A figura 8-24 ilustra dois símbolos diferentes usados para indicar fios (condutores) que se cruzam mas não estão conectados.

Embora ambos os símbolos possam ser usados, o símbolo mostrado em "B" da figura 8-24 é encontrado mais freqüentemente, por ser menos provável de ser interpretado erroneamente.

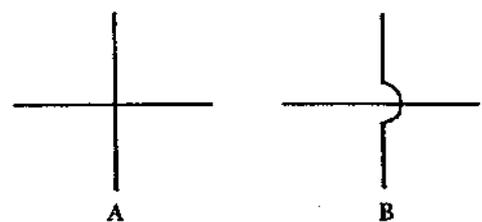


Figura 8-24 Cruzamento de fios não conectados.

A figura 8-25 ilustra os dois diferentes símbolos usados para representar fios conectados entre si.

Ambos os símbolos podem ser usados, entretanto é importante que não haja conflito com o símbolo escolhido para representar fios não conectados. Por exemplo, se o símbolo escolhido para fios não conectados for o mostrado em "A" da figura 8-24, o símbolo para fios in-

terligados tem que ser o mostrado em "A" da figura 8-25.

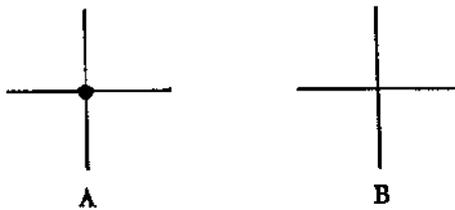


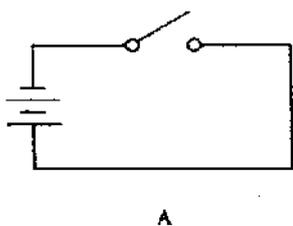
Figura 8-25 Fios conectados.

Um componente encontrado em todos os circuitos práticos é o fusível. Este é uma segurança ou dispositivo de proteção usado para prevenir danos aos condutores e componentes do circuito, sob fluxo excessivo de corrente. O símbolo esquemático para representar o fusível é mostrado na figura 8-26.

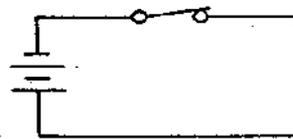


Figura 8-26 Símbolo esquemático de um fusível.

Um outro símbolo encontrado num esquema de circuito básico é o que representa uma chave (interruptor), mostrado na figura 8-27.



A



B

Figura 8-27 Símbolos de interruptores abertos e fechados.

O símbolo para chave aberta é mostrado em "A" da figura 8-27, e em "B" simboliza a chave fechada, fazendo parte de um circuito existem inúmeros tipos diferentes de chaves,

mas estes símbolos podem representar todas, exceto as mais complexas. A figura 8-28 ilustra o símbolo para "terra" (massa) ou o ponto de referência comum em um circuito. Este é o ponto de referência do qual a maior parte das voltagens são medidas. Este ponto é normalmente considerado como o de potencial zero.



Figura 8-28 Símbolo do ponto de referência de massa, terra ou comum.

Às vezes, os medidores, para fluxo de corrente ou voltagem são conectados temporariamente a determinados circuitos e, em outros, aparecem como componentes permanentes. Na figura 8-29, os símbolos para amperímetro e voltímetro são utilizados em um circuito simples. É importante que tais componentes sejam conectados de modo correto.

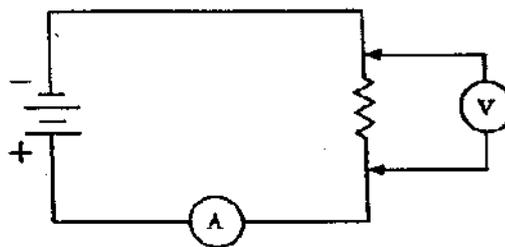


Figura 8-29 Símbolos de amperímetro e de voltímetro.

O amperímetro, que mede fluxo de corrente, é sempre ligado em série com a fonte de força e as resistências do circuito. O voltímetro, que mede voltagem através de um componente do circuito, é sempre ligado em paralelo com tal componente, nunca em série.

Resistores

O último dos requisitos básicos de componentes de um circuito completo pode ser agrupado sob o simples título de resistência, que num circuito prático aparece sob a forma de qualquer dispositivo elétrico, como um motor ou uma lâmpada que utilize energia elétrica e tenha alguma função utilitária. Por outro lado, a resistência de um circuito pode surgir na forma de resistores, cuja finalidade seja limitar o fluxo de corrente.

Existe uma grande variedade de resistores. Alguns têm valor fixo em OHMS e outros são variáveis. São fabricados com fios especiais, grafite (carvão) ou membrana metálica.

Resistores revestidos de fio controlam correntes elevadas, enquanto os resistores de carvão controlam correntes relativamente pequenas. Os resistores revestidos de fio são fabricados com fio de resistência enrolado em base de porcelana, com as extremidades do fio fixas em terminais metálicos, cobrindo a resistência com material protetor que permita dissipação de calor (ver figura 8-30).

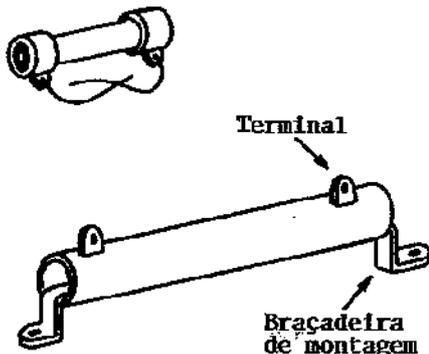


Figura 8-30 Resistores fixos revestidos de fio.

Existem resistores revestidos de fio, com tomadas (terminais) fixas, que podem ser escolhidas conforme se queira variar entre os valores disponíveis em ohms na resistência. Também podem ser providos de cursores que podem ser ajustados para modificar o valor em ohms para uma fração da resistência total (ver figura 8-31).

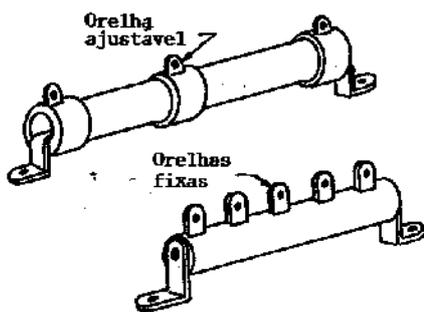


Figura 8-31 Resistores revestidos de fio com orelhas fixas e ajustáveis.

Ainda um outro tipo, é o resistor revestido de fio de precisão (figura 8-32) feito de fio de "manganin"; tipo usado quando é exigido valor de resistência extremamente preciso.

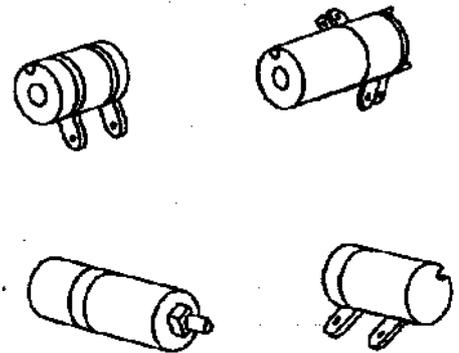


Figura 8-32 Resistores de precisão revestidos de fio.

Resistores de carbono são fabricados de uma haste de grafite comprimido, material aglutinante e com um terminal de fio, chamado "pig-tail" (rabo de porco) fixo em cada extremidade do resistor (ver figura 8-33).

Resistores variáveis são usados para variar a resistência, enquanto o equipamento está em operação. Resistores variáveis revestidos de fio ou de fio enrolado controlam altas correntes, e os variáveis de carbono controlam pequenas correntes.

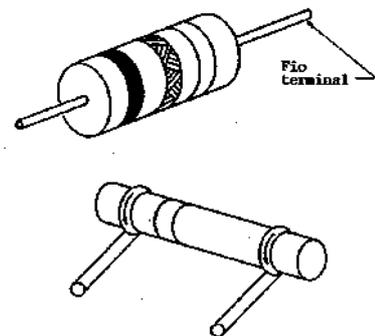


Figura 8-33 Resistores de carbono.

Estes resistores variáveis são fabricados com fio de resistência enrolado em porcelana ou baquelite de forma circular. Um braço de contato pode ser ajustado em qualquer posição sobre a resistência circular, por meio de uma haste rotativa, usada para selecionar a ajustagem da resistência (ver figura 8-34).

Resistores variáveis de carvão (ver figura 8-35), usados para controlar pequenas correntes, são fabricados com composto de carbono depositado sobre um disco de fibra.

Um contato sobre um braço móvel varia a resistência conforme o eixo do braço é girado.

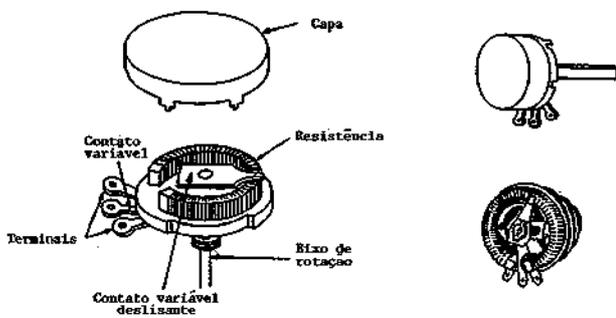


Figura 8-34 Resistor variável de fio enrolado.

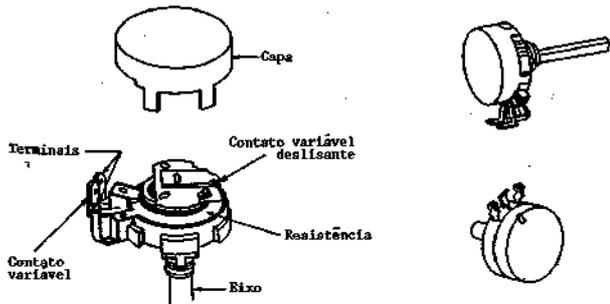


Figura 8-35 Resistor variável de carbono.

Os dois símbolos empregados em esquema ou diagrama de circuito para representar resistores variáveis são mostrados na figura 8-36.

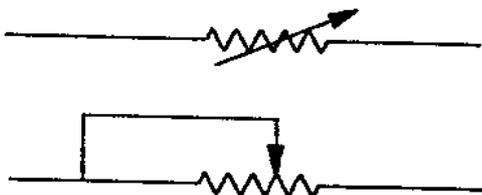


Figura 8-36 Símbolos para resistores variáveis.

O símbolo esquemático correspondente a um resistor fixo é mostrado em "A" da figura 8-37. A variação deste símbolo representa o resistor com tomadas, que tem valor fixo, mas é provido de tomadas, através das quais valores selecionados de resistência podem ser obtidos (ver "B" da figura 8-37).



Figura 8-37 Símbolos para resistores fixos.

Código de cores de resistores

O valor resistivo de qualquer resistor pode ser medido por meio de um ohmímetro, mas isto não é absolutamente imprescindível. A maioria

dos resistores de fio enrolado tem o seu valor de resistência impresso no corpo do resistor. Muitos resistores de carvão também têm, mas são frequentemente montados, de forma que é muito difícil ou impossível ler o valor expresso.

Código de cores de resistores		
Cor	Número	Tolerância
Preto	0	-----
Marron	1	1%
Vermelho	2	2%
Laranja	3	3%
Amarelo	4	4%
Verde	5	5%
Azul	6	6%
Violeta	7	7%
Cinza	8	8%
Branco	9	9%
Ouro	----	5%
Prata	----	10%
Sem cor	----	20%

Figura 8-38 Código de cores resistores.

Ademais, o calor quase sempre desbota o corpo do resistor, tornando as marcações impressas ilegíveis, e muitos resistores de carvão são tão pequenos que não é possível imprimir neles as marcas de cor. Assim, o código de cores é usado para identificar o valor de resistência de resistores de carbono.

Existe apenas um código de cores para resistores de carvão, mas existem dois sistemas ou métodos usados para pintar o código em resistores. Um é o sistema de extremidade para o centro (*end-to-center-band*) e o outro é de extremidade e ponto (*body-end-dot*). Ver as figuras 8-39 a 8-46.

Em cada sistema, três cores são usadas para indicar o valor da resistência em ohms, uma quarta cor é, às vezes, usada para indicar a tolerância do resistor.

Através da leitura das cores na ordem certa, e substituindo-as por algarismos, é possível determinar o valor do resistor.

É muito difícil fabricar um resistor com exato padrão de valor ôhmico. Felizmente a maioria dos circuitos não requer valores extremamente críticos. Para muitas aplicações os valores de resistência em ohms podem variar 20% acima ou abaixo do valor indicado, sem causar problemas aos circuitos.

A porcentagem de variação entre o valor marcado e o valor real de um resistor é conhecida como "tolerância" de um resistor.

Um resistor codificado para tolerância de 5% não pode ser maior ou menor do que 5% que o valor indicado pelo código de cores.

O código de cores (ver figura 8-38) é constituído de um grupo de cores, números e valores de tolerância. Cada cor é representada por um número e, na maioria dos casos, pelo valor de tolerância.

Quando o código de cores é usado pelo sistema "end-to-center-band", o resistor é normalmente marcado com faixas coloridas a partir de uma das extremidades do seu corpo.

A cor do corpo, ou básica do resistor, nada tem a ver com o código de cores e em hipótese alguma indica valor de resistência. Para prevenir confusões, o corpo jamais terá a mesma cor das faixas, indicando valor de resistência.

Quando é utilizado o sistema "end-to-center band", o resistor será marcado através de três ou quatro faixas, a primeira faixa de cor (mais próxima à extremidade do resistor) indicará o primeiro dígito no valor numérico de resistência. Esta faixa jamais será de cor dourada ou prateada.

A segunda faixa de cor (figura 8-39) indicará sempre o segundo dígito do valor ôhmico.

Ela nunca será de cor dourada ou prateada. A terceira faixa de cor indica o número de zeros a serem adicionados ao primeiro e segundo dígitos. Exceto nos seguintes casos:

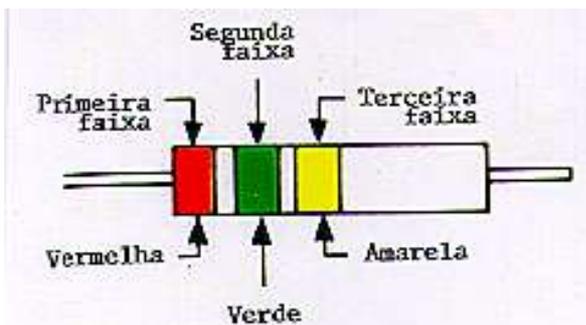


Figura 8-39 Marcação da ponta para o centro.

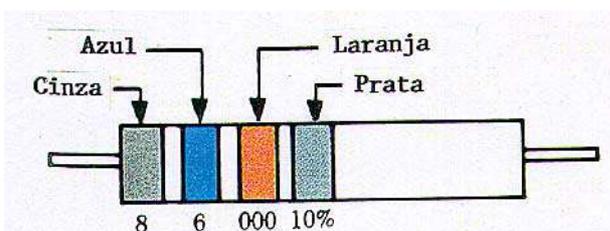


Figura 8-40 Exemplo de código de cores de resistor.

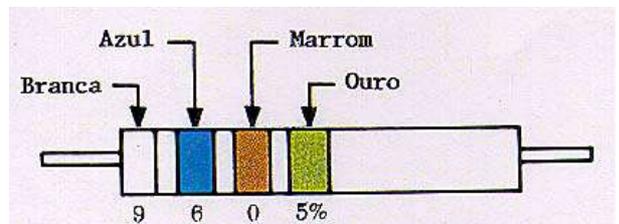


Figura 8-41 Exemplo de código de cores de resistor.

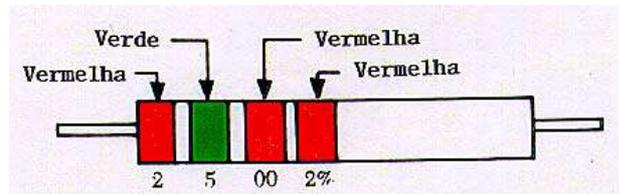


Figura 8-42 Resistor com 2% de tolerância.

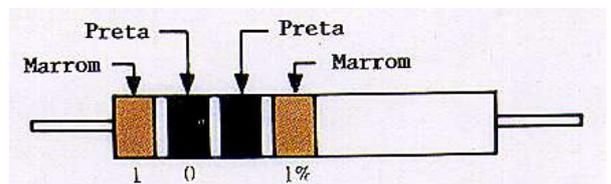


Figura 8-43 Resistor com a terceira faixa preta.

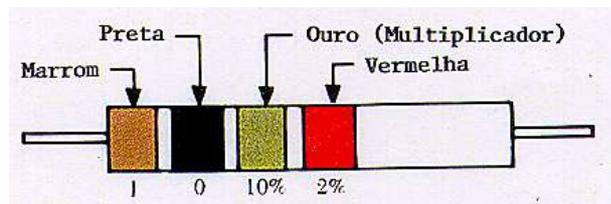


Figura 8-44 Resistor com a terceira faixa dourada.

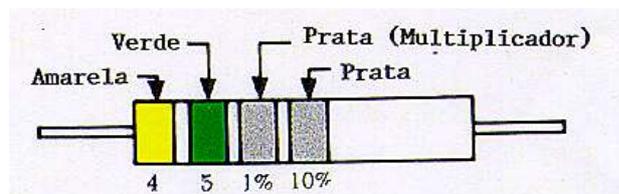


Figura 8-45 Resistor com a terceira faixa prateada.

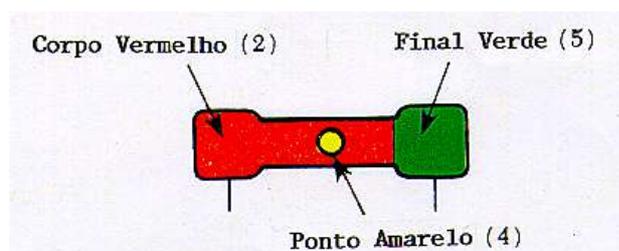


Figura 8-46 Resistor codificado pelo sistema "Ponto e cor na ponta".

1. Se a terceira faixa é dourada, os dois primeiros dígitos têm de ser multiplicados por 10%.
2. Se a terceira faixa é prateada, os dois primeiros dígitos têm de ser multiplicados por 1%.

Se houver uma quarta faixa colorida, ela é usada como multiplicador para percentual de tolerância, conforme indicado na tabela de código de cores da figura 8-38.

Se houver a quarta faixa, a tolerância fica entendida como sendo de 20%.

A figura 8-39 ilustra as regras para leitura do valor de um resistor marcado pelo sistema "end-to-center band". Este resistor é marcado com três faixas coloridas, que têm precisão ser lidas no sentido da extremidade para o centro.

Estes são os valores que serão obtidos:

Cor	Valor Numérico	Significação
	co	
1ª faixa-vermelha	2	1º dígito
2ª faixa-verde	5	2º dígito
3ª faixa-amarela	4	Nº de zeros a adicionar

Não há quarta faixa de cor, logo a tolerância é entendida como sendo de 20%. 20% de $250.000 = 50.000$.

Como a tolerância é mais ou menos, resistência máxima = $250.000 + 50.000 = 300.000$ ohms; resistência mínima = $250.000 - 50.000 = 200.000$ ohms.

A figura 8-40 contém um resistor com outro conjunto de cores, este código de resistor pode ser lido da seguinte forma:

A resistência é de $86.000 \pm 10\%$ ohms. A resistência máxima é 94.600 OHMS, e a resistência mínima é 77.400 ohms.

Como um outro exemplo, a resistência ou resistor na figura 8-41 é $960 \pm 5\%$ ohms. A resistência máxima é 1.008 ohms, e a resistência mínima é 912 ohms.

Às vezes as necessidades do circuito determinam que a tolerância precisa ser menor do que 20%. A figura 8-42 mostra um exemplo de resistor com 2% de tolerância. O valor de resistência dele é $2.500 \pm 2\%$ ohms.

A resistência máxima é 2.550 ohms, e a resistência mínima é 2.450 ohms.

A figura 8-43 contém o exemplo de um resistor com a terceira faixa na cor preta.

O valor numérico correspondente à cor preta é "zero", e a terceira faixa indica a quantidade de zeros a adicionar aos primeiros algarismos.

Neste caso, nenhum zero deve ser adicionado. Então, o valor de resistência é $10 \pm 1\%$ ohms.

A resistência máxima é $10,1$ ohms e a resistência mínima é $9,9$ ohms.

Existem duas exceções para a regra que estabelece a terceira cor, como indicativa da quantidade de zeros, a agregarem-se aos dois primeiros algarismos.

A primeira destas exceções é ilustrada na figura 8-44.

Quando a terceira faixa é dourada, ela indica que os dois primeiros dígitos têm que ser multiplicados por 10%. O valor deste resistor é:

$$10 \times 0,10 \pm 2\% = 1 \pm 0,02 \text{ ohms}$$

Quando a terceira faixa é prateada, como é o caso na figura 8-45, os dois primeiros dígitos precisam ser multiplicados por 1%. O valor do resistor é $0,45 \pm 10\%$ ohms.

Sistema "body-end-dot"

Hoje, este sistema é raramente utilizado. Em poucos exemplos poderá ser explanado. A localização das cores tem o seguinte significado:

Cor do corpo	...	1º dígito do valor ôhmico
Cor da extremidade	...	2º dígito do valor ôhmico
Cor do ponto	...	nº de zeros a adicionar

Se apenas uma extremidade do resistor é colorida, isto indica o segundo dígito do valor do resistor, e a tolerância será de 20%.

Os outros dois valores de tolerância são dourado (5%) e prateado (10%).

A extremidade oposta do resistor será colorida para indicar tolerância diferente de 20%.

A figura 8-46 mostra um resistor codificado pelo sistema "body-end-dot". Os valores são os seguintes:

Corpo	1º dígito	2
Extremidade	2º dígito	5
Ponto	Nº de zeros	0000 (4)

O valor do resistor é $250.000 \pm 20\%$ ohms. A tolerância é entendida como sendo de 20%, porque um segundo ponto não é utilizado.

Se a mesma cor é usada mais de uma vez, o corpo, a extremidade e o ponto podem ser todos da mesma cor, ou apenas dois desses elementos podem ter a mesma cor; mas o código de cores é usado da mesma maneira. Por exemplo, um resistor de 33.000 ohms será inteiramente na cor laranja.

LEI DE OHM

A lei mais importante aplicável ao estudo da eletricidade é a lei de Ohm. Esta lei, que delinea o relacionamento entre voltagem corrente e resistência, em um circuito elétrico, foi estabelecida pelo físico alemão George Simon Ohm (1787-1854).

Ela se aplica a todos os circuitos de corrente contínua, e pode também ser aplicada a circuitos de corrente alternada, de maneira modificada (estudada, adiante, neste texto).

As experiências de Ohm mostraram que o fluxo de corrente num circuito elétrico é diretamente proporcional à intensidade da voltagem aplicada ao circuito. Em outras palavras, esta lei estabelece que o aumento de voltagem corresponde ao aumento de corrente, e à diminuição da voltagem corresponde a diminuição da corrente.

Poderia ser acrescentado que essa relação é verdadeira somente se a resistência no circuito permanece constante, pois, se a resistência muda, a corrente também se modifica.

A lei de Ohm pode ser expressa através da seguinte equação:

$$I = \frac{E}{R}$$

onde "I" é corrente em ampères, "E" é a diferença de potencial medida em volts, e "R" é a resistência medida em ohms (designada pela letra grega ômega, cujo símbolo é Ω).

Se qualquer dupla desses três valores for conhecida, o terceiro valor pode ser obtido por simples transposição algébrica.

O circuito mostrado na figura 8-47 contém uma fonte de força de 24 volts, e uma resis-

tência de 30 OHMS. Se um amperímetro for inserido no circuito, conforme mostrado na figura 8-47, a intensidade da corrente fluindo no circuito pode ser lida diretamente. Admitindo-se que um amperímetro não esteja disponível, a intensidade da corrente pode ser determinada por meio da lei de Ohm, da seguinte forma:

$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{24V}{3\Omega} \quad I = 8 \text{ amperes}$$

Alguns aspectos da figura 8-47, que são típicos de todos os circuitos elétricos apresentados de modo esquemático, deverão ser revistos.

A pressão elétrica, ou diferença de potencial aplicada ao circuito é representada no esquema pelo símbolo de bateria. O sinal negativo é colocado próximo de um lado para indicar o terminal negativo da fonte ou bateria. O lado oposto é marcado com o símbolo +.

Setas são, às vezes, usadas para indicar a direção do fluxo de corrente do terminal negativo através dos fios condutores e outros dispositivos do circuito, para o terminal positivo da fonte.

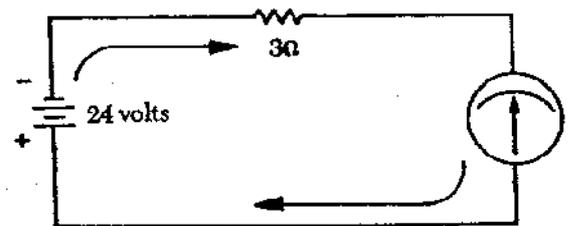


Figura 8-47 Circuito elétrico demonstrando a Lei de Ohm.

A figura 8-48 mostra que os valores da voltagem e da corrente são conhecidos. Para encontrar a quantidade de resistência no circuito, a lei de Ohm pode ser transposta para resolver o valor de "R". Mudando a fórmula básica $I = E/R$ para $R = E/I$, e substituindo os valores conhecidos na equação, $R = 24 \text{ volt} / 8 \text{ ampères} = 3 \text{ Ohms}$, ou 3.

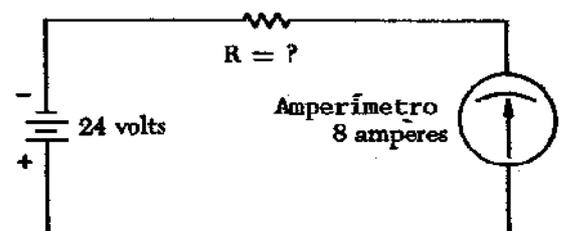


Figura 8-48 Circuito com resistência desconhecida.

A lei de Ohm também pode ser transposta para determinar a voltagem aplicada a um circuito, quando o fluxo de corrente e a resistência são conhecidos, conforme mostrado na figura 8-49.

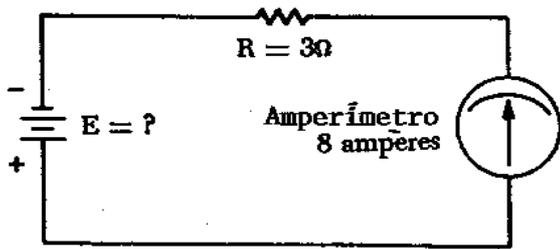


Figura 8-49 Circuito com voltagem desconhecida.

Neste circuito, a quantidade desconhecida da voltagem, é representada pelo símbolo "E". O valor de resistência é 3 ohms e o fluxo de corrente é 8 ampères (a palavra ampères é freqüentemente abreviada como "AMP"). Transpondo a lei de Ohm da sua fórmula básica, a equação para resolver o valor de "E" fica $E = I \times R$.

Substituindo os valores conhecidos na equação, teremos:

$$E = 8 \times 3$$

$$E = 24 \text{ volts ou } 24 \text{ V}$$

A relação entre as várias quantidades do circuito pode ser demonstrada, se a resistência num circuito é considerada constante.

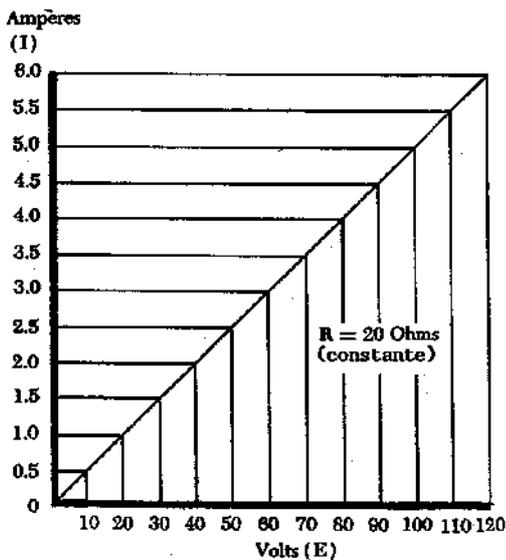


Figura 8-50 Relação entre voltagem e corrente em circuito de resistência constante.

Em tal caso, a corrente aumentará ou diminuirá na direta proporção do aumento ou diminuição da voltagem aplicada ao circuito. Por exemplo, se a voltagem aplicada a um circuito for 120 volts e a resistência for 20 ohms, o fluxo de corrente será $120/20$ ou 6 ampères. Se a resistência de 20 ohms permanece constante, um gráfico da relação voltagem-corrente, conforme mostrado na figura 8-50, pode ser traçado.

A relação entre voltagem e corrente, neste exemplo, mostra voltagem plotada horizontalmente ao longo do eixo "X", em valores de 0 a 120 volts; e os valores correspondentes de corrente são plotados verticalmente, de 0 a 6,0 ampères ao longo do eixo "Y".

Corrente = $\frac{\text{Força eletromotriz}}{\text{Resistência}}$	
$I = \frac{E}{R}$	Ampères = $\frac{\text{Volts}}{\text{Ohms}}$
Resistência = $\frac{\text{Força eletromotriz}}{\text{Corrente}}$	
$R = \frac{E}{I}$	Ohms = $\frac{\text{Volts}}{\text{Ampères}}$
Força eletromotriz = Resistência x Corrente	
$E = IR$	Volts = ampères x ohms

Figura 8-51 Lei de Ohm.

A reta traçada através de todos os pontos, onde as linhas de voltagem e corrente se encontram, representa a equação $E = 20I$, e é chamada de relação linear. A constante 20 representa a resistência que se arbitrou não mudar neste exemplo.

Este gráfico representa uma importante característica da lei básica, ou seja, que a corrente varia diretamente com a voltagem aplicada, se a resistência se mantém constante.

As equações básicas derivadas da lei de Ohm são resumidas, juntamente com as unidades de medida do circuito, na figura 8-51.

As várias equações que podem ser derivadas pela transposição da lei básica podem ser

facilmente obtidas pelo uso dos triângulos na figura 8-52.

Os triângulos contendo “E”, “I” e “R” são divididos em duas partes, com “E” acima da linha e $I \times R$ abaixo dela.

Para determinar uma quantidade desconhecida do circuito, quando as outras duas são conhecidas, cobre-se a quantidade desconhecida com o polegar. A localização das letras que permanecem descobertas no triângulo indicará a operação matemática a ser efetuada. Por exemplo, para encontrar “I”, com referência a (A) da

figura 8-52, basta cobrir “I” com o polegar. As letras descobertas indicam a divisão de “E” por “R”, ou $I = E/R$. Para encontrar “R”, conforme (B) da figura 8-52, é só cobrir “R” com o polegar. O resultado indica que “E” deve ser dividido por “I”, ou $R = E/I$.

Para encontrar “E”, com referência a (C) da figura 8-52, é só cobrir “E” com o polegar.

O resultado indica a multiplicação de “I” por “R”, ou $E = I \times R$.

Este gráfico é útil para iniciantes no uso da lei de Ohm.

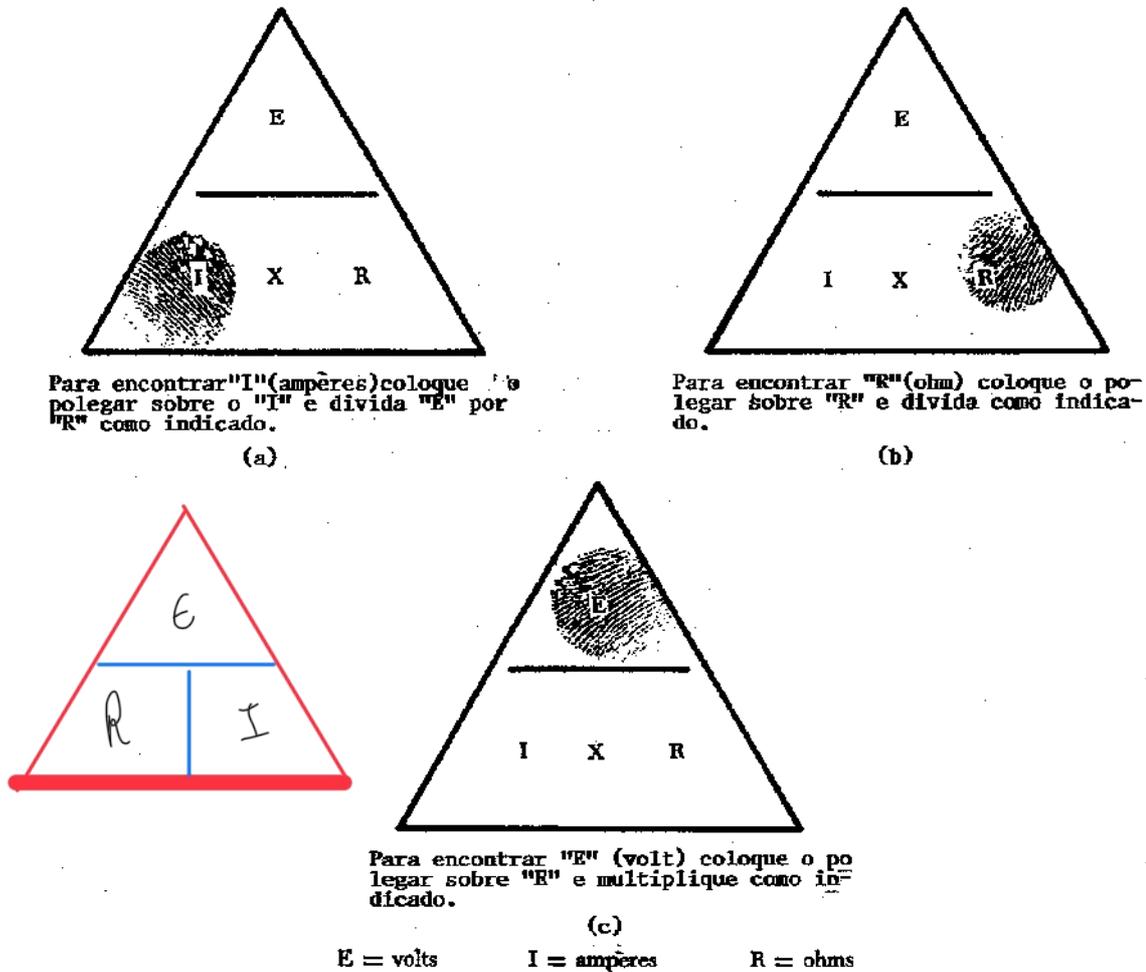


Figura 8-52 Gráfico da Lei de Ohm.

Potência elétrica

Juntamente com o volt, ampère e ohm, existe uma outra unidade freqüentemente usada em cálculos de circuitos elétricos, é a unidade de potência elétrica. A unidade empregada para medir potência em circuitos de corrente contínua é o watt. A potência é definida como a razão com que um trabalho é efetuado, e é igual

ao produto da voltagem e corrente, num circuito de corrente contínua.

Quando a corrente em ampères (I) é multiplicada pela f.e.m em volts (E), o resultado é a potência, medida em watts (P). Isto indica que a potência elétrica atribuída a um circuito varia diretamente com a voltagem aplicada e a corrente fluindo no circuito. Expressa como uma equação, fica assim: $P = IE$



Esta equação pode ser transposta para determinar qualquer dos três elementos do circuito, desde que os outros dois sejam conhecidos. Desta forma, se a potência elétrica é lida diretamente em um wattímetro e a voltagem é medida com um voltímetro, a intensidade da corrente (I) fluindo no circuito pode ser determinada pela transposição da equação básica para

$$I = \frac{P}{E}$$

Similarmente, a voltagem (E) pode ser encontrada pela transposição da fórmula básica para $E = P/I$. Como alguns dos valores usados para determinar a potência distribuída em um circuito são os mesmos usados na lei de Ohm, é possível substituir os valores da lei de Ohm por valores equivalentes na fórmula de potência elétrica. Na lei de Ohm, $I = E/R$. Se o valor E/R é substituído por I, na fórmula de potência, fica

$$P = I \times E; P = E \times \frac{E}{R}; \text{ ou } P = \frac{E^2}{R}$$

Esta equação, $P = E^2/R$, ilustra que a potência elétrica em watts, distribuída por um circuito, varia diretamente com o quadrado da voltagem aplicada, e inversamente com a resistência do circuito.

O watt é nomenclatura proveniente de James Watt, o inventor do motor a vapor.

Watt concebeu uma experiência para medir a força de um cavalo, com o propósito de encontrar um meio de medir a potência de seu motor a vapor. Um cavalo-vapor é necessário para mover 33.000 libras, num espaço de 1 pé, em 1 minuto.

Como potência é a razão de trabalho realizado, é equivalente ao trabalho dividido pelo tempo. Daí a fórmula:

$$P = \frac{33.000 \text{ lb/pes}}{60\text{s (1min)}} \text{ ou } P = 550 \text{ lb/pés/s}$$

A potência elétrica pode ser avaliada de maneira similar. Por exemplo, um motor elétrico especificado como sendo de 1 Hp, corresponde a 746 watts de energia elétrica. Entre-

tanto, o watt é uma unidade de força relativamente pequena.

O kilowatt, que é mais comum, é igual a 1000 watts.

Na medição de quantidade de energia elétrica consumida é usado o kilowatt/hora.

Por exemplo, se uma lâmpada de 100 watts consome energia por 20 horas, ela usou 2.000 watts/hora, ou 2 kilowatts/hora de energia elétrica.

A potência elétrica, que é perdida na forma de calor quando a corrente flui através de algum dispositivo elétrico, é freqüentemente chamada de potência dissipada (perdida).

Tal calor é normalmente dissipado no ar, ao redor, e não tem nenhuma utilidade, exceto quando usado para aquecimento.

Como todos os condutores possuem alguma resistência, os circuitos são projetados para reduzir essas perdas.

Com referência, de novo, à fórmula básica de potência elétrica, $P = I \times E$, é possível substituir os valores da lei de Ohm por "E", na fórmula de potência, para obter a formulação que reflete diretamente as perdas de potência em uma resistência.

$$P = I \times E; E = I \times R$$

Substituindo o valor da lei de Ohm por "E" ($I \times E$), na fórmula de potência,

$$P = I \times I \times R$$

Simplificando, teremos:

$$P = I^2 R$$

Desta equação, pode ser visto que a potência em watts num circuito varia de acordo com o quadrado da corrente (I), e diretamente com a resistência do circuito (Ω).

Finalmente, a potência distribuída por um circuito pode ser expressa como uma junção de corrente e resistência, por transposição da equação de potência $P = I^2 R$, logo,

$$I^2 = \frac{P}{R}$$

e, extraindo a raiz quadrada na equação O símbolo para chave aberta é mostrado em "A" da figura 8-27, e em "B" simboliza a chave fe-

chada, fazendo parte de um circuito existem inúmeros tipos diferentes de chaves, mas estes símbolos podem representar todas, exceto as mais complexas. $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$

Assim, a corrente relativa a 500 watts, com carga (resistência) de 100 ohms é a seguinte:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \frac{500}{100} = 2.24 \text{ ampères.}$$

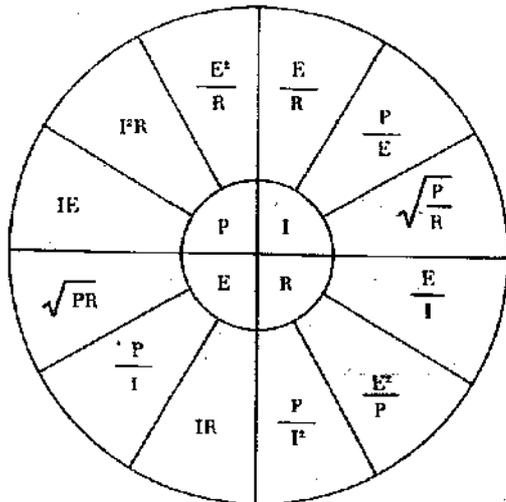


Figura 8-53 Resumo das equações básicas usando volts, ampères, Ohms e watts.

As equações derivadas da Lei de Ohm e a fórmula básica de potência elétrica não revelam tudo a respeito do comportamento de circuitos. Elas apenas indicam a relação numérica entre o volt, ampère, ohm e watt.

A figura 8-53 apresenta um resumo de todas as transposições possíveis dessas fórmulas, em um círculo com 12 segmentos.

CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA EM SÉRIE

O circuito em série é o mais elementar dos circuitos elétricos. Todos os demais tipos de circuitos são elaborações ou combinações de circuito em série. A figura 8-54 é um exemplo de um circuito em série simples, e é um circuito porque proporciona um caminho completo para o fluxo do terminal negativo para o positivo da bateria. É um circuito em série porque existe caminho único para a corrente fluir, conforme

indicam as setas mostrando a direção do movimento de elétrons.

Também é chamado de circuito em série, porque a corrente tem que passar através dos componentes (a bateria e o resistor), um depois do outro, ou "em série".

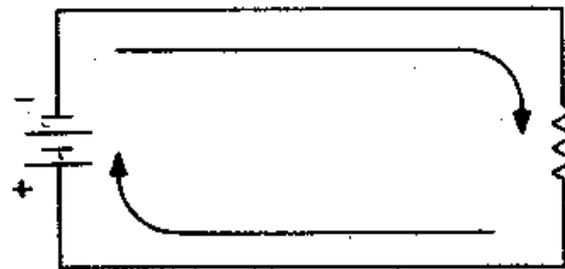


Figura 8-54 Circuito em série.

O circuito mostrado na figura 8-55 contém os componentes básicos requeridos por qualquer circuito: uma fonte de força (bateria), uma carga ou resistência limitadora de corrente (resistor) e um condutor (fio).

A maioria dos circuitos práticos contém no mínimo dois outros itens: um dispositivo de controle (interruptor) e um dispositivo de segurança (fusível).

Com todos os cinco componentes no circuito, este apareceria conforme mostrado na figura 8-55, que é um circuito em série de corrente contínua.

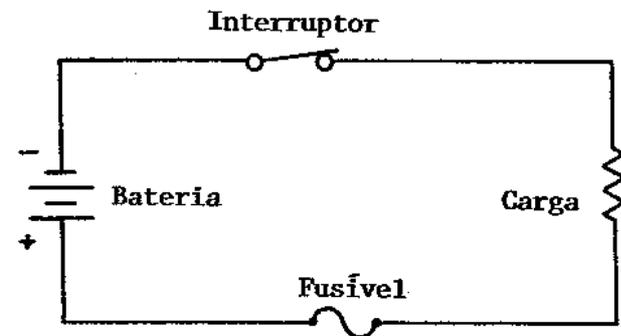


Figura 8-55 Circuito DC em série.

Num circuito de corrente-contínua, a corrente flui em uma direção, do terminal negativo da bateria através do interruptor (que precisa estar fechado), percorrendo a resistência de carga e o fusível, chegando à bateria, novamente, através do terminal positivo.

Para discutir o comportamento da corrente elétrica num circuito em série de corrente contínua, a figura 8-56 foi redesenhada na figu-

ra 8-57, agora incluindo três amperímetros e dois resistores. Como o amperímetro mede a intensidade do fluxo de corrente, três são colocados ao longo do circuito para medição em pontos distintos.

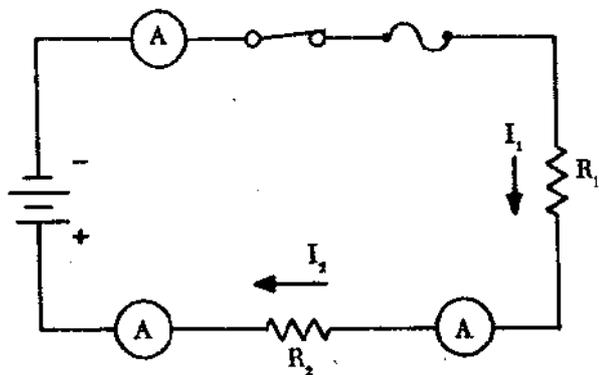


Figura 8-56 Fluxo de corrente em um circuito em série.

Com o interruptor fechado para completar o circuito, todos os três amperímetros indicam a mesma intensidade de corrente. Esta é uma importante característica de todos os circuitos em série: não importa quantos componentes sejam incluídos no circuito em série, a corrente será a mesma em qualquer ponto do circuito. Embora seja verdade que um aumento na quantidade de componentes de um circuito aumentará a resistência para o fluxo de corrente, ainda assim, o valor da corrente fluindo pelo circuito será o mesmo em todos os pontos.

Na figura 8-56, a corrente através do resistor R_1 é chamada de I_1 e a corrente através de resistor R_2 é chamada de I_2 . Se a corrente total no circuito é I_T , a fórmula demonstrando o fluxo de corrente é:

$$I_T = I_1 = I_2$$

Se o número de resistores é aumentado por cinco, a fórmula será:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5$$

Sem indicar a quantidade de corrente fluindo, será sempre verdadeiro que a corrente, através de qualquer resistor, será a mesma que fluirá através de qualquer dos outros resistores.

A figura 8-57 é um circuito em série contendo duas resistências. Para determinar a quantidade de fluxo de corrente neste circuito é

necessário saber o valor da resistência ou oposição ao fluxo. Assim, a segunda característica dos circuitos em série é: a resistência total num circuito em série é a soma de cada uma das resistências do circuito. Mostrada como fórmula, fica:

$$R_T = R_1 + R_2$$

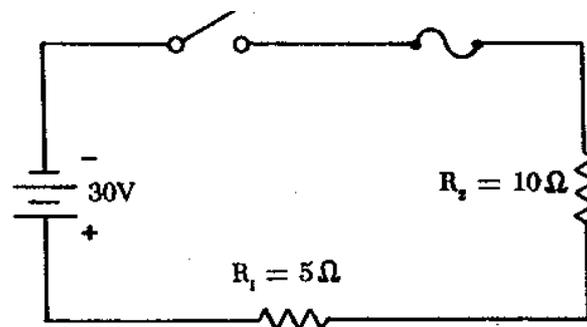


Figura 8-57 Circuito em série com dois resistores.

Na figura 8-57, temos o seguinte:

$$R_T = R_1 (5 \Omega) + R_2 (10 \Omega), \text{ ou} \\ R_T = 5 + 10 = 15 \Omega$$

A resistência total do circuito na figura 8-57 é de 15 ohms. É importante lembrar que se o circuito fosse alterado com a inclusão de 10, 20 ou mesmo 100 resistores, a resistência total ainda seria a soma de todas as resistências separadas.

Também é verdadeiro que há uma certa resistência interna na própria bateria, bem como, no fusível e na chave (interruptor). Estes pequenos valores de resistência não serão considerados na determinação dos valores de fluxo de corrente num circuito.

A fórmula da lei de ohm para encontrar a corrente é $I = E/R$. Sendo a voltagem da bateria de 30 volts e a resistência total do circuito 15 ohms, a equação fica:

$$I = \frac{30V}{15\Omega} = 2 \text{ ampères}$$

O fluxo de corrente é de 2 ampères (às vezes a palavra ampères é abreviada por amp) e o valor da corrente é o mesmo em toda parte do circuito.

Para avaliar que efeito uma mudança na resistência terá sobre o fluxo de corrente quando a voltagem permanece constante, a resistência

total é duplicada para 30 ohms, usando a lei de Ohm.

Pode ser visto que a corrente será reduzida para a metade do seu valor quando a resistência for dobrada. Por outro lado, se a voltagem permanece constante e a resistência for reduzida à metade do seu valor, a corrente dobrará o seu valor original.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{30V}{7,5W} = 4 \text{ amperes}$$

Desta forma, se a voltagem permanece constante e a resistência aumenta, a corrente diminui. Contrariamente, se a resistência diminui, a corrente aumenta.

Contudo, se a resistência é considerada constante e a voltagem é duplicada, o fluxo de corrente dobrará o seu valor original.

Se a voltagem aplicada ao circuito na figura 8-58 é dobrada para 60 volts, e o valor original de resistência é mantido em 15 ohms.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{60V}{15W} = 4 \text{ amperes}$$

Se a voltagem é reduzida para a metade do seu valor original, com resistência constante, a corrente diminuirá para a metade do seu valor original.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{15V}{15W} = 1 \text{ amp}$$

Assim, se a resistência permanece constante e a voltagem aumenta, a corrente também aumenta. Se a voltagem diminui, a corrente diminui também.

É importante fazer a distinção entre os termos "voltagem" e "queda de voltagem", na discussão sobre circuitos em série.

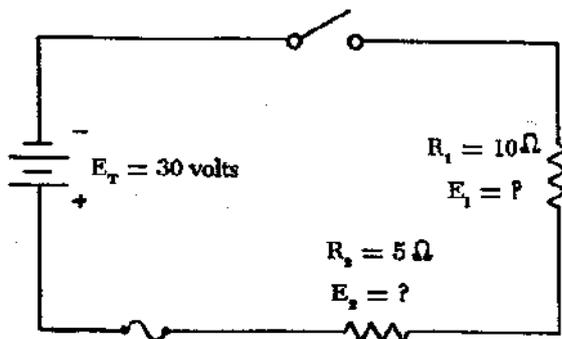


Figura 8-58 Queda de voltagem em um circuito.

Queda de voltagem refere-se à perda de pressão elétrica causada pelo forçamento de elétrons através de resistência. Na figura 8-58 a voltagem aplicada (bateria) é 30 volts e é chamada de E_T .

Havendo duas resistências no circuito, haverá duas diferentes quedas de voltagem, que serão a perda na pressão elétrica empregada para forçar os elétrons através das resistências. A quantidade de pressão elétrica necessária para forçar um dado número de elétrons através de resistência é proporcional à quantidade da resistência.

Assim sendo, a queda da voltagem cruzando R_1 será o dobro da observada em R_2 , já que R_1 tem duas vezes o valor de resistência de R_2 . A queda através de R_1 é chamada de E_1 e através de R_2 é E_2 . A corrente I é a mesma através de todo o circuito.

Usando:

$E = IR$	$E_2 = IR_2$
$E_1 = IR_1$	$E_2 = 2a \times 5$
$E_1 = 2a \times 10$	$E_2 = 10v$
$E_1 = 20v$	

Se as quedas de voltagem (usadas) através de dois resistores são somadas ($10V + 20V$), um valor igual à voltagem aplicada, 30 volts, é obtido. Isto confirma a fórmula básica para circuito em série: $E_T = E_1 + E_2$

Em qualquer circuito em série de corrente contínua, uma quantidade desconhecida como voltagem, resistência ou corrente pode ser calculada por meio da lei de ohm, se as outras duas quantidades forem conhecidas. A figura 8-59 é um circuito em série contendo três valores de resistência conhecidos, e uma voltagem aplicada de 150 volts. Usando estes valores, as quantidades desconhecidas podem ser determinadas aplicando-se a lei de Ohm, da seguinte forma:

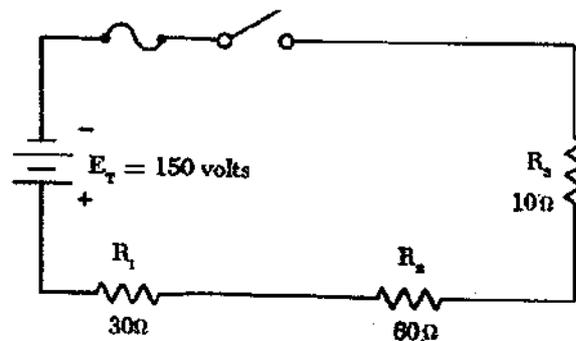


Figura 8-59 Aplicação da Lei de Ohm.

$R_1 =$	30Ω
$R_2 =$	60Ω
$R_3 =$	10Ω
$R_T =$	-----
$I_T =$	-----
$E_{R1} =$	-----
$E_{R2} =$	-----
$E_{R3} =$	-----

Resistência total:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 30 + 60 + 10 = 100 \Omega$$

Corrente total:

$$I_T = \frac{ET}{RT} = \frac{150V}{100\Omega} = 1,5\text{amp}$$

Quedas de voltagem:

$E =$	IR
$E_{R1} =$	$I_T \times R_1$
$=$	$1.5 \text{ amps} \times 30$
$=$	$45V$
$E_{R2} =$	$I_T \times R_2$
$=$	$1.5 \text{ amps} \times 60$
$=$	$90V$
$E_{R3} =$	$I_T \times R_3$
$=$	$1.5 \text{ amps} \times 10$
$=$	$15V$

Estes valores de quedas de voltagem seriam iguais à voltagem aplicada?

$E_T =$	$E_{R1} + E_{R2} + E_{R3}$
$E_T =$	$150V$
$150V =$	$45V + 90V + 15V$

A soma das quedas de voltagem é igual à voltagem aplicada.

Leis de Kirchhoff

Em 1847, um fisico alemão, G.R. Kirchhoff, em considerações sobre a lei de Ohm, desenvolveu duas afirmações que são conhecidas como leis de Kirchhoff, para corrente e voltagem.

O conhecimento destas leis habilita o técnico de aeronaves em melhor compreensão do comportamento da eletricidade. Utilizando as leis de Kirchhoff é possível encontrar:

(1) A corrente em cada parte de um circuito com vários segmentos, tanto a resistência quanto a força eletromotriz são conhecidas em cada segmento; ou (2) a força eletromotriz em cada parte quando a resistência e a corrente em cada braço são conhecidas. Estas leis estão estabelecidas assim:

Lei da corrente - a soma algébrica das correntes em qualquer conexão de condutores em um circuito é zero. Isto significa que a quantidade de corrente fluindo de um ponto num circuito, é igual a quantidade fluindo para o mesmo ponto.

Lei da voltagem - a soma algébrica da voltagem aplicada e a queda de voltagem ao longo de qualquer circuito fechado é zero, o que significa que a queda de voltagem ao longo de qualquer circuito fechado é igual à voltagem aplicada.

Ao aplicarmos as leis de Kirchhoff, usamos os seguintes procedimentos para simplificar o trabalho:

1. Quando a direção de corrente não é aparente, supor a direção do fluxo. Se a suposição estiver errada, a resposta estará numericamente correta, mas precedida por um sinal negativo.
2. Colocar marcações de polaridade (sinais de mais e menos) sobre todos os resistores e baterias existentes no circuito que está sendo resolvido. A direção suposta do fluxo de corrente não afetará as polaridades das baterias, mas afetará a polaridade da queda de voltagem nos resistores, logo, a queda de voltagem deve ser marcada de modo que a extremidade do resistor que recebe o fluxo é negativa, e a outra extremidade que o fluxo de corrente deixa é positiva.

Nas colocações sobre as leis de Kirchhoff, o termo soma algébrica foi empregado. Uma soma algébrica difere de uma soma aritmética, já que ambos, a magnitude e o sinal de cada número, precisam ser considerados.

Nos circuitos elétricos a queda de voltagem ocorre quando a corrente flui através de um resistor. A magnitude da voltagem é determina-

da pelo valor do resistor e a quantidade de fluxo de corrente.

A polaridade (sinal) da queda de voltagem é determinada pela direção de fluxo de corrente. Por exemplo, observando as polaridades da força eletromotriz aplicada (f.e.m.) e a queda de voltagem, são observados conforme mostrado na figura 8-60.

A F.E.M. aplicada provoca o fluxo de elétrons através da oposição oferecida pelas resistências.

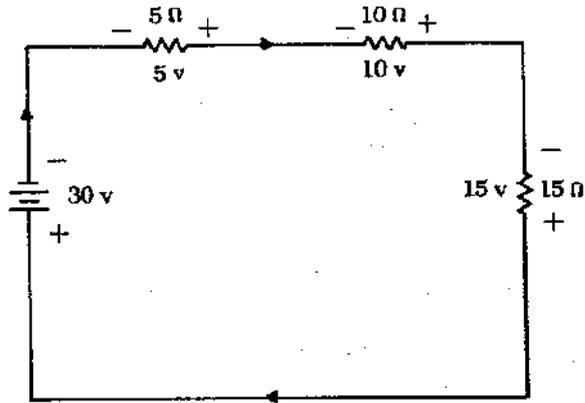


Figura 8-60 Polaridade da queda de voltagem.

A queda de voltagem de um lado a outro em cada resistência é consequentemente oposta em polaridade a da F.E.M. aplicada. Observa-se que o lado de cada resistor, onde a corrente entra é assinalado como negativo.

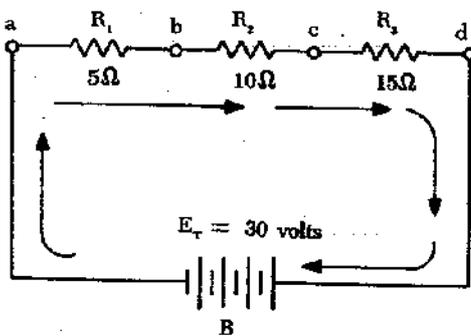
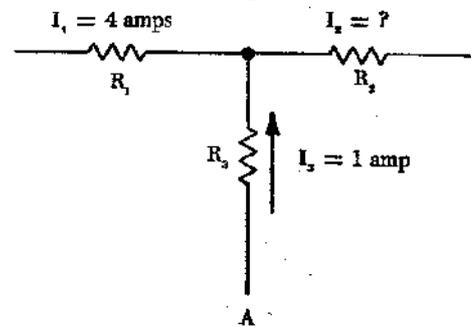


Figura 8-61 Circuito demonstrando a Lei de Kirchhoff: (A) lei da corrente e (B) lei da voltagem.

A figura 8-61 (A) mostra uma parte de um circuito que ilustra a lei da corrente de Kirchhoff.

A corrente, fluindo através do resistor R_1 , tem uma intensidade de quatro ampères; fluindo através de resistor R_3 , tem uma magnitude de um ampère, e está fluindo através da mesma junção que a corrente através de R_1 .

Usando a lei da corrente de Kirchhoff, é possível determinar quanta corrente está fluindo através de R_2 , e se está fluindo para ou da junção comum. Isto é expresso na forma de equação como:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Substituindo os valores de corrente na equação, fica:

$4 + I_2 + (-1)$	$= 0$
I_2	$= 1 + 4$
I_2	$= 5$
$-4 + (-1) + 5$	$= 0$

A lei da corrente de Kirchhoff encontra uma aplicação mais ampla nos mais complexos circuitos em paralelo ou série-paralelo.

A figura 8-61 (B) é um circuito de corrente contínua em série, que está sendo usado para demonstrar a lei da voltagem de Kirchhoff. A resistência total é a soma de R_1 , R_2 e R_3 , igual a 30 ohms. Sendo a voltagem aplicada 30 volts, a corrente fluindo no circuito é de 1 ampère. Então, as quedas de voltagem através de R_1 , R_2 e R_3 são 5 volts, 10 volts e 15 volts, respectivamente. A soma das quedas de voltagem é igual à voltagem aplicada, 30 volts.

Este circuito também pode ser resolvido, usando-se as polaridades das voltagens e mostrando que a soma algébrica das voltagens é zero. Quando trocando o fluxo de corrente, se o sinal (+) for encontrado primeiro, considerar as voltagens positivas; se for (-) considerar negativas. Partindo da bateria e indo na direção do fluxo de corrente (conforme indicado pelas setas) a seguinte equação pode ser formada:

$$\begin{aligned} \text{Voltagem Total } (E_T) &= +30 - 5 - 10 - 15 \\ E_T &= 0 \end{aligned}$$

O ponto de início e a polaridade, no circuito, são arbitrários, é uma questão de escolher para cada circuito.

CIRCUITO DE CORRENTE CONTÍNUA EM PARALELO

Um circuito em que duas ou mais resistências elétricas, ou cargas, são conectadas através da mesma fonte de voltagem é um circuito em paralelo, desde que exista mais de um caminho para o fluxo de corrente - quanto maior a quantidade de caminhos paralelos, menor oposição para o fluxo de elétrons da fonte se observará.

Num circuito em série, a adição de resistências aumenta a oposição ao fluxo de corrente. Os requisitos mínimos para um circuito em paralelo são os seguintes:

1. uma fonte de força.
2. condutores.
3. uma resistência ou carga para cada caminho da corrente.
4. dois ou mais caminhos para o fluxo de corrente.

A figura 8-62 mostra um circuito em paralelo com três caminhos para o fluxo de corrente. Os pontos A, B, C e D são conectados ao mesmo condutor e ao mesmo potencial elétrico.

De um modo similar, os pontos E, F, G e H estão ligados à mesma fonte. Desde que a voltagem aplicada apareça entre os pontos A e E, a mesma voltagem estaria aplicada entre os pontos B e F, C e G e D e H.

Daí, quando os resistores são conectados em paralelo através da mesma fonte de voltagem, cada resistor tem a mesma voltagem aplicada, entretanto as correntes através dos resistores podem diferir entre si, dependendo dos valores dos resistores. A voltagem num circuito em paralelo pode ser expressa da seguinte forma: $E_T = E_1 = E_2 = E_3$ onde E_T é a voltagem aplicada, E_1 é a voltagem através de R_1 , E_2 é a voltagem através de R_2 e E_3 é a voltagem através de R_3 . (Figura 8-62).

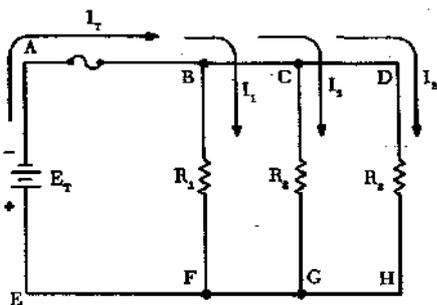


Figura 8-62 Circuito em paralelo.

A corrente num circuito em paralelo divide-se entre as várias derivações, de modo que dependa da resistência encontrada em cada uma delas (ver figura 8-63).

A ramificação contendo um menor valor de resistência terá um maior fluxo de corrente do que uma outra onde se encontre uma resistência maior.

A lei da corrente de Kirchhoff estabelece que a corrente fluindo em direção a um ponto é igual à corrente fluindo deste mesmo ponto em diante. Então, o fluxo de corrente num circuito pode ser expresso matematicamente assim:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

onde I_T é a corrente total e I_1 , I_2 , I_3 são as correntes através de R_1 , R_2 , R_3 , respectivamente.

A lei de Kirchhoff e a de Ohm podem ser aplicadas para achar o fluxo total de corrente no circuito mostrado na figura 8-63.

O fluxo de corrente através do braço contendo a resistência R_1 é:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{6}{15} = 0,4 \text{ amps}$$

A corrente através de R_2 é

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{6}{25} = 0,24 \text{ amps}$$

A corrente através de R_3 é

$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ amps}$$

A corrente total, I_T , é

$$\begin{aligned} I_T &= I_1 + I_2 + I_3 \\ I_T &= 0,4 \text{ amps} + 0,24 \text{ amps} + 0,5 \text{ amps} \\ I_T &= 1,14 \text{ amps} \end{aligned}$$

Num circuito em paralelo, $I_T = I_1 + I_2 + I_3$. Pela lei de Ohm, as seguintes equações podem ser obtidas:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T}, I_1 = \frac{E_1}{R_1}, I_2 = \frac{E_2}{R_2}, I_3 = \frac{E_3}{R_3}$$

Substituindo estes valores na equação para corrente total:

$$\frac{E_T}{R_T} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}$$

Num circuito em paralelo $E_T = E_1 = E_2 = E_3$. Conseqüentemente:

$$\frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

Dividindo tudo por E, temos:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Essa equação é a fórmula recíproca para encontrar a resistência total ou equivalente de um circuito em paralelo. Resolvendo para R_T , é uma outra maneira de derivar a equação.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Uma análise da equação para resistência total em um circuito em paralelo mostra que R_T é sempre menor do que a menor resistência num circuito em paralelo. Assim, um resistor de 10 ohms, um de 20 ohms e um de 40 ohms conectados em paralelo têm a resistência total inferior a 10 ohms. Se existirem apenas dois resistores num circuito em paralelo, a fórmula recíproca é:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Simplificando, fica:

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

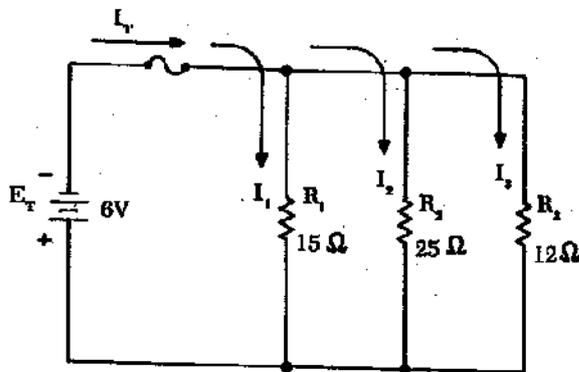


Figura 8-63 Fluxo de corrente no circuito em paralelo.

Essa fórmula simplificada pode ser utilizada quando duas resistências estão em paralelo. Um outro método pode ser empregado para qualquer número de resistores em paralelo, se seus valores forem iguais entre si. O valor de um resistor é dividido pela quantidade de resistores em paralelo para determinar a resistência total. Em expressão matemática, fica:

$$R_T = \frac{R}{N}$$

Onde R_T é a resistência total, R é resistência de um resistor, e N é o número de resistores.

CIRCUITOS EM SÉRIE-PARALELO

A maior parte dos circuitos em equipamentos elétricos são circuitos em série ou em paralelo.

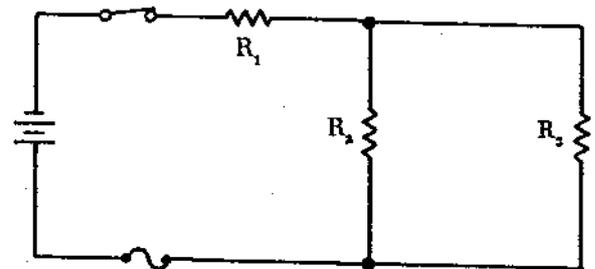


Figura 8-64 Circuito em série-paralelo.

São, normalmente, circuitos combinados, isto é, em série-paralelo, o que consiste em grupos de resistores em paralelo conectados em série com outros resistores. A figura 8-64 mostra um exemplo deste tipo de circuito.

Os requisitos para um circuito em série-paralelo são os seguintes:

1. fonte de força (bateria)
2. condutores (fios)
3. carga (resistências)
4. mais de um caminho para o fluxo de corrente
5. um controle (interruptor)
6. dispositivo de segurança (fusível)

Embora os circuitos em série-paralelo possam parecer extremamente complexos, a mesma regra usada para circuitos em série e paralelo pode ser empregadas para simplificá-los e resolvê-los. O método mais fácil de lidar

com circuito em série-paralelo é separá-lo, redesenhando as partes como circuitos equivalentes. O circuito na figura 8-65 é um exemplo de um circuito simples em série-paralelo que pode ser redesenhado para ilustrar esse procedimento.

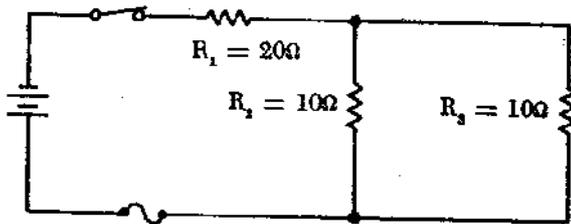


Figura 8-65 Circuito em série-paralelo simples.

Nesse circuito, a mesma voltagem é aplicada em R_2 e R_3 ; logo elas estão em paralelo. A resistência equivalente a esses dois resistores é igual a resistência de um resistor dividida pelo número de resistores em paralelo.

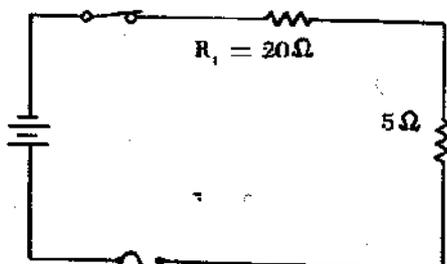


Figura 8-66 Circuito em série-paralelo redesenhado.

Isto só é verdadeiro quando os resistores em paralelo têm o mesmo valor ôhmico. Se esta regra é aplicada, o circuito pode ser redesenhado, como mostrado na figura 8-66.

Dessa maneira, o circuito em série-paralelo original foi convertido em um simples circuito em série contendo duas resistências. Para simplificar mais ainda o circuito, as duas resistências em série podem ser somadas e o circuito poderá ser redesenhado, conforme mostrado na figura 8-67.

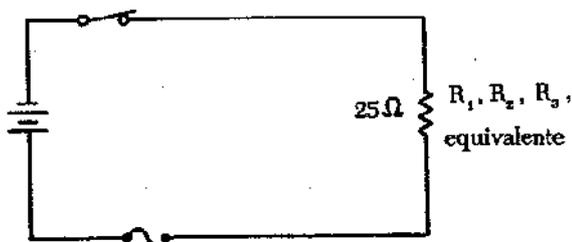


Figura 8-67 Circuito em série-paralelo equivalente.

Apesar do circuito não precisar ser redesenhado (figura 8-67), já que os cálculos poderiam ser feitos mentalmente, esse circuito ilustra claramente que um resistor de 25 ohms é equivalente aos três resistores do circuito original. A figura 8-68 contém um circuito em série-paralelo mais complexo.

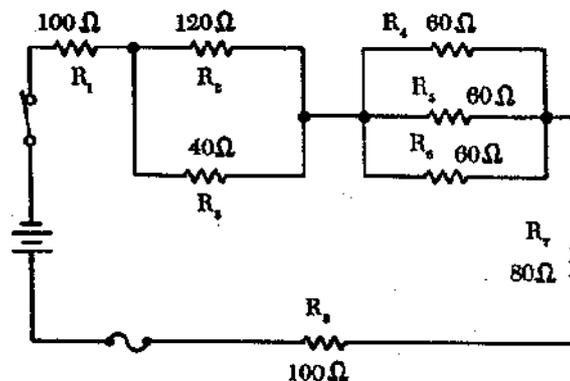


Figura 8-68 Circuito em série-paralelo mais complexo.

O primeiro passo para simplificar esse circuito é reduzir cada grupo de resistores em paralelo em um único resistor equivalente. O primeiro grupo é a combinação em paralelo de R_2 e R_3 .

Como esses resistores têm valores desiguais de resistência, a fórmula para dois resistores em paralelo é usada:

$$R_a = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{120 \times 40}{120 + 40} = \frac{4800}{160} = 30\Omega$$

Assim, a combinação em paralelo de R_2 e R_3 pode ser apresentada por um único resistor de 30Ω, conforme mostrado na figura 8-69

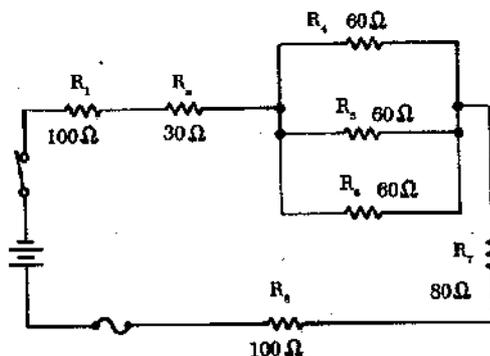


Figura 8-69 Circuito em série-paralelo com um resistor equivalente.

Em seguida, a resistência equivalente à combinação em paralelo de R_4 , R_5 e R_6 pode ser determinada, usando-se a fórmula $R_b = R/N$:

onde, R_b é a resistência equivalente à R_4 , R_5 e R_6 , R é o valor de um dos resistores e N é o número de resistores em paralelo.

$$R_b = \frac{R}{N} = \frac{60}{3} = 20\Omega$$

A combinação em paralelo de R_4 , R_5 e R_6 pode então ser redesenhada como um simples resistor de 20Ω , conforme mostrado na figura 8-70.

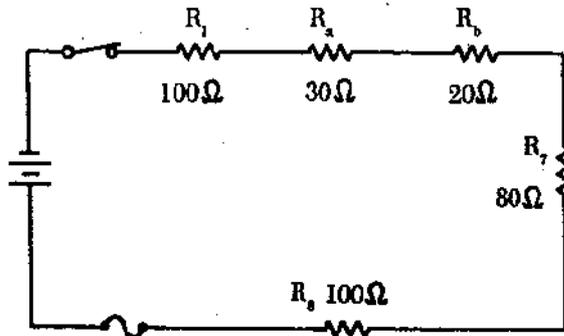


Figura 8-70 Circuito equivalente a série-paralelo.

O circuito original em série-paralelo foi então substituído pelo circuito em série equivalente. Esse circuito poderia ser redesenhado novamente substituindo-se os cinco resistores em série por um resistor de 330 ohms.

Isto pode ser demonstrado, usando-se a fórmula de resistência total para circuitos em série:

$$R_T = R_1 + R_a + R_b + R_7 + R_8 = 100 + 30 + 20 + 80 + 100 = 330 \text{ ohms.}$$

O primeiro circuito em série-paralelo usado é redesenhado para discutir-se o comportamento do fluxo de corrente (figura 8-71).

Ao contrário do circuito em paralelo, os braços de corrente I_1 e I_2 não podem ser estabelecidos, usando-se a voltagem aplicada. Como R_1 está em série com a combinação de R_2 e R_3 , houve queda parcial da voltagem aplicada através de R_1 .

Para obter as correntes dos braços, a resistência total e a corrente total precisam ser encontradas primeiro. Como R_2 e R_3 são resistências iguais:

$$R_{\text{equiv.}} = \frac{R}{N} = \frac{14}{2} = 7\Omega$$

A resistência total é:

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_{\text{equiv}} \\ &= 21\Omega + 7\Omega \\ &= 28\Omega \end{aligned}$$

Usando a lei de Ohm, a corrente total é:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{28 \text{ V}}{28 \Omega} = 1 \text{ ampère}$$

A corrente total de 1 ampère flui através de R_1 e divide-se no ponto "A", com parte da corrente fluindo através de R_2 e outra parte através de R_3 .

Como R_2 e R_3 têm tamanhos iguais, é obvio que a metade de corrente total, ou 0,5 amps, fluirá através de cada ramificação.

As quedas de voltagem no circuito são determinadas por meio da lei de Ohm:

$$E = IR$$

$$E_{R1} = I_T R_1 = 1 \times 21 = 21 \text{ volts}$$

$$E = IR$$

$$E_{R2} = I_1 R_2 = 0,5 \times 14 = 7 \text{ volts}$$

$$E = IR$$

$$E_{R3} = I_2 R_3 = 0,5 \times 14 = 7 \text{ volts}$$

As quedas de voltagem em resistores em paralelo são sempre iguais.

Convém lembrar que quando a voltagem é mantida constante e a resistência de qualquer resistor em circuito série-paralelo é aumentada, a corrente total diminuirá.

Não se deve confundir isto com a adição de um novo resistor numa combinação em paralelo, o que reduziria a resistência total e aumentaria o fluxo total de corrente.

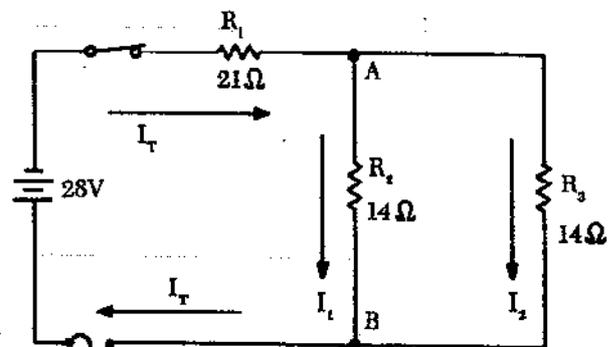


Figura 8-71 Fluxo de corrente em circuito série-paralelo.

DIVISORES DE VOLTAGEM

Os divisores de voltagem são dispositivos que possibilitam obter mais de uma voltagem de uma única fonte de força.

Um divisor de voltagem normalmente consiste de um resistor ou resistores ligados em série, com contatos móveis ou fixos e dois contatos de terminais fixos.

Como a corrente flui através do resistor, voltagens diferentes podem ser obtidas entre os contatos. Um divisor de voltagem típico é mostrado na figura 8-72.

Uma carga é qualquer dispositivo que consome corrente. Uma carga alta significa um grande dreno de corrente. Juntamente com a corrente consumida por várias cargas, existe certa quantidade consumida pelo próprio divisor de voltagem. Isto é conhecido como corrente "drenada".

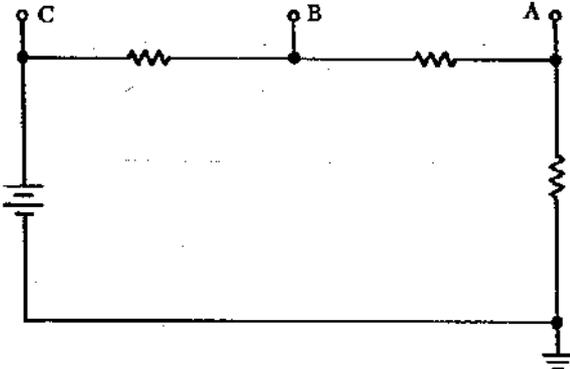


Figura 8-72 Circuito divisor de tensão

Para se entender como um divisor de voltagem trabalha, examina-se cuidadosamente a figura 8-73, e observa-se o seguinte:

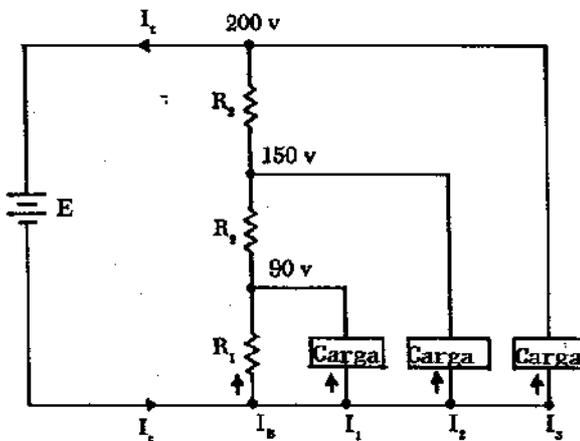


Figura 8-73 Típico divisor de voltagem.

Cada carga consome uma dada quantidade de corrente: I_1 , I_2 , I_3 . Em adição às correntes de carga, alguma corrente drenada (I_B) flui. A corrente I_1 é tirada da fonte de força e é igual à soma de todas as correntes.

A voltagem em cada ponto é medida com base em um ponto comum. Vê-se que este ponto comum é o ponto no qual a corrente total (I_1) divide-se em correntes separadas (I_1 , I_2 , e I_3).

Cada parte do divisor de voltagem tem uma diferente corrente fluindo em si. A distribuição da corrente é a seguinte:

Através de R_1 - corrente drenada (I_B)

Através de R_2 - $I_B + I_1$

Através de R_3 - $I_B + I_1 + I_2$

A voltagem através de cada resistor do divisor de voltagem é:

90 volts em R_1

60 volts em R_2

50 volts em R_3

O circuito divisor de voltagem, discutido até agora, tinha um lado da fonte de força (bateria) ligada na massa (terra).

Na figura 8-74 ponto comum de referência (símbolo de "terra") foi mudado para outro ponto do divisor de voltagem.

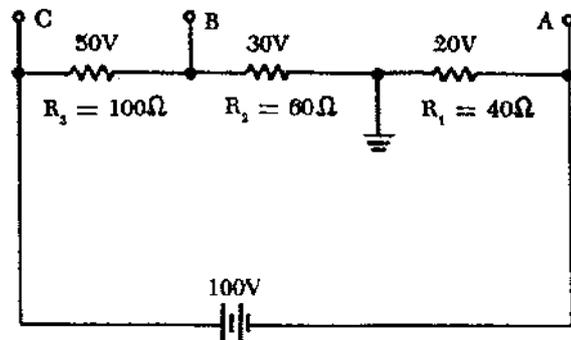


Figura 8-74 Voltagem positiva e negativa em um divisor de voltagem.

A queda de voltagem através de R_1 são 20 volts; todavia, desde que o ponto "A" seja ligado a um ponto no circuito que seja do mesmo potencial que o lado negativo da bateria, a voltagem entre o ponto "A" e o ponto de referência são de 20 volts negativos. Considerando os resistores R_2 e R_3 ligados ao lado positivo da bateria, as voltagens entre o ponto de referência e o ponto "B" ou "C" são positivas.

Um método simples para determinar voltagens negativas e positivas é conseguido por meio das seguintes regras: (1) se a corrente entra numa resistência fluindo a partir do ponto de referência, a queda de voltagem através desta resistência é positiva em relação ao ponto de referência; (2) se a corrente flui de uma resistência na direção do ponto de referência, a queda de voltagem através desta resistência é negativa em relação ao ponto de referência.

É a localização do ponto de referência que determina se uma voltagem é negativa ou positiva.

Traçar o fluxo de corrente é um meio de determinar a polaridade da voltagem. A figura 8-75 mostra o mesmo circuito, com indicação das polaridades das quedas de voltagem e direção do fluxo de corrente.

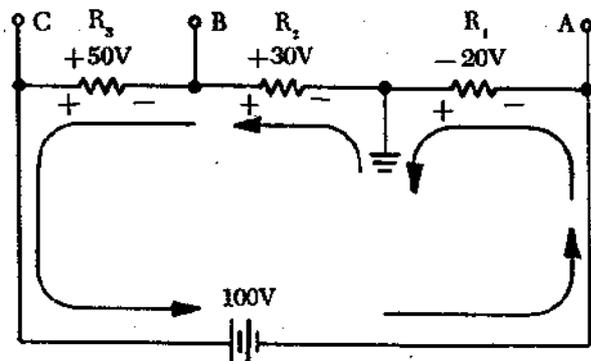


Figura 8-75 Fluxo de corrente através de um divisor de voltagem.

A corrente flui do lado negativo da bateria para R_1 . O ponto "A" tem o mesmo potencial que o terminal negativo da bateria, desde que seja desconsiderada a desprezível resistência do próprio condutor (fiação); contudo os 20 volts da fonte são necessários para forçar a corrente através de R_1 , e esta queda de 20 volts tem a polaridade indicada. Afirmando, de outro modo, existem apenas 80 volts de pressão elétrica presentes no circuito no lado "terra" de R_1 .

Quando a corrente alcança o ponto "B", 30 volts a mais foram empregados para movimentar os elétrons através de R_2 e, de forma similar, os restantes 50 volts são usados por R_3 . Mas as voltagens através de R_2 e R_3 são positivas, desde que estejam acima da do ponto "terra".

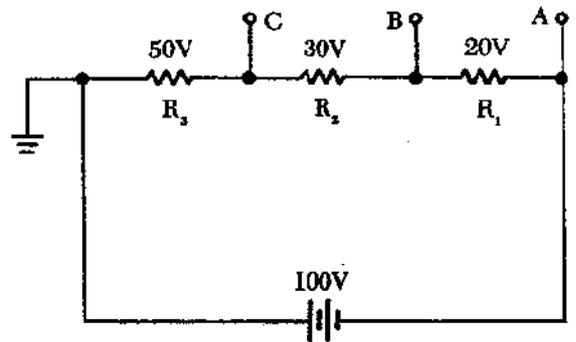


Figura 8-76 Divisor de voltagem com mudança do "terra".

A figura 8-76 mostra o divisor de voltagem usado anteriormente. As quedas de voltagens através dos resistores são as mesmas: contudo o ponto de referência ("terra") foi mudado. A voltagem entre o "terra" e o ponto "A" é agora de 100 volts negativos, ou seja, a voltagem aplicada. A voltagem entre o "Terra" e o ponto "B" é de 80 volts negativos, e a voltagem entre o "Terra" e o ponto "C" é de 50 volts negativos.

REOSTATOS E POTENCIÔMETROS

↳ FALTA TEMPOS

Os divisores de voltagem, discutidos até então são resistores de valores variados, através dos quais são desenvolvidas diversas quedas de voltagem. Os reostatos e os potenciômetros são resistores variáveis que são, às vezes, usados em conexão com os divisores de voltagem.

Um reostato é um resistor variável usado para variar a quantidade de corrente fluindo num circuito.

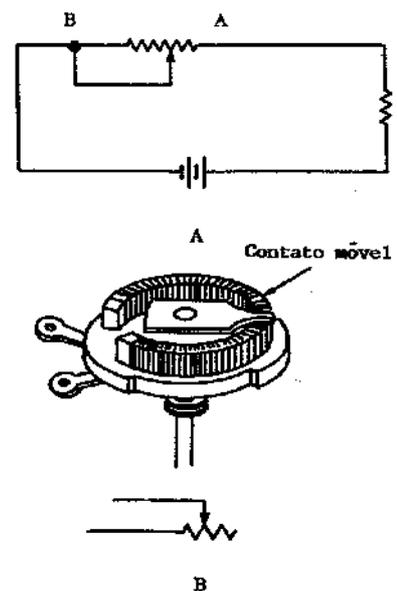


Figura 8-77 Reostato.

O reostato é representado esquematicamente como uma resistência de dois terminais com um braço de contato corredeço. A figura 8-77 mostra um reostato conectado em série com uma resistência comum, num circuito em série.

Conforme o braço deslizante se mover do ponto "A" para o ponto "B", a quantidade de resistência do reostato (AB) é aumentada. Como a resistência do reostato e a resistência fixa estão em série, a resistência total no circuito também aumenta e a corrente diminui. Por outro lado, se o braço deslizante é movido na direção de ponto "A", a resistência total diminui e a corrente, no circuito, aumenta.

O potenciômetro é um resistor variável que possui três terminais. As duas extremidades e o braço corredeço são ligados num circuito.

Um potenciômetro é usado para variar a quantidade de voltagem num circuito, e é um dos controles mais comuns usados em equipamentos elétricos e eletrônicos. Alguns exemplos são os controles de volume nos receptores de rádio e o controle de brilho em aparelhos de televisão.

Em "A" da figura 8-78, um potenciômetro é usado para obter uma voltagem variável de uma fonte de voltagem para aplicar a uma carga elétrica. A voltagem aplicada à carga é a voltagem entre os pontos "B" e "C". Quando o braço deslizante é movido para o ponto "A", a totalidade da voltagem é aplicada ao dispositivo elétrico (carga); quando o braço é movido para o ponto "C", a voltagem aplicada à carga é zero. O potenciômetro torna possível a aplicação de qualquer voltagem entre zero e a voltagem total à carga.

A corrente fluindo através do circuito da figura 8-78 deixa o terminal negativo da bateria e se divide, uma parte fluindo através de um setor do potenciômetro (ponto C para B) e a outra parte através da carga. Ambas as partes combinam-se no ponto "B" e fluem através do restante do potenciômetro (ponto B para A) retornando ao terminal positivo da bateria.

Em "B" da figura 8-78 são mostrados um potenciômetro e o seu símbolo esquemático.

Na escolha da resistência de um potenciômetro é preciso considerar a quantidade de corrente demandada pela carga, bem como a que flui através do potenciômetro considerando todos os ajustes possíveis do braço deslizante. A energia da corrente através do potenciômetro é dissipada em forma de calor. É importante man-

ter esta corrente dissipada tão pequena quanto possível, empregando resistência do potenciômetro tão grande quanto praticável. Na maioria dos casos, a resistência do potenciômetro pode ser muitas vezes superior à resistência da carga.

Reostatos e potenciômetros são construídos com uma resistência circular, sobre a qual se move um braço corredeço.

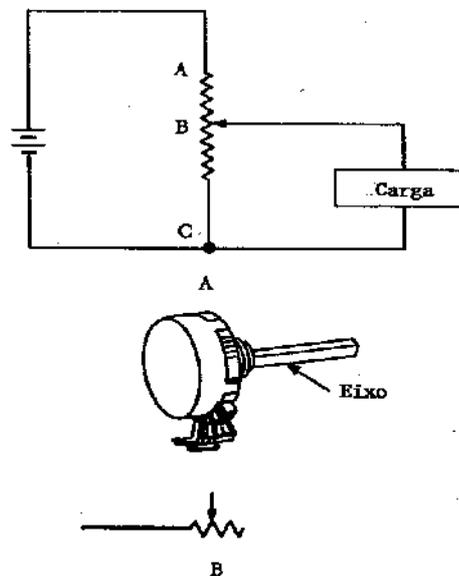


Figura 8-78 Potenciômetro.

A resistência pode ser distribuída de modo variado, e o método empregado determina a classificação linear ou logarítmica.

O tipo linear proporciona uma resistência normalmente distribuída sobre sua extensão, enquanto o logarítmico varia a razão entre o aumento da resistência e o espaço percorrido pelo braço deslizante. Como exemplo, podemos dizer que num reostato linear, meio curso do braço deslizante corresponde à metade da resistência total entre uma extremidade e o cursor, enquanto no caso do logarítmico, meio curso corresponde à um décimo (ou qualquer fração desejada) da resistência total, entre uma extremidade e o cursor.

Prefixos para unidades de medidas elétricas

Em qualquer sistema de medidas, um conjunto de unidades simples não é normalmente suficiente para todos os cálculos envolvidos em manutenção e reparos elétricos. Pequenas distâncias, por exemplo, podem ser medidas em centímetros, mas grandes distâncias são mais

significativamente expressas em metros ou quilômetros.

Visto que os valores elétricos frequentemente variam desde números que representam a milionésima parte de uma unidade básica de medida até valores extremamente grande, é completamente necessário o uso de uma faixa larga de números para representar as unidades tais, como volts, ampères ou ohms.

Uma série de prefixos que aparecem com o nome da unidade foram concebidos para os vários múltiplos e sub-múltiplos das unidade básicas.

Existem 12 desses prefixos que são também conhecidos como fatores de conversão. Seis dos prefixos mais comumente usados com definição reduzida são os seguintes:

Mega	significa um milhão	(1.000.000)
Quilo	significa mil	(1.000)
Centi	significa um centésimo	(1/100)
Mili	significa um milésimo	(1/1000)
Micro	significa um milionésimo	(1/1.000.000)
Micro-micro	significa um milionésimo de milionésimo	(1/1.000.000.000.000)

Um dos fatores de conversão mais usados, o Quilo (Kilo), pode ser utilizado para explicar o uso dos prefixos com as unidades básicas de medida.

Quilo significa 1.000 e, quando usado com volts é expresso como Quilovolt (Kilovolt), significando 1.000 volts. O símbolo para Quilo (Kilo) é a letra "K". Então, 1.000 volts são 1 Quilo volt ou 1 KV.

Por outro lado, 1 volt seria igual a um milésimo de KV, ou 1/1000 KV. Isto pode ser escrito como 0,001 KV.

Estes prefixos podem ser usados com todas as unidades elétricas. Eles proporcionam um método conveniente para que se escrevam valores grandes e pequenos.

A maior parte das fórmulas elétricas requer o uso de valores expressos nas unidades básicas; conseqüentemente todos os valores normalmente devem ser convertidos antes de efetuar o cálculo.

A figura 8-79 contém uma tabela de conversão que relaciona os valores elétricos mais comumente utilizados.

1 ampère = 1,000,000 microampères.
1 ampère = 1,000 milliampères.
1 farad = 1,000,000,000,000 micromicrofarada.
1 farad = 1,000,000 microfarads.
1 farad = 1,000 millifarads.
1 henry = 1,000,000 microhenrys.
1 henry = 1,000 millihenrys.
1 kilovolt = 1,000 volts.
1 kilowatt = 1,000 watts.
1 megohm = 1,000,000 ohms.
1 microampere = .000001 ampère.
1 microfarad = .000001 farad.
1 microhm = .000001 ohm.
1 microvolt = .000001 volt.
1 microwatt = .000001 watt.
1 micromicrofarad = .000000000001 farad.
1 milliampère = .001 ampère.
1 millihenry = .001 henry.
1 millimho = .001 mho.
1 milliohm = .001 ohm.
1 millivolt = .001 volt.
1 milliwatt = .001 watt.
1 volt = 1,000,000 microvolts.
1 volt = 1,000 millivolts.
1 watt = 1,000 milliwatts.
1 watt = .001 kilowatt.

Figura 8-79 Tabela de conversão.

A figura 8-80 contém uma lista completa dos múltiplos usados para expressar as quantidades elétricas, juntamente com os prefixos e símbolos usados para representar cada número.

NÚMERO	PREFIXO	SÍMBOLO
1,000,000,000,000	tera	t
1,000,000,000	giga	g
1,000,000	mega	m
1,000	kilo	k
100	hecto	h
10	deka	dk
0.1	deci	d
0.01	centi	c
0.001	milli	m
0.000,001	micro	u
0.000,000,001	nano	n
0.000,000,000,001	pico	p

Figura 8-80 Prefixos e símbolos para os múltiplos de quantidade básicas.

MAGNETISMO

O magnetismo é tão intimamente relacionado com a eletricidade no mundo industrial moderno, que pode ser afirmado seguramente

que sem o magnetismo o mundo da eletricidade não seria possível. O magnetismo é conhecido há vários séculos, mas depois do século dezoito uma torrente de conhecimento foi ligada a da eletricidade pelos pesquisadores científicos.

O mais primitivo magnetismo conhecido se resumia a um mineral natural, magnético, encontrado na Ásia Menor. Hoje, tal substância é conhecida como magnetita ou óxido magnético de ferro.

Quando um pedaço desse minério está suspenso horizontalmente por um fio (ou linha), ou flutua sobre um pedaço de madeira em água parada, alinha-se sozinho na direção norte-sul. É o único ímã natural que existe, sendo todos os outros produzidos artificialmente.

Desde os tempos mais remotos, conhecia-se o comportamento elementar dos ímãs, como por exemplo, a propriedade da magnetita de induzir magnetismo numa haste de ferro, esfregando uma na outra; ainda que, se as extremidades orientadas para o Norte, de um e outro ímã, forem aproximadas, os ímãs repelir-se-ão; por outro lado descobriram que se a extremidade "norte" de um fosse aproximada da extremidade "sul" de outro, eles atrair-se-iam.

O magnetismo é definido como a propriedade de um objeto para atrair certas substâncias metálicas.

Em geral, tais substâncias são materiais ferrosos, isto é, materiais compostos de ferro ou ligas de ferro, tais como ferro-doce, aço e alnico (alumínio-níquel-cobalto).

Esses materiais, às vezes chamados de materiais magnéticos, hoje, incluem, no mínimo, três materiais não-ferrosos: níquel, cobalto e gadolínio, que são magnéticos em grau limitado.

Todas as outras substâncias são consideradas não-magnéticas e uma pequena porção destas substâncias podem ser classificadas como diamagnéticas; desde que elas sejam repelidas por ambos os pólos de um ímã.

O magnetismo é uma força invisível, de natureza não completamente determinada. Ele pode ser melhor descrito pelos efeitos que produz.

O exame de uma barra magnética simples, similar a ilustrada na figura 8-81 desvenda algumas características básicas de todos os ímãs. Se o ímã for suspenso para pender livremente, ele alinhar-se-á com os pólos magnéticos da terra. Uma extremidade é chamada "N", sig-

nificando a ponta orientada para o pólo Norte magnético, ou o pólo norte do ímã. Similarmen-te, é o que ocorre com a extremidade "S". Os pólos magnéticos não têm a mesma localização dos pólos geográficos.

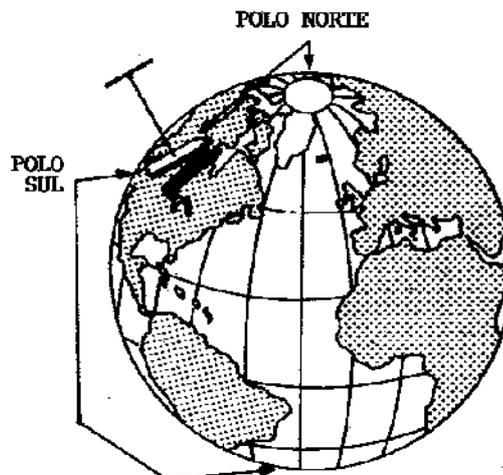


Figura 8-81 Uma das pontas de uma barra magnética aponta para o pólo magnético.

A força, um tanto misteriosa e completamente invisível de um ímã, depende do campo magnético que o envolve, conforme ilustrado na figura 8-82. Esse campo sempre existe entre os pólos de um ímã e o seu feitiço será de acordo com a forma do ímã.

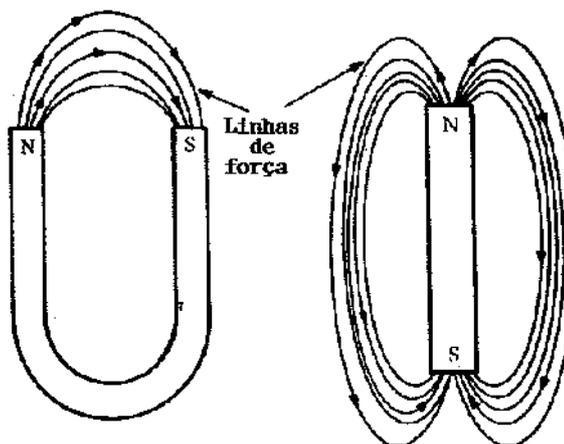
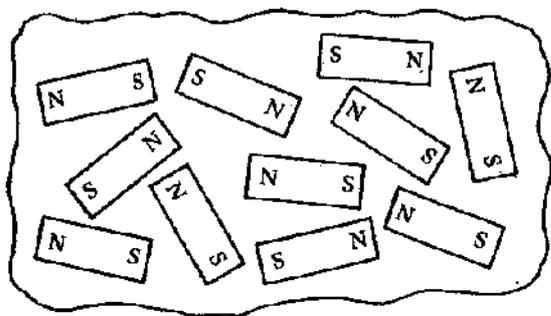
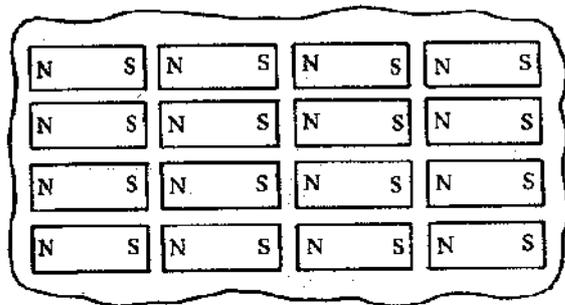


Figura 8-82 Campo magnético em torno de ímãs.

A teoria que explica a ação de um ímã considera que cada molécula constituindo uma barra de ferro é um pequeno ímã com ambos os pólos, norte e sul, conforme ilustrado na figura 8-83.



(A) Desmagnetizado



(B) Magnetizado

Figura 8-83 Arranjo das moléculas em uma peça de material magnético.

Esses ímãs moleculares, cada qual possui um campo magnético, mas no estado desmagnetizado as moléculas estão desarrumadas ao longo da barra de ferro.

Se uma força magnetizadora for aplicada em tal barra, como por exemplo, fricção com a magnetita, os ímãs moleculares alinhar-se-ão conforme o campo magnético induzido. Isto é ilustrado em B da figura 8-83.

Em semelhante configuração, os campos magnéticos dos ímãs combinaram para produzir o campo total da barra magnetizada.

Quando manuseando um ímã, evita-se aplicação direta de calor e pancadas, ou deixá-lo cair.

O aquecimento ou choque repentino causará desalinhamento das moléculas, resultando em enfraquecimento de seu poder magnético. Quando um ímã é estocado, dispositivos conhecidos como armaduras de proteção ("keeper bars") são instalados para proporcionar um caminho fácil para o fluxo de linhas de um pólo a outro. Isto favorece a conservação das moléculas no seu alinhamento norte-sul.

A presença da força do campo magnético em torno de um ímã pode ser melhor demonstrada através da experiência ilustrada na figura 8-84. Uma folha de material transparente,

tal como vidro ou plástico, é colocada sobre um ímã (barra), e a limalha de ferro é salpicada vagorosamente sobre esta cobertura transparente, na qual se vai batendo levemente para que a limalha desenhe o contorno do campo magnético, formando linhas entre os dois pólos do ímã.

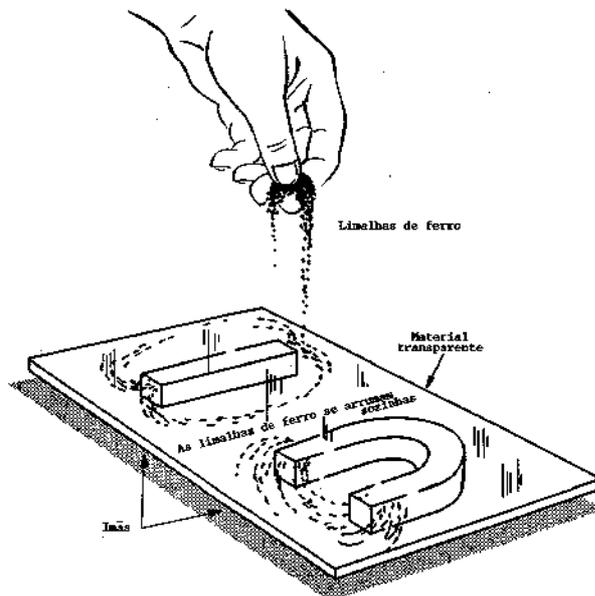


Figura 8-84 Demonstrando um campo magnético por meio de limalhas de ferro.

Conforme mostrado, o campo de um ímã é formado por muitas forças individuais, que aparecem como linhas na demonstração com limalhas de ferro.

Embora não se trate de "linhas" no sentido comum, essa palavra é usada para descrever a particular natureza das forças separadas, constituindo o campo magnético como um todo. Essas linhas de força também são mencionadas como fluxo magnético. Elas são forças individuais e separadas, tendo em vista que uma linha jamais cruza outra. Em verdade, elas de fato se repelem. Elas se mantêm paralelas, umas com as outras, e assemelham-se a estrias de borracha estendidas, que são mantidas no lugar em torno da barra pela força magnetizadora interna do ímã.

A demonstração com limalhas de ferro mostra ainda que o campo magnético de um ímã, é concentrado em suas extremidades. Essas áreas de concentração do fluxo são chamadas de pólos norte e sul do ímã.

Existe um limite para o número de linhas de força que constituem o fluxo de um ímã de determinado tamanho. Quando uma força magnetizadora é aplicada a um pedaço de material

magnético, atinge uma situação em que não é possível indução ou introdução de nenhuma linha de força a mais, diz-se que o material está saturado.

As características do fluxo magnético podem ser demonstradas pelos contornos dos modelos de fluxo de duas barras de imã com os pólos iguais aproximados, conforme mostrado na figura 8-85.

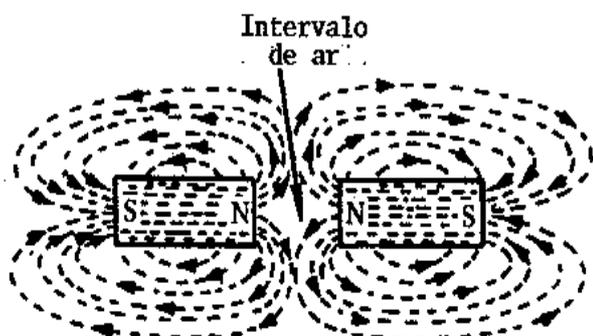


Figura 8-85 Pólos iguais se repelem.

Os pólos iguais se repelem porque as linhas de força não se cruzam. Conforme as setas sobre as linhas indicam, as linhas se evitam percorrendo caminhos paralelos, onde os campos se aproximam, causando a repulsão entre os ímãs.

Invertendo-se a posição de um dos ímãs, a atração entre pólos diferentes pode ser demonstrada, conforme mostrado na figura 8-86.

Como os pólos diferentes são aproximados um do outro, as linhas de força mudam seu percurso; e a maior parte do fluxo deixando o polo norte de um dos ímãs entra no polo sul de outro ímã.

A tendência de repulsão entre as linhas de força é indicada pelo arqueamento de fluxo no intervalo entre os dois ímãs.

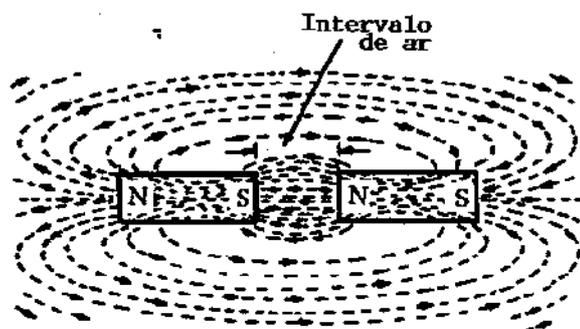


Figura 8-86 Pólos opostos se atraem.

Ainda para demonstrar que as linhas de força não se cruzarão, um ímã em barra e outro em ferradura podem ser posicionados para mostrar um campo magnético semelhante ao da figura 8-87. Os campos dos dois ímãs não combinam, mas se reformulam num modelo de fluxo distorcido.

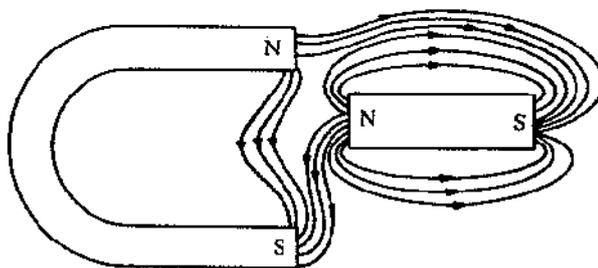


Figura 8-87 Desviando linhas de fluxo.

Duas barras de ímãs podem ser seguradas com as mãos para a demonstração das ações de atração e repulsão entre si. Estas experiências estão ilustradas na figura 8-88.



Figura 8-88 Atração e repulsão dos pólos de um ímã.

A figura 8-89 ilustra uma outra característica dos ímãs. Se uma barra de ímã for cortada ou quebrada em pedaços, cada um deles imediatamente se torna um ímã, com um pólo norte e um pólo sul. Este aspecto sustenta a teoria de que cada molécula é um ímã, posto que cada divisão sucessiva de um ímã produz ainda mais ímãs.



Figura 8-89 Pólos magnéticos de pedaços de ímãs.

Considerando que as linhas de força magnética formam um contínuo enlace, elas constituem um circuito magnético. É impossível dizer onde, no ímã, elas se originam ou se iniciam. Arbitariamente, é entendido que todas as linhas de força deixam o pólo norte de qualquer ímã e entram pelo pólo sul.

Não existe nenhum isolador conhecido para o fluxo magnético, ou linhas de força, porque elas atravessarão todos os materiais. Entretanto, descobriu-se que elas atravessarão alguns materiais mais facilmente que outros. Então é possível blindar certas áreas, como instrumentos, dos efeitos do fluxo, circundando-as com um material que ofereça um caminho mais fácil para as linhas de força.

A figura 8-90 mostra um instrumento protegido por um revestimento de ferro-doce, que oferece diminuta resistência ao fluxo magnético. As linhas de força seguem o caminho mais fácil, de maior permeabilidade, e são guiadas externamente em relação ao instrumento.

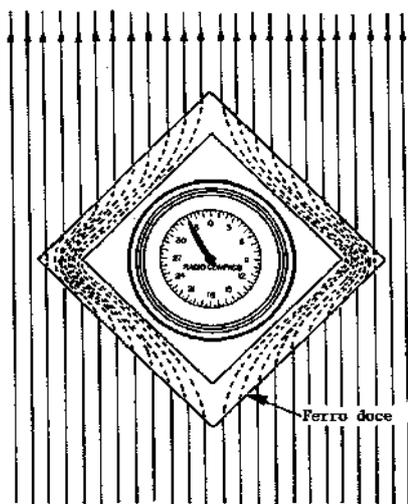


Figura 8-90 Escudo magnético.

Materiais como ferro-doce e outros metais ferrosos são considerados de alta permeabilidade, que é o grau de facilidade com que o fluxo magnético pode penetrar num material. A escala de permeabilidade é baseada no vácuo perfeito, considerando-se a razão de um.

O ar e outros materiais não magnéticos são tão aproximados do vácuo que também são considerados como tendo razão de um. Os metais não ferrosos tendo permeabilidade maior do que um, tais com níquel e cobalto, são chamados de paramagnéticos, enquanto o termo ferromagnético é atribuído ao ferro e suas ligas, que têm a mais alta permeabilidade.

Qualquer substância, a exemplo do bismuto, tendo permeabilidade menor do que um, é considerada diamagnética.

A relutância (medida de oposição para as linhas de força atravessarem um material) pode ser comparada à resistência de um circuito elétrico. A relutância do ferro-doce, por exemplo, é muito menor do que a do ar. A figura 8-91 de-

monstra que um pedaço de ferro-doce, colocado perto do campo de um ímã, pode distorcer as linhas de força, que seguem então o caminho de relutância mais baixa através do pedaço de ferro.

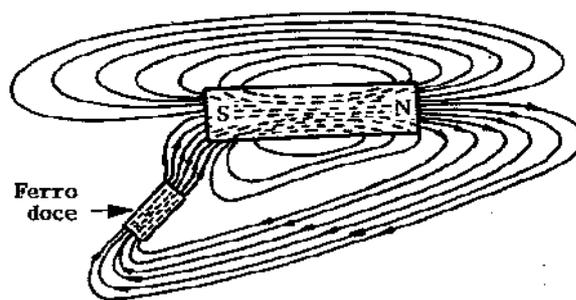


Figura 8-91 Efeito de uma substância magnética.

O circuito magnético pode ser comparado, sob muitos pontos de vista, a um circuito elétrico. A força magnetomotriz (f.m.m.) proporcionando linhas de força num circuito magnético pode ser comparada à força eletromotriz ou pressão elétrica de um circuito elétrico.

A f.m.m. é medida em *gilberts*, simbolizada pela letra maiúscula "F". O símbolo para a intensidade das linhas de força, ou fluxo, é a letra grega PHI (Φ) e a unidade de intensidade de campo é o *gauss*. Uma linha de força individual, chamada um *Maxwell*, numa área de um centímetro quadrado produz uma intensidade de campo de um *gauss*.

Usando-se relutância preferivelmente à permeabilidade, a lei para circuitos magnéticos pode ser estabelecida: uma força magnetomotriz de um *gilbert* proporcionará um *Maxwell*, ou linha de força, atuando num material quando a relutância do material é igual a um.

Tipos de ímãs

Existem ímãs naturais e artificiais. Como os ímãs naturais ou magnetitas não têm uso prático, todos os ímãs considerados neste estudo são artificiais ou produzidos pelo homem.

Os ímãs artificiais podem, então, ser classificados como ímãs permanentes que conservam seu magnetismo muito tempo após ser removida a fonte magnetizadora de ímãs temporários, que rapidamente perdem a maior parte do seu magnetismo quando a força de magnetização é removida.

Aço duro tem sido usado ao longo do tempo para ímãs permanentes, mas ímãs até

mesmo de melhor qualidade podem agora ser obtidos de várias ligas. **Almico**, uma liga de ferro, alumínio, níquel e cobalto é considerada uma das melhores. Outras com excelentes qualidades magnéticas são ligas como **Remalloy** e **Permendur**.

O velho método de produzir um ímã esfregando um pedaço de aço ou ferro com um ímã natural foi substituído por outros processos.

Um pedaço de metal colocado em contato ou suficientemente perto de um ímã tornar-se-á magnetizado por indução, e o processo pode ser acelerado aquecendo-se o metal, e então colocando-o para esfriar dentro de um campo magnético.

Ímãs também podem ser produzidos, colocando-se o metal a ser magnetizado num forte campo magnético, golpeando-o várias vezes com um martelo. Este processo pode ser usado para produzir ímãs permanentes com metais como aço duro.

A capacidade de um ímã absorver seu magnetismo varia enormemente conforme o tipo de metal e é conhecido como retentividade. Ímãs feitos de ferro-doce são facilmente magnetizados, mas rapidamente perdem a maior parte do seu magnetismo quando a força externa magnetizadora é removida. A pequena quantidade de magnetismo restante, chamada de magnetismo residual, é de grande importância em aplicações elétricas conforme a operação de geradores.

Ímãs em ferradura são comumente fabricados em duas formas, conforme mostrado na figura 8-92. O tipo mais comum é feito de uma barra curvada na forma de uma ferradura, enquanto uma variação consiste em duas barras ligadas por uma terceira, ou forquilha.

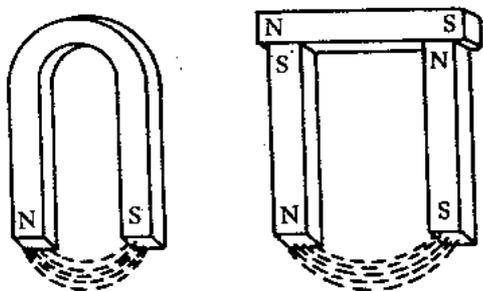


Figura 8-92 Duas formas de ímã ferradura.

Ímãs podem ser feitos com muitas formas diferentes, como bolas, cilindros ou discos. Um tipo especial de ímã é na forma de anel,

frequentemente utilizado em instrumentos. É um elo fechado, e é o único tipo que não possui pólos.

Algumas vezes, aplicações especiais requerem que o campo de força repouse através da espessura, em vez do comprimento de uma peça de metal. Tais ímãs são chamados ímãs chatos, e são usados como elementos de polarização em geradores e motores.

Eletromagnetismo

Em 1819, o físico dinamarquês, Hans Christian Oersted descobriu que a agulha de uma bússola aproximada de um condutor sob corrente podia ser deflexionada. Quando o fluxo de corrente parava, a agulha retornava a sua posição original.

Esta importante descoberta demonstrou a relação entre a eletricidade e o magnetismo, que diz respeito ao eletroímã e muitas das invenções em que se baseia a industria moderna.

Oersted descobriu que o campo magnético não tinha ligação com o condutor, no qual os elétrons estavam fluindo, porque o condutor era feito de cobre (material não-magnético). O campo magnético era criado pelos elétrons movendo-se através do fio. Como o campo magnético acompanha uma partícula carregada, quanto maior o fluxo de corrente, maior o campo magnético. A figura 8-93 ilustra o campo magnético em torno de um fio conduzindo corrente.

Uma série de círculos concêntricos em torno do condutor representa o campo e, se todos fossem mostrados, pareceria mais como um contínuo cilindro à semelhança dos círculos em torno do condutor.

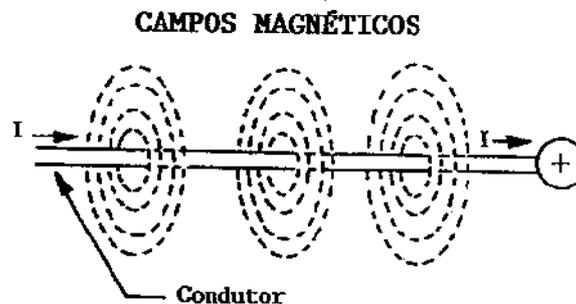


Figura 8-93 Campo magnético formado em torno de um condutor com fluxo de corrente.

A expansão do campo de força é proporcional à intensidade da corrente, conforme mostrado na figura 8-94. Se uma pequena corrente flui através do condutor, as linhas de força estender-se-ão conforme o círculo "A". Se o fluxo de corrente é aumentado, crescerá conforme o círculo "B", e um aumento adicional da corrente implicará em expansão, conforme o círculo "C".

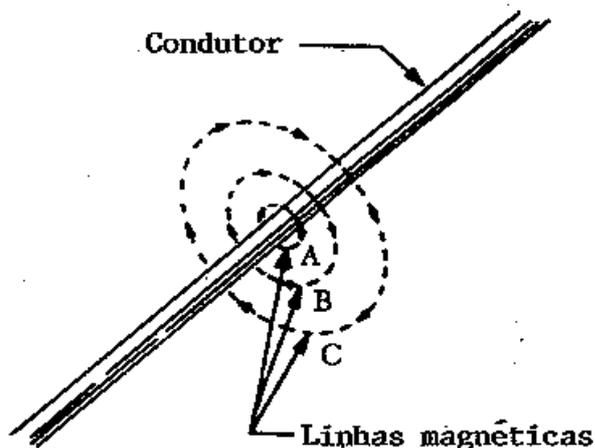


Figura 8-94 Expansão do campo magnético quando a corrente aumenta.

Conforme a linha de força original (círculo) se expande do círculo "A" para o "B", uma nova linha de força aparecerá para o círculo "A". Conforme o fluxo de corrente aumenta, o número de círculos de força aumenta, expandindo os círculos externos mais longe da superfície do condutor conduzindo corrente.

Se o fluxo de corrente é de corrente contínua estável, sem variação, o campo magnético permanece estacionário. Quando a corrente cessa, o campo magnético acaba, e o magnetismo em torno do condutor desaparece.

Uma agulha de bússola é usada para demonstrar a direção do campo magnético ao redor do condutor onde flui corrente. A letra "A" da figura 8-95 mostra uma agulha de bússola em ângulos alinhados com o condutor. Se não houvesse corrente fluindo, o norte indicado pela agulha seria o pólo norte magnético da terra.

Quando a corrente flui, a agulha se alinha um ângulos retos com o raio delineado no condutor. Como a agulha da bússola é um pequeno ímã, com linhas de força estendendo-se de sul para o norte dentro do metal, ela irá se virar na direção dessas linhas de força que envolvem o condutor.

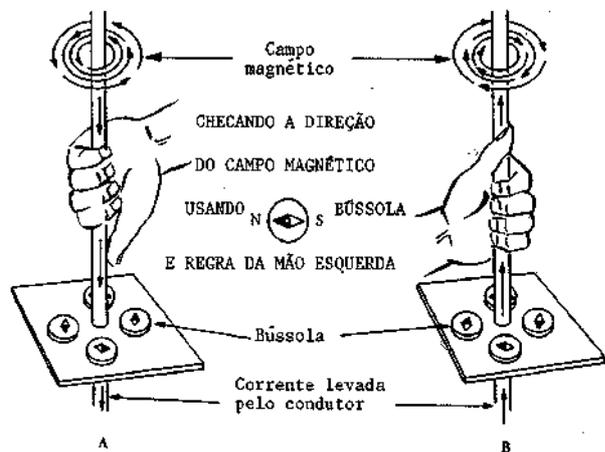


Figura 8-95 Campo magnético em torno de um condutor transportando corrente.

Conforme a agulha de bússola se move em torno do condutor, manter-se-á uma posição em ângulos retos com ele, indicando que o campo é circular em torno do fio por onde a corrente flui.

Como mostrado na figura 8-95, letra "B", quando a direção da corrente é revertida, a agulha da bússola passa a apontar na direção oposta, indicando a reversão do campo magnético.

Um método usado para determinar a direção das linhas de força, quando a direção do fluxo de corrente é conhecido, é mostrado na figura 8-96.

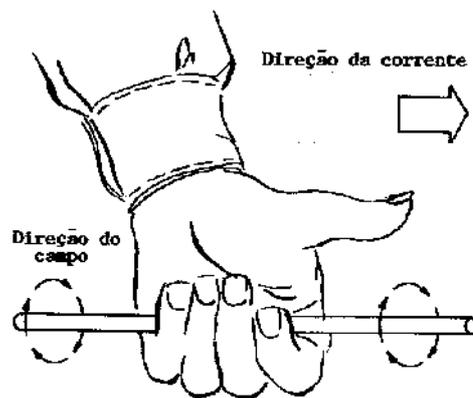


Figura 8-96 Regra da mão esquerda.

Se um condutor é segurado com a mão esquerda, com o polegar apontando na direção do fluxo de corrente, os dedos estarão envolvendo o condutor na mesma direção que as linhas de força do campo magnético. Isto é chamado de regra da mão esquerda.

Embora tenha sido afirmado que as linhas de força têm direção, não deve ser interpre-

tado que as linhas tenham movimento circular em torno do condutor.

Embora as linhas de força tendem a agir numa ou noutra direção, elas não estão circulando ao redor do condutor.

Desde que a corrente flui do negativo para o positivo, muitas ilustrações indicam a direção da corrente com uma pinta que simboliza a extremidade do condutor para onde os elétrons estão fluindo, e um sinal de (+) na extremidade de onde a corrente flui. Isto é ilustrado na figura 8-97.

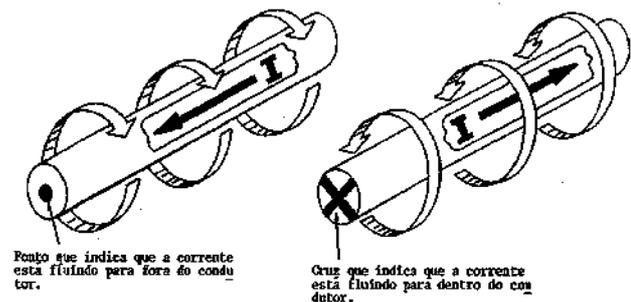


Figura 8-97 Direção da corrente fluindo de um condutor.

Quando um fio é enrolado num "loop", e uma corrente elétrica flui através dele, a regra da mão esquerda permanece válida, conforme mostrado na figura 8-98.

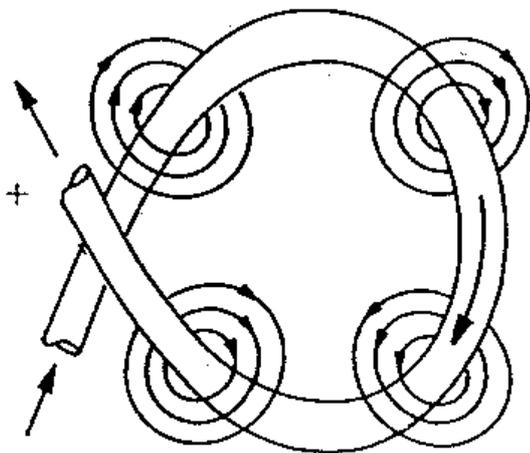


Figura 8-98 Campo magnético em torno de um condutor com uma volta.

Se o fio é enrolado em duas voltas, muitas linhas de força se tornam largas suficientemente para incluir as duas voltas.

As linhas de força circularão na mesma direção por fora das duas voltas (veja a figura 8-99).

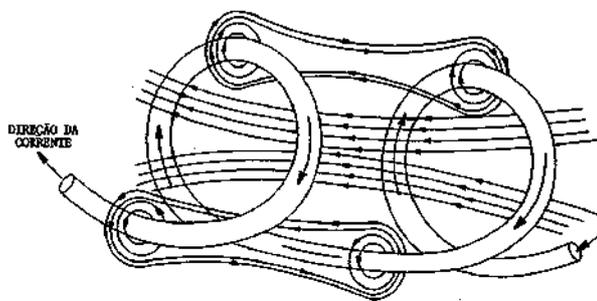


Figura 8-99 Campo magnético em torno de um condutor com duas voltas.

Quando um fio tem muitas voltas é chamado de bobina. As linhas de força formam um modelo através de todos os "loops" (voltas), ocasionando alta concentração de linhas de fluxo no centro da bobina (veja a figura 8-100).

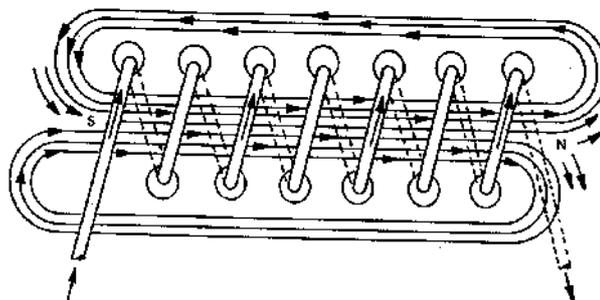


Figura 8-100 Campo magnético de uma bobina.

Em uma bobina feita de voltas de um condutor, muitas linhas de força se dissipam entre as voltas da bobina. Colocando-se uma barra de ferro-doce no interior da bobina, as linhas de força concentram-se em seu centro, já que o ferro-doce tem maior permeabilidade de que o ar (ver figura 8-101).

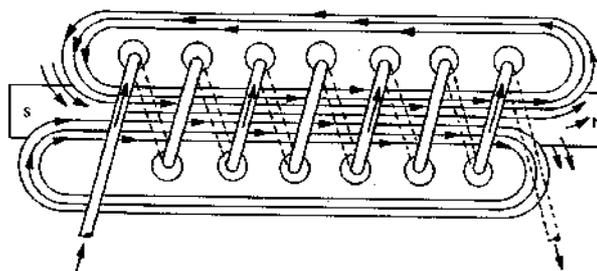


Figura 8-101 Eletroímã.

Esta combinação de um núcleo de ferro numa bobina é chamada de eletroímã, já que os polos da bobina possuem as características de um ímã de barra. A adição do núcleo de ferro-doce produz dois resultados. Primeiro, aumenta o fluxo magnético. Segundo, as linhas de fluxo são mais altamente concentradas.

Quando uma corrente contínua flui através da bobina, o núcleo se torna magnetizado com a mesma polaridade (localização de pólos norte e sul) que a bobina teria sem o núcleo. Se a corrente for revertida, a polaridade também se reverterá.

A polaridade do eletroímã é determinada pela regra da mão esquerda, da mesma maneira que a polaridade da bobina sem o núcleo é determinada.

Se a bobina for mantida na mão esquerda, de forma que os dedos se curvem em torno da bobina na direção do fluxo de elétrons (menos para mais), o polegar apontará na direção do pólo norte. (veja figura 8-102).

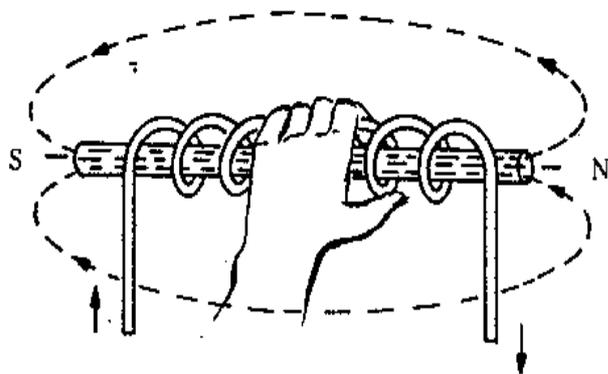


Figura 8-102 Regra da mão esquerda aplicada à bobina.

A intensidade do campo magnético de um eletroímã pode ser aumentada, tanto pelo fluxo de corrente, quanto pelas voltas de fio. Dobrando o fluxo de corrente, dobra-se, aproximadamente, a intensidade do campo magnético.

De modo similar, dobrando-se o número de voltas de fio, dobra-se a força do campo magnético. Finalmente, o tipo de metal do núcleo também influi na intensidade do campo do eletroímã.

Uma barra de ferro-doce é atraída por ambos os pólos de um ímã permanente e, da mesma forma, é atraída por uma bobina conduzindo corrente.

Conforme mostrado na figura 8-103, as linhas de força estendem-se através do ferro-doce, magnetizando-o por indução, puxando a barra de ferro na direção da bobina.

Se a barra estiver livre para se mover, ela será atraída para o interior da bobina, para

uma posição próxima do centro, onde o campo é mais forte.

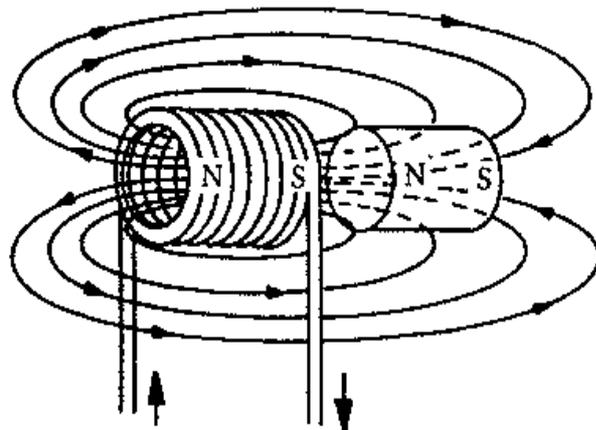


Figura 8-103 Solenóide com núcleo de ferro.

Eletroímãs são usados em instrumentos elétricos, motores, geradores, relés e outros dispositivos.

Alguns dispositivos eletromagnéticos funcionam sob o princípio de que um núcleo de ferro, conservado fora do centro de uma bobina será puxado imediatamente para a posição central, quando a bobina é energizada.

Este princípio é usado no solenóide, também conhecido como chave-solenóide ou relé, no qual o núcleo de ferro é mantido fora do centro por pressão de mola, e é atraído quando a bobina é energizada.

A aplicação de solenóide é mostrada na figura 8-104, onde aparece um relé solenóide. Quando o interruptor da cabine é ligado, o enrolamento puxa o núcleo (chave) para baixo, completando o circuito do motor.

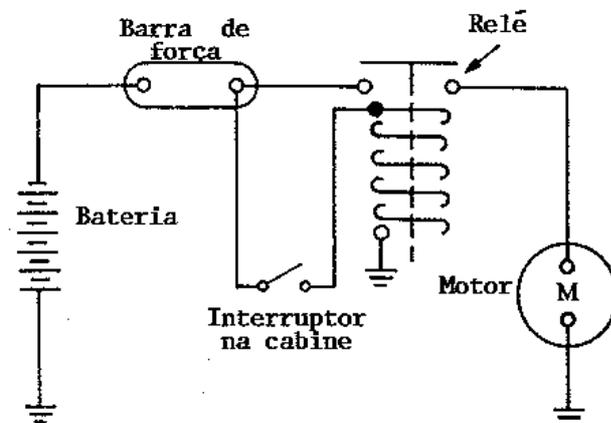


Figura 8-104 Uso de solenóide em um circuito.

Como o relé solenóide aciona um circuito de baixa corrente, elimina fiação de alta amperagem na cabine da aeronave.

O imã tipo "*solenoid-and-plunger*" em vários formatos é amplamente utilizado para abrir circuitos de segurança (*circuit breakers*) automaticamente, quando a carga da corrente se torna excessiva e opera válvulas "*magnetic-breakers*" e muitos outros dispositivos.

O eletroímã tipo armadura também tem ampla utilização. Para este tipo de imã, a bobina é enrolada sobre o núcleo de ferro e isolada deste, que não se move. Quando a corrente flui através da bobina, o núcleo de ferro se torna magnetizado e causa a atração da armadura de ferro articulada, localizada próxima do eletroímã.

Estes imãs são usados em campainhas, relés, "*circuit breakers*", aparelhos telefônicos e muitos outros dispositivos.

BATERIAS DE ACUMULADORES

Existem duas fontes de energia elétrica numa aeronave: (1) o gerador, que converte energia mecânica em energia elétrica, e (2) a bateria, que converte energia química em energia elétrica. Durante a operação normal do motor, a energia elétrica é obtida do gerador acoplado ao eixo do motor. A bateria de acumuladores é usada como fonte auxiliar, quando o gerador está inativo.

Quando os geradores estão operando em velocidade baixa, o suprimento de energia elétrica para a aeronave é mantido pela bateria, perdendo parte da energia nela estocada. Durante o voo, o gerador carrega a bateria por grande período de tempo, e reestabelece a energia química.

Chumbo-ácido e níquel-cádmio são tipos de baterias de acumuladores geralmente em uso.

BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

Essas baterias são usadas em aeronaves e são similares às de automóveis. As células ou elementos de uma bateria são conectados em série.

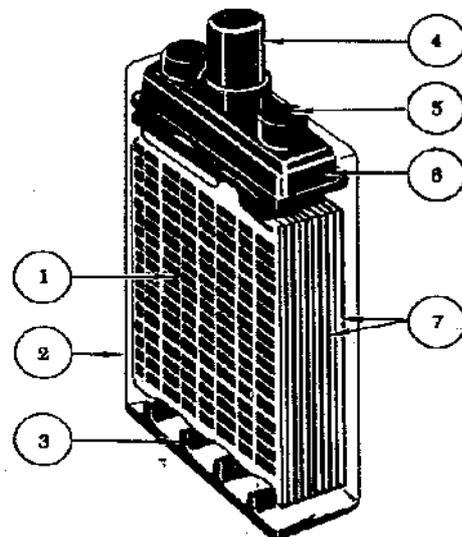
Cada célula possui placas positivas de peróxido de chumbo, placas negativas de chumbo esponjoso e o eletrólito (água e ácido sulfúrico).

Descarregando, a energia química estocada na bateria, transforma-se em energia elétrica; carregando a energia elétrica fornecida à bateria, é transformada em energia química e estocada. É possível recarregar uma bateria muitas vezes, antes dela se estragar definitivamente.

Constituição da célula de chumbo-ácido

Os componentes de uma típica célula de chumbo-ácido são mostrados na figura 8-105. Cada placa consiste de uma armação chamada grade, feita de chumbo e antimônio, no qual o material ativo (chumbo esponjoso ou peróxido de chumbo) é fixado.

As placas negativas e positivas (1) da figura 8-105 são montadas, de forma que cada placa positiva fique entre duas placas negativas. Assim, a última placa em cada célula é negativa. Entre as placas existem separadores porosos (7) que evitam o contato entre as placas negativas e positivas, que significaria curto-circuito na célula. Os separadores têm frisos verticais no lado, faceando a placa positiva. Esta construção permite que o eletrólito circule livremente em torno das placas. Adicionalmente, proporciona um caminho para que os sedimentos se acomodem no fundo da célula.



- | | |
|-------------------------|----------------|
| 1- Placas | 5- Terminal |
| 2- Caixa | 6- Cobertura |
| 3- Apoios | 7- Separadores |
| 4- Plugue de ventilação | |

Figura 8-105 Construção de uma célula chumbo-ácido.

Cada elemento (ou célula) é selado com um revestimento de borracha dura, com termi-

nais colocados na parte superior, e suspiros, também destinados a evitar derramamento do eletrólito (4).

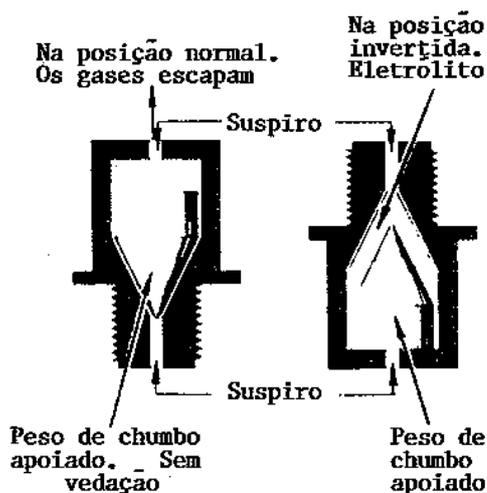


Figura 8-106 Plugue de ventilação a prova de vazamento.

O orifício proporciona acesso para teste da densidade do eletrólito e para que se adicione água, se necessário. O suspiro permite a exaustão dos gases com vazamento mínimo da solução, independentemente da posição que a aeronave possa assumir. Na figura 8-106 é mostrada a construção do suspiro.

Em vôo nivelado, o peso de chumbo permite ventilação dos gases através de um pequeno furo. Em vôo de dorso, este orifício é fechado pelo peso do chumbo.

As células individuais de uma bateria são conectadas em série por meio de hastes, conforme ilustrado na figura 8-107. O conjunto completo é embutido numa caixa resistente ao ácido, que serve como protetor elétrico e proteção mecânica.

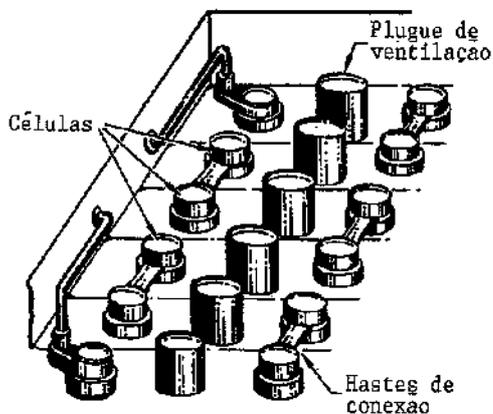


Figura 8-107 Conexão das células de uma bateria.

A caixa da bateria tem a parte superior removível; ela também possui um conector (nipple) ou tubo de ventilação em cada extremidade. Quando a bateria é instalada na aeronave, um tubo de ventilação é encaixado em cada "nipple".

Um tubo é de entrada, e exposto ao fluxo aerodinâmico. O outro é de exaustão, e é conectado ao reservatório de drenagem da bateria, que é uma jarra de vidro contendo uma mistura com alta concentração de bicarbonato de sódio.

Com este artifício, o fluxo de ar é dirigido para o alojamento da bateria, onde os gases são recolhidos no reservatório, e expelidos sem danos à aeronave. Para facilitar a instalação e remoção da bateria em algumas aeronaves é usado um conjunto de remoção rápida para fixar os terminais na bateria. Este conjunto, que é mostrado na figura 8-108, conecta os bornes da bateria, na aeronave, a um receptáculo montado ao lado da bateria.

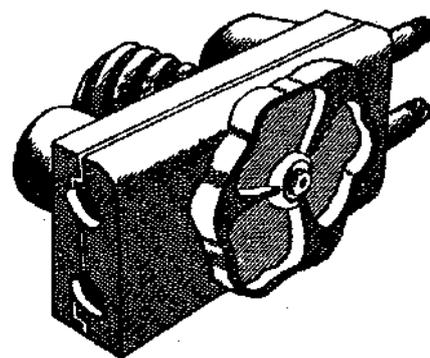


Figura 8-108 Conjunto de desconexão rápida da bateria.

O receptáculo cobre os terminais da bateria e previne curto acidental durante a instalação e remoção. O plugue, que consiste de um encaixe com volante manual roscado, pode ser prontamente conectado ao receptáculo pelo volante. Uma outra vantagem deste conjunto é que o plugue pode ser instalado apenas numa posição, impossibilitando inversão dos bornes da bateria.

Funcionamento das células de chumbo-ácido

A célula de chumbo-ácido contém placas positivas cobertas com peróxido de chumbo (PbO_2), placas negativas feitas de chumbo (Pb) e um eletrólito, composto de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água (H_2O).

Durante a descarga forma-se sulfato de chumbo (PbSO_4) em ambas as placas, positiva e negativa, diminui a quantidade de ácido do eletrólito, e a quantidade de água aumenta.

Como a descarga continua, a quantidade de sulfato de chumbo diminui sobre as placas, até que a cobertura se torne tão fina que o eletrólito enfraquecido não consiga mais atingir os materiais ativos (chumbo e peróxido de chumbo). Quando isto acontece, a reação química é retardada e a produção da célula é reduzida.

Na prática, a célula fica impedida de descarregar porque as finas coberturas de sulfato de chumbo são difíceis de remover no carregamento. Adicionalmente, a célula aproximando-se do estado de descarga total vai-se tornando imprestável porque a cobertura de sulfato diminui a corrente, a níveis tão baixos que inutilizam a célula.

Quando uma célula está sendo carregada, o sulfato de chumbo é removido de ambas as placas, positiva e negativa, e o ácido sulfúrico é novamente formado. Durante o processo diminui a quantidade de água, e aumenta a densidade do eletrólito.

A voltagem de uma célula sem carga é de 2,2 volts, aproximadamente. Essa voltagem é a mesma para qualquer célula, independente do tamanho, e mantém este valor até que ela esteja praticamente inativa, indiferentemente ao seu estado de descarga. Quando a célula estiver muito próxima de sua descarga total, sua voltagem, então, começa a declinar rapidamente.

A voltagem da célula com carga diminui gradualmente, conforme a célula vai sendo descarregada. Este decréscimo na voltagem é devido ao gradual aumento da resistência interna da célula, causado pela sulfatação das placas.

Ao final de uma descarga normal, a resistência interna de uma célula chumbo-ácido é duas vezes maior do que quando ela está completamente carregada.

A diferença entre a bateria, com ou sem carga, é devido à queda de voltagem no interior da célula.

Assim, a voltagem de descarga que a célula pode suprir em condições de circuito fechado (com carga), é igual a voltagem de circuito aberto (sem carga) menos a queda da RI na célula.

Para proporcionar alta descarga da corrente, e apresentar alta voltagem com carga, a bateria deve ter baixa resistência interna.

Classificação das baterias de chumbo-ácido

A voltagem de uma bateria é determinada pelo número de células conectadas em série. Embora a voltagem de uma célula chumbo-ácido logo que removida de um carregador seja de aproximadamente 2,2 volts, ela é considerada normalmente como 2 volts, porque logo cai para este valor.

Uma bateria de 12 volts consiste em 6 células de chumbo-ácido, ligadas em série, e uma de 24 volts, que logicamente terá o dobro de células.

A capacidade de armazenagem da bateria é referida em ampères-hora (ampères fornecidos pela bateria vezes a quantidade de tempo de fornecimento da corrente).

Esta classificação indica por quanto tempo a bateria pode ser usada a uma dada razão, antes de se tornar descarregada.

Teoricamente, uma bateria de 100 ampères-hora fornecerá 100 ampères durante 1 hora, 50 ampères por 2 horas ou 20 ampères por 5 horas.

Realmente, a saída em ampères-hora de uma bateria depende da razão em que ela estará descarregada.

Descargas violentas de corrente esquentam a bateria e diminuem sua eficiência e saída total em ampères-hora. Para baterias de aeronaves foi especificado o tempo de 5 horas para conservação da carga ou para que seja descarregada, o que é só uma base para sua especificação.

Nas condições reais de serviço, uma bateria pode descarregar-se em poucos minutos, ou pode manter sua carga durante sua vida útil, se devidamente carregada pelo gerador.

A capacidade em ampères-hora da bateria depende da área total da placa. Conectando-se baterias em paralelo, aumenta a sua capacidade de amperagem-hora. Conectando-se baterias em série, tem-se o aumento da voltagem total, mas a capacidade de amperagem permanece a mesma.

Em aeronaves multimotoras, onde mais de uma bateria é usada, as baterias são, usualmente, conectadas em paralelo.

A voltagem é a mesma de uma única bateria, mas a capacidade em ampère-hora é aumentada.

A capacidade total é a soma das especificações em ampère-hora para cada bateria.

Fatores agindo sobre a vida das baterias

Muitos fatores causam a deterioração de uma bateria e encurtam sua vida útil. Isto inclui sobrecarga que provoca excesso de sulfatação, e carga e descarga muito rápidas resultando em superaquecimento das placas e desprendimento do material ativo.

O acúmulo de material liberado, por sua vez, causa curto-circuito entre as placas, resultando em descarga interna. Uma bateria que permaneça com carga baixa, ou descarregada por longo período de tempo, pode ficar permanentemente danificada.

Métodos de teste para baterias de chumbo-ácido

A situação de carga de uma bateria de acumuladores depende das condições dos seus materiais ativos, basicamente das placas. Entretanto, a condição de carga da bateria é indicada pela densidade do eletrólito, que é verificada pelo uso de um densímetro.

O densímetro comumente usado consiste em um pequeno tubo de vidro mais pesado na extremidade inferior, que flutua em posição vertical dentro de uma seringa, como mostrado na figura 8-109. Dentro do tubo existe uma escala na faixa de 1.100 a 1.300.

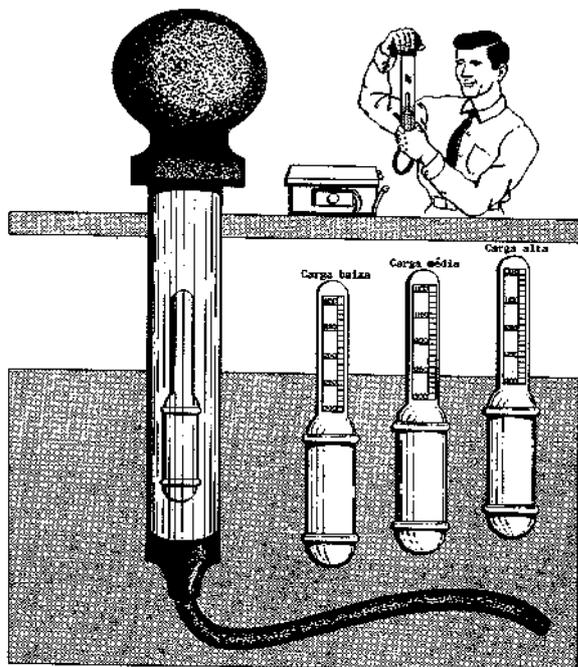


Figura 8-109 Densímetro (Leitura do peso específico).

Quando o densímetro está sendo usado, uma quantidade suficiente de eletrólito é sugada para o interior da seringa, e o tubo flutua indicando na escala a densidade de eletrólito. Quanto mais denso o eletrólito mais alto flutua o tubo, dentro da faixa indicada.

Numa bateria nova, totalmente carregada, o eletrólito é, aproximadamente, 30% de ácido e 70% de água (por volume), e é 1300 vezes mais pesado do que a água pura. Durante o processo de descarga, a solução (eletrólito) torna-se menos densa e seu peso específico entre 1.300 e 1.275 indica boa condição de carga; entre 1.275 e 1.240, condição média; entre 1.240 e 1.200, baixa condição de carga.

As baterias de aeronaves são, geralmente, de baixa capacidade, e sujeitas a grandes cargas. Os valores específicos para as condições de carga são ao contrário, altos.

Testes com densímetro são feitos periodicamente em todas as baterias de acumuladores instaladas em aeronaves. Uma bateria de aeronave com cerca de 50% da carga é considerada com necessidade imediata de recarga, devido a alta demanda de energia.

Quando testando uma bateria com densímetro, a temperatura do eletrólito deve ser considerada porque o peso específico varia com a mudança de temperatura.

Nenhuma correção é necessária quando a temperatura se encontra na faixa de 21°C a 32°C, porque a variação é considerada desprezível. Quando a temperatura estiver acima de 32°C ou abaixo de 21°C é necessário aplicar fator de correção. Alguns densímetros são equipados com escala de correção internamente. Outros densímetros implicam no uso de tabelas de correção fornecidas pelo fabricante.

O peso específico de uma célula só é confiável se, nada além de água destilada, tiver sido adicionado ao eletrólito para reposição de perda normal por evaporação.

As leituras do densímetro devem ser realizadas sempre antes da adição de água destilada, nunca depois. Isto decorre da possibilidade de a água adicionada não se encontrar ainda perfeitamente misturada com o eletrólito, causando assim leitura falsa.

É necessário extremo cuidado quando realizando o teste com densímetro em uma bateria ácida, porque o eletrólito (ácido sulfúrico) pode queimar roupas, e também a pele. No caso do contato da pele com a solução é necessário

lavar o local com bastante água, e aplicar bicarbonato de sódio.

Métodos de carga em baterias chumbo-ácido

Uma bateria de acumuladores pode ser recarregada pela aplicação de corrente contínua através da bateria, na direção oposta a de descarga da corrente. A voltagem usada precisa ser superior a da bateria sem carga, por causa de sua resistência interna. Por exemplo, no caso de uma bateria de 12 elementos (células), completamente carregada, com aproximadamente 26.4 volts (12×2.2 volts), são necessários 28 volts para carregá-la.

Esta voltagem maior é necessária por causa da queda de voltagem interna provocada pela resistência interna da bateria. Daí a voltagem de carga para uma bateria chumbo-ácido ter que ser igual a sua voltagem sem carga mais a queda de RI no interior da bateria (produto da corrente de carga e da resistência interna).

tante, regulada, força a corrente através da bateria. Nesse método a corrente inicial do processo é alta, mas diminui automaticamente 1 ampère, quando a bateria está completamente carregada. O método de voltagem constante requer menos tempo e supervisão do que o método de corrente constante.

No método de corrente-constante (letra B da figura 8-110), a corrente se mantém quase constante durante o processo completo de recarga.

Esse método exige um tempo maior para carregar completamente a bateria, e necessita de acompanhamento para evitar sobrecarga, à medida que o processo avança para o final.

Na aeronave, a bateria de acumuladores é carregada por corrente contínua do sistema do gerador. Esse método corresponde ao de voltagem-constante, já que a voltagem de gerador é mantida constante pelo regulador de voltagem.

Quando uma bateria está sendo carregada, é produzida uma certa quantidade de hidrogênio e oxigênio. Como se trata de uma combinação de gases explosiva é importante adotar medidas de prevenção contra ignição desta mistura.

As tampas de ventilação devem ser afrouxadas e conservadas no lugar; evitar chamas, centelhas e outros pontos de ignição nas proximidades. Antes de se conectar e desconectar uma bateria, em carga, desliga-se sempre a energia, por meio de uma chave remota.

BATERIAS DE NÍQUEL-CÁDMIO

As baterias de níquel-cádmio existem já há bastante tempo, passando a ser amplamente usadas com o crescimento da aviação comercial e executiva à jato.

As vantagens desse tipo de bateria eram bem conhecidas, porém seu custo inicial era elevado em relação à bateria chumbo-ácido.

O aumento no uso de baterias de níquel-cádmio (frequentemente chamadas de "ni-cad") evoluiu a partir de reconhecimento de seu longo tempo de vida, e também seu baixo custo de manutenção.

Adicionalmente, esse tipo de bateria requer pequeno tempo de recarga, é de excelente confiabilidade e boa capacidade de partida.

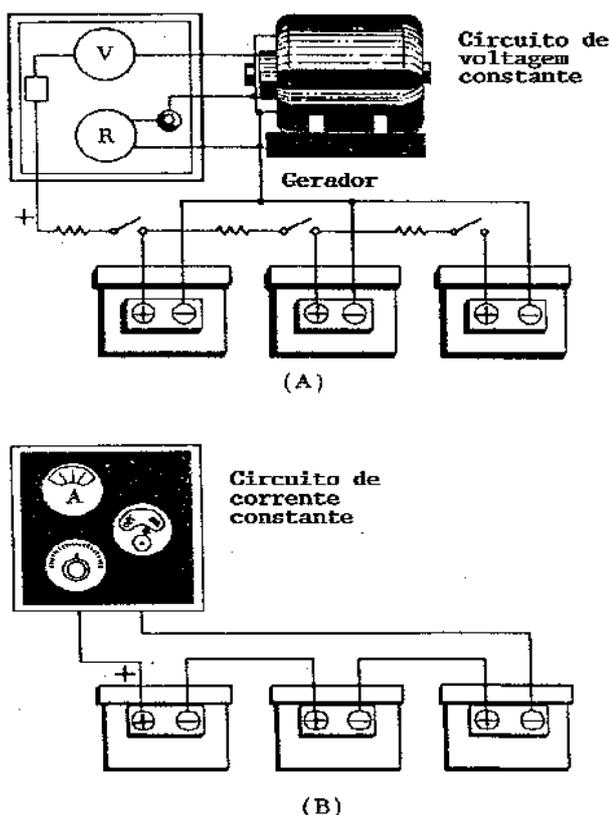


Figura 8-110 Métodos de carregamento de baterias

As baterias são carregadas tanto pelo método de corrente-constante quanto pelo de voltagem-constante (letra A da figura 8-110), um moto-gerador ajustado com voltagem cons-

Constituição da célula de níquel-cádmio

Conforme as de tipo chumbo-ácido, a célula é o elemento básico da bateria de níquel-cádmio. A célula consiste em placas positivas e negativas, separadores, eletrólito, suspiros e reservatório ("container").

As placas positivas são feitas de uma chapa porosa, sobre a qual é depositado hidróxido de níquel. As placas negativas são feitas de chapas semelhantes, sobre a qual é depositado hidróxido de cádmio.

Em ambos os casos a chapa porosa é obtida pela fusão de pequenos grãos de níquel, formando uma fina malha (tela).

Após se depositar os materiais ativos e positivos sobre as placas, elas são cortadas no tamanho adequado. Uma barra de níquel é então soldada no canto de cada placa, que passa a formar um conjunto com as barras soldadas em terminais apropriados. As placas são separadas uma das outras por uma faixa contínua de plástico poroso.

O eletrólito usado nas baterias de níquel-cádmio é uma solução de 30% de hidróxido de potássio (KOH) em água destilada. O peso específico do eletrólito situa-se entre 1.240 e 1.300 à temperatura ambiente. Nenhuma mudança considerável ocorre no eletrólito durante a descarga. Daí não ser possível determinar as condições de carga da bateria pelo teste de peso específico do eletrólito. O nível de eletrólito deve ser mantido logo acima da parte superior das placas.

Funcionamento da célula de níquel-cádmio

Quando uma corrente de carga é aplicada a uma bateria de níquel-cádmio, as placas negativas perdem oxigênio e começam a formação de cádmio metálico.

O material ativo das placas positivas se torna mais altamente oxidados. Esse processo persiste enquanto a corrente de carga é aplicada, ou até que todo o oxigênio seja removido da placa negativa, e somente o cádmio permaneça.

Próximo do final do ciclo de carga as células emitem gás. Isto também ocorrerá se a célula estiver com sobrecarga. Esse gás surge da decomposição da água do eletrólito, em hidrogênio nas placas negativas e oxigênio nas placas positivas.

A voltagem, e também a temperatura, determinam quando ocorrerá a emissão de gás. Um pouco da água será consumida, por menor que seja a emissão de gás, até que a bateria esteja completamente carregada. A ação química é revertida durante a descarga.

As placas positivas lentamente liberam oxigênio, que é reabsorvido pelas placas negativas. Esse processo resulta na conversão de energia química em energia elétrica.

Durante a descarga as placas absorvem certa quantidade de eletrólito. Durante a recarga o nível do eletrólito aumenta, e quando completamente recarregada, o eletrólito estará no seu mais alto nível. Por conseguinte, só se deve adicionar água quando a bateria estiver totalmente carregada.

Baterias de níquel-cádmio e chumbo-ácido são normalmente intercambiáveis. Quando substituindo uma bateria ácida por níquel-cádmio, o compartimento da bateria deve ser limpo e enxugado, e precisa estar livre de qualquer resíduo de ácido da antiga bateria. O compartimento deve ser lavado e neutralizado com amônia ou solução de ácido bórico, e após completamente seco, ser pintado com um verniz resistente aos álcalis.

Manutenção de baterias de níquel-cádmio

Existem diferenças significantes nos cuidados requeridos pelas baterias de níquel-cádmio em relação à baterias ácidas. Os pontos mais importantes a serem observados são os seguintes:

- (1) É necessário prover área separada para estocagem e manutenção das baterias níquel-cádmio, porque seu eletrólito é quimicamente incompatível com o ácido sulfúrico usado nas baterias ácidas, cujas emanações podem contaminar o eletrólito da bateria de níquel-cádmio. Esta precaução deve incluir os equipamentos, como ferramentas e seringas. Com efeito, toda e qualquer precaução deve ser adotada para afastar qualquer conteúdo ácido do local onde se lida com baterias de níquel-cádmio.
- (2) O eletrólito (hidróxido de potássio) utilizado nas baterias de níquel-cádmio é extremamente corrosivo. Para manipular e trabalhar em baterias é necessário usar óculos de proteção, luvas e avental de borracha. Adequados meios de lavagem são necessários para o

caso de o eletrólito atingir à pele ou roupas. Tal exposição requer imediato enxaguamento com água ou vinagre, suco de limão ou solução de ácido bórico. Quando o hidróxido de potássio e a água estiverem sendo misturados, o hidróxido deve ser adicionado lentamente à água e nunca vice-versa.

- (3) Violento centelhamento pode ocorrer, se for usada escova de cerdas metálicas para limpeza da bateria. Os plugues de ventilação devem ser mantidos fechados durante o processo de limpeza, e jamais devem ser usadas substâncias como ácidos, solventes ou soluções químicas. Eletrólito borrifado pode reagir com dióxido de carbono, formando cristais de carbonato de potássio. Estes, que não são tóxicos nem corrosivos, podem ser removidos com uma escova de fibra e um pano úmido. Quando o carbonato de potássio se forma sobre uma bateria, pode indicar que esteja sobrecarregada porque o regulador está desajustado.
- (4) Nunca adicionar água à bateria antes de três ou quatro horas após estar completamente carregada. Caso necessário, usar apenas água destilada ou desmineralizada.
- (5) Como o eletrólito não reage quimicamente com as placas, o peso específico do eletrólito não muda consideravelmente. Assim, não é possível determinar o estado de carga da bateria com o densímetro; também não pode ser determinado por teste de voltagem, porque a voltagem permanece constante durante 90% do ciclo de descarga.

(6) As baterias de níquel-cádmio devem ser verificadas a intervalos regulares baseados na experiência, já que o consumo de água varia com a temperatura ambiente e condições de operação. A intervalos maiores, a bateria deve ser removida da aeronave para teste de bancada. Se estiver completamente descarregada, algumas células podem atingir potencial zero e carga invertida, afetando a bateria de tal modo que ela não mantenha a total capacidade de carga, ela deve ser descarregada e cada célula colocada em curto-circuito, a fim de obter balanceamento de zero potencial, antes de recarregar a bateria. Esse processo é chamado de "equalização".

(7) A carga pode ser realizada tanto pelo método da corrente-constante quanto voltagem-constante. Para carga potencial constante, manter a voltagem de carga constante até que a corrente de carga diminua para 3 ampères ou menos, assegurando-se de que a temperatura da célula não ultrapasse de 37,7°C. Para carga com corrente constante, começar e continuar até que a voltagem atinja o potencial desejado, então, reduzir o nível de corrente até 4 ampères, continuando a carga até sua voltagem necessária ou até que a bateria atinja a temperatura de 37,7°C, e a voltagem comece a declinar.

A tabela de pesquisa de panes ("*troubleshooting*") delineada na figura 8-111 pode ser usada como guia na pesquisa de panes de baterias.

OBSERVAÇÃO	CAUSA PROVÁVEL	AÇÃO CORRETA
Carga contínua elevada - Carregando na voltagem-constante de 28,5 ($\pm 0,1$) volts, a corrente não cai abaixo de 1 ampère após carga de 30 minutos.	Células defeituosas.	Ainda durante a carga, teste as células. As que estiverem abaixo de 0,5 volts estão defeituosas e deverão ser substituídas.
Carga contínua elevada após a substituição das células defeituosas, ou a bateria não apresenta capacidade em ampère-hora.	Desequilíbrio das células.	Descarregue a bateria e curto-circuite (<i>short out</i>) as células individualmente durante oito horas. Carregue a bateria usando o método da corrente-constante. Verifique a capacidade e, se OK, recarregue no método corrente-constante.
Bateria com baixa capacidade.	Células desequilibradas ou defeituosas.	Repita o teste de capacidade e carregue pelo método de corrente-constante, no máximo três vezes. Se a capacidade

		não se apresentar, substitua as células defeituosas.
Voltagem nula.	Falha total da bateria.	Verifique os terminais e todas as conexões elétricas. Verifique se há células secas. Verifique quanto a carga contínua elevada.
Precipitação excessiva de cristais brancos nas células (sempre haverá algum carbonato de potássio devido aos gases normais).	Derrame excessivo.	Bateria submetida a alta corrente de carga, alta temperatura ou nível elevado do líquido. Limpe a bateria, carregue pelo método de corrente-constante e verifique o nível do líquido. Verifique a operação do carregador.
Empeno do invólucro da célula.	Sobrecarga ou alta temperatura.	Substitua a célula.
Material estranho nas células - partículas pretas ou cinzentas.	Água impura, alta temperatura, alta concentração de KOH ou nível de água impróprio.	Ajuste a densidade e o nível do eletrólito. Verifique se há desequilíbrio de célula, ou substitua a célula defeituosa.
Corrosão excessiva das ferragens.	Folheado defeituoso ou danificado.	Substitua as peças.
Marcas de aquecimento ou cor azul nas ferragens.	Conexões frouxas ocasionando superaquecimento dos conectores ou ferragens entre as células.	Limpe as ferragens e aperte devidamente os conectores.
Consumo excessivo de água. Célula seca.	Desequilíbrio da célula.	Siga as mesmas instruções para "desequilíbrios das células" acima.

Figura 8-111 Pesquisa de panes de baterias de níquel-cádmio.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E CONTROLE DE CIRCUITOS

A eletricidade, enquanto controlada apropriadamente, é de vital importância para a operação das aeronaves. Quando mal controlada, ela pode se tornar perigosa e destrutiva. Pode destruir componentes e até a própria aeronave. Pode causar danos pessoais, e até mesmo a morte.

É pois, da maior importância, que todas as precauções necessárias sejam adotadas para proteger os circuitos elétricos e as unidades na aeronave, e conservar esta energia sob controle adequado durante todo o tempo.

Dispositivos de proteção

Quando a aeronave é construída, é tomado o maior cuidado para garantir que cada circuito elétrico seja completamente isolado dos outros. Uma vez que a aeronave é colocada em serviço, muitas coisas, se ocorressem, causariam

alterações nos circuitos originais. Algumas dessas mudanças podem significar sérios problemas, caso não sejam detectadas e corrigidas em tempo.

Talvez o problema mais sério num circuito seja "o curto direto". O termo descreve uma situação em que algum ponto no circuito, onde a voltagem total de um sistema esteja presente, venha a contatar diretamente a massa ou o lado de retorno do circuito, significando um caminho sem a devida resistência.

De acordo com a Lei de Ohm, se a resistência num circuito é pequena, a corrente será grande. Quando um curto direto ocorre, há excessiva corrente fluindo através da fiação.

Suponha-se que os cabos de uma bateria para um motor entrem em contato entre si, não somente o motor pararia de girar, porque a corrente estaria seguindo pelo "curto", mas iria se descarregar rapidamente; e haveria perigo de fogo.

Os cabos da bateria, neste exemplo, seriam fios muito grossos, capazes de suportar uma

corrente muito alta. A maioria dos fios utilizados em circuitos elétricos de aeronaves são consideravelmente mais finos, e sua capacidade de conduzir corrente é bastante limitada.

A espessura do fio utilizado em determinado circuito é estabelecida pela quantidade de corrente que se espera fluir sob condições normais de funcionamento.

Qualquer fluxo de corrente excessivo, como no caso de curto direto, causaria uma rápida geração de calor.

Se o excessivo fluxo de corrente causado por um curto for desprezado, o calor continuará aumentando até ocorrer uma ruptura. É possível que apenas o fio derreta sem causar maiores danos, entretanto existe a possibilidade de resultar em danos maiores.

O aquecimento nos fios pode torrar ou queimar sua isolação e outros fios próximos, ocasionando mais curtos. Na presença de vazamentos de óleo ou combustível, pode ocorrer incêndio.

Para proteger os sistemas elétricos de aeronaves de danos ou falhas, causados por corrente excessiva, vários tipos de dispositivos de proteção são instalados nos sistemas. Fusíveis ("*circuit-breakers*") e protetores térmicos são utilizados para estes propósitos.

Dispositivos de proteção de circuito, conforme implícito no nome, têm um propósito comum - proteger as unidades e facção no circuito. Alguns são destinados, primariamente, para proteger a fiação e abrir o circuito, interrompendo o fluxo de corrente, no caso de sobrecarga. Outros são destinados a proteger a unidade no circuito, interrompendo o fluxo de entrada na unidade, quando esta apresenta-se excessivamente aquecida.

Fusíveis

Um fusível é uma tira de metal que fundirá sob excessivo fluxo de corrente, já que seu limite de condução é cuidadosamente pré-determinado.

O fusível é instalado no circuito de forma que toda a corrente flua através dele. Em sua maioria, eles são feitos de uma liga de estanho e bismuto.

Existem outros, que são chamados de limitadores de corrente; estes são usados primariamente para seccionar um circuito de aeronave.

Um fusível funde-se e interrompe o circuito quando a corrente excede a capacidade proporcionada por ele, mas um limitador de corrente suportará uma considerável sobrecarga, por um certo período de tempo.

Como o fusível é destinado a proteger o circuito, é de suma importância que sua capacidade venha a coincidir com as necessidades do circuito em que seja usado.

Quando um fusível é substituído é preciso consultar instruções aplicáveis do fabricante para certificar-se quanto ao tipo correto de capacidade.

Os fusíveis são instalados em dois tipos de suportes na aeronave: "*Plug-in holders*", usados para fusíveis pequenos e de baixa capacidade; "*Clip*" é o tipo usado para fusíveis de grande capacidade e limitadores de corrente.

Quebra-circuitos (*Circuit breakers*)

Um quebra-circuito ("*circuit breakers*") é destinado a interromper o circuito e o fluxo de corrente quando a amperagem exceder um valor pré-determinado. É comumente usado no lugar de um fusível e pode, às vezes, eliminar a necessidade de um interruptor.

Um quebra-circuito difere de um fusível no fato de interromper rápido o circuito e poder ser religado, enquanto que um fusível funde e precisa ser substituído.

Existem vários tipos de quebra-circuitos, em geral, utilizáveis em sistemas de aeronaves. Um é o tipo magnético. Quando flui excessiva corrente, produz-se força eletromagnética suficiente para movimentar uma pequena armadura que dispara o "*breaker*".

Um outro tipo é a chave de sobrecarga térmica, que consiste de uma lâmina bimetálica, que, quando sofre sobrecarga de corrente se curva sobre a alavanca da chave provocando sua abertura. A maior parte dos quebra-circuitos devem ser religados com a mão. Quando é religado, se as condições de sobrecarga ainda existirem, ele desligar-se-á novamente, prevenindo danos ao circuito.

Protetores térmicos

Um protetor térmico, ou chave, é usado para proteger um motor. É destinado para abrir o circuito automaticamente, sempre que a temperatura do motor tornar-se excessivamente alta.

Há duas posições: aberto e fechado. O uso mais comum para uma chave térmica é impedir um superaquecimento do motor. Se algum defeito de um motor causar superaquecimento, a chave térmica interromperá o circuito intermitentemente.

Uma chave térmica contém um disco bimetálico, ou lâmina, que se curva e corta o circuito quando ele aquece. Isto ocorre porque um dos metais se dilata mais do que o outro, quando submetidos à mesma temperatura. Quando a lâmina ou disco esfria, os metais se contraem, retornando à posição original e fechando o circuito.

Dispositivos de controle

As unidades nos circuitos elétricos de uma aeronave não são todas destinadas a operar contínua ou automaticamente. A maioria delas é concebida para operar durante certas ocasiões, sob certas condições, para executar funções bastante definidas.

Existem muitas maneiras de controlar tais operações ou funcionamento. Tanto uma chave ou um relé, ou ambos, podem ser incluídos no circuito, com este propósito.

CHAVES OU INTERRUPTORES

As chaves controlam o fluxo de corrente na maioria dos circuitos elétricos de aeronaves. Uma chave é usada para ligar, desligar ou mudar o fluxo de corrente num circuito. A chave em cada circuito deve ser capaz de suportar a corrente normal, e tem que ter a isolação adequada para a voltagem do circuito.

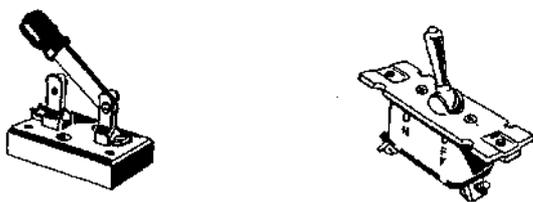


Figura 8-112 Chaves de um pólo, para circuito simples, do tipo faca e do tipo "toggle".

Chaves-facas são raramente usadas em aeronaves. Elas servem, aqui, de referência para melhor compreensão do funcionamento das chaves "toggle", que funcionam à semelhança das chaves-facas, mas suas partes móveis são

embutidas. São mais utilizadas em aeronaves do que qualquer outro tipo de chave.

Chaves "toggle", bem como alguns outros tipos, são designadas pelo número de pólos, cursos e posições que tenham. Um desses pólos está no braço móvel ou *contactor*.

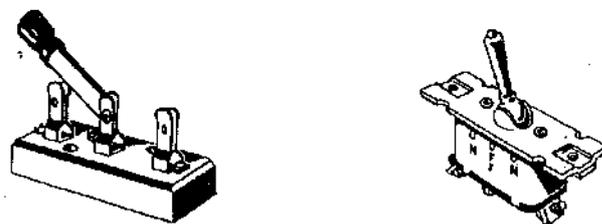


Figura 8-113 Chaves de um pólo, para dois circuitos, do tipo faca e do tipo "toggle".



Figura 8-114 Chaves bipolares para circuito simples, do tipo faca e do tipo "toggle".

O número de pólos é igual ao número de circuitos, ou caminhos para a corrente através dos contatos da chave.

O número de posições é o número de lugares ou contatos de descanso, que fecham ou abrem um ou mais circuitos.

Uma chave bipolar que pode completar dois circuitos, um por vez em cada pólo, é uma chave bipolar de duas posições. Ambas, uma faca e outra "toggle", estão ilustradas com esta característica na figura 8-115.

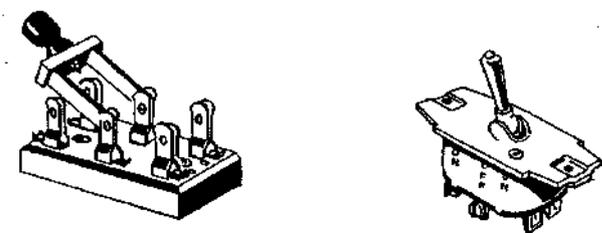


Figura 8-115 Chaves bipolares de duas posições, do tipo faca e do tipo "toggle".

As representações esquemáticas para as chaves mais comumente usadas são mostradas na figura 8-116.

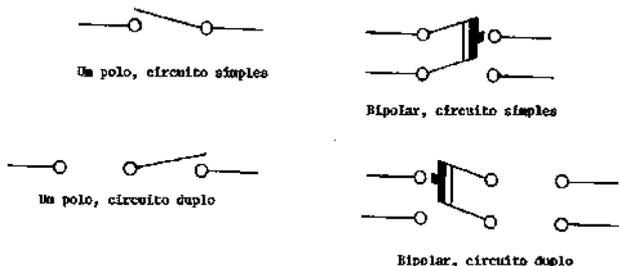


Figura 8-116 Representação esquemática de chaves ou interruptores típicos.

Uma chave "toggle" que se mantém na posição "OFF" (desligada) por ação de mola, e precisa ser segurada na posição "ON" (ligada) é uma chave de contato momentâneo de duas posições.

Uma que venha a ficar em repouso em qualquer das duas posições, abrindo o circuito de um lado e fechando do outro, é uma chave de duas posições.

Uma chave "toggle", que venha a ficar em repouso em qualquer das três posições, é uma chave de três posições.

Há chaves que permanecem abertas, exceto quando pressionadas na posição fechada. Outras que permanecem fechadas, exceto quando pressionadas na posição aberta. Ambos os tipos funcionam por pressão de mola, e retornam à posição normal imediatamente após serem liberadas.

Chaves "push-button"

São chaves que tem um contato estacionário e um contato móvel, que é fixado no botão de apertar.

O "push-button" é em si mesmo um isolador ou é isolado do contato.

Esta chave é à pressão de mola, e destinada a contatos momentâneos.

Microinterruptores ("microswitches")

Um microinterruptor fechará ou abrirá um circuito com um movimento muito pequeno do dispositivo de acionamento (1/16" ou menos). Isto é o que dá o nome a este tipo de chave, já que micro significa pequeno.

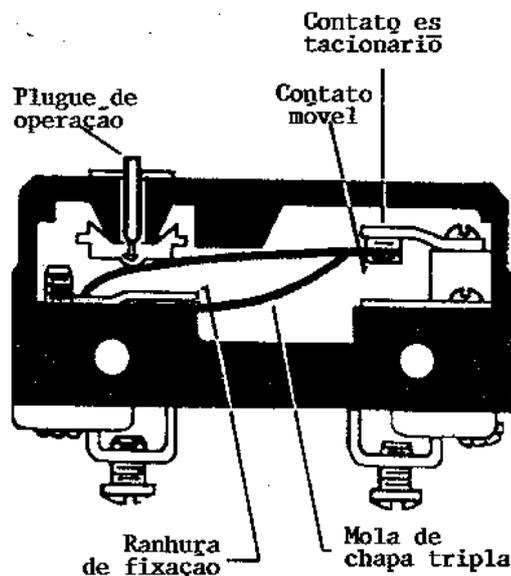


Figura 8-117 Vista em corte de um microinterruptor.

Microinterruptores são normalmente chaves "push-button". Eles são usados principalmente como chaves de controle para prover acionamento automático de trens de pouso, motores-atuadores e similares.

O diagrama na figura 8-117 mostra um microswitch em seção transversal fechado, e ilustra como opera. Quando o pistão de acionamento é pressionado, a mola e o contato móvel são empurrados, abrindo os contatos e o circuito.

Chaves de seleção giratória

Uma chave de seleção giratória substitui várias chaves. Conforme mostrado na figura 8-118, quando o botão de uma chave é girado, ela abre um circuito e fecha outro. Chaves de ignição e de seleção de voltímetros são exemplos típicos desse tipo de chave.

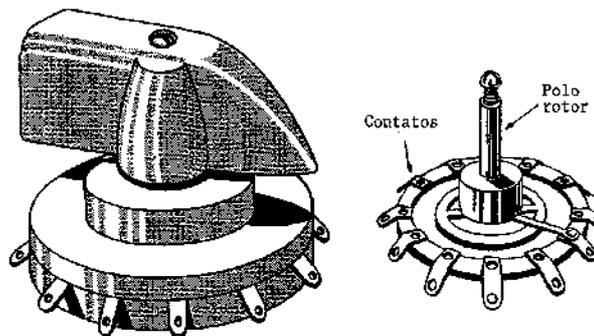


Figura 8-118 Chave de seleção giratória.

Relés

Relés ou chaves-relés são usadas para controle remoto de circuitos de grande amperagem.

Um relé é conectado no circuito entre a unidade controlada e a fonte de força mais próxima (ou barra condutora de força), de forma que os cabos conduzindo grande corrente sejam tão curtos quanto possível.

Uma chave-relé consiste de uma bobina, ou solenóide, um núcleo de ferro, um contato fixo e outro móvel. Um pequeno fio conecta um dos terminais da bobina (que é isolado do alojamento) à fonte de força, através de uma chave de controle, normalmente localizada na cabine.

O outro terminal da bobina é normalmente aterrado no alojamento. Quando a chave de controle é fechada, um campo eletromagnético é formado em torno da bobina.

Num certo tipo de chave-relé, um núcleo de ferro é fixado firmemente no lugar, dentro da bobina.

Quando a chave de controle é fechada, o núcleo é magnetizado e puxa a armadura de ferro-doce para si, fechando os contatos principais. Os contatos são mantidos abertos por ação de mola, como mostrado na figura 8-119.

Quando a chave de controle é desligada, o campo magnético desaparece e a mola abre os contatos.

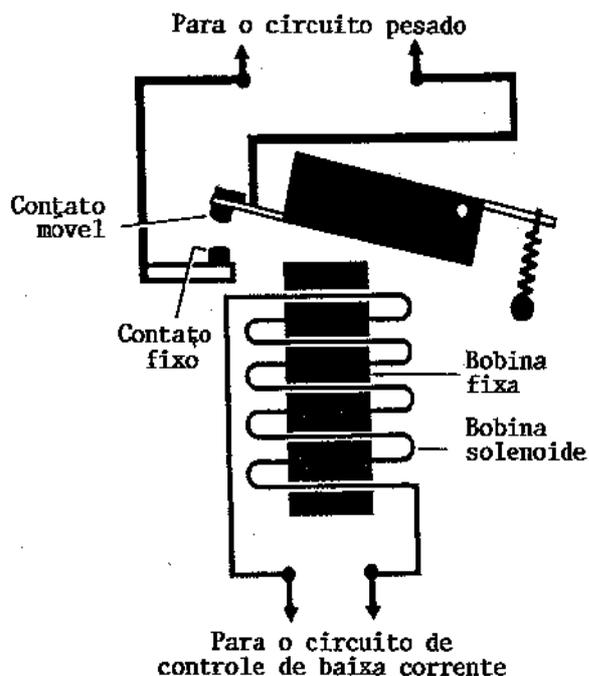


Figura 8-119 Relé de bobina fixa.

Em outro tipo de chave-relé, parte do núcleo é móvel. Uma mola mantém a parte móvel a pequena distância, externamente da parte fixa, conforme ilustrado na figura 8-120.

Quando a bobina é energizada, o campo magnético atrai a parte móvel do núcleo para o seu interior, vencendo a tensão da mola.

Como o núcleo se move para dentro, ele carrega os contatos móveis, que são fixados, mas isolados dele contra os contatos estacionários. Isto completa o circuito principal.

Quando a chave de controle é desligada, o campo magnético cessa, e a mola retorna o núcleo móvel para sua posição original, abrindo os contatos principais.

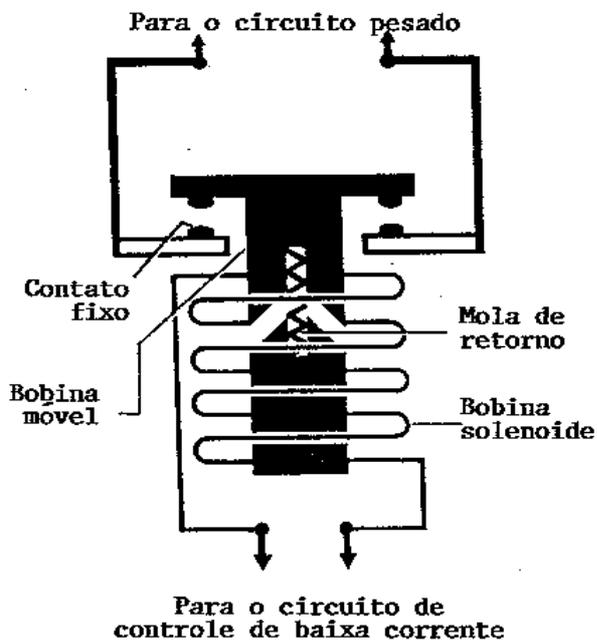


Figura 8-120 Relé de bobina móvel.

Os relés variam nos detalhes de construção de acordo com o uso a que se destinam. Quando selecionamos um relé a ser instalado num circuito, devemos nos certificar de que seja adequado para o fim a que se destina.

Alguns relés são feitos para operar continuamente enquanto outros são destinados a operar só intermitentemente.

A chave-relé de partida é feita para operar intermitentemente, e poderia superaquecer se usada continuamente.

A chave relé da bateria pode ser operada continuamente, porque sua bobina tem uma resistência razoavelmente alta, prevenindo o superaquecimento.

Num circuito conduzindo grande corrente, quanto mais rápido o circuito é aberto, menor será o centelhamento no relé, e os contatos queimarão menos.

Os relés, usados em circuitos com grandes motores, têm fortes molas de retorno para abrir o circuito rapidamente.

A maior parte dos relés usados nos circuitos de corrente alternada de uma aeronave é energizada por corrente contínua. Estes dispositivos serão abordados, como necessário, em outros tópicos a respeito dos dispositivos de corrente alternada.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE C.C.

Compreender o objetivo funcional e o funcionamento dos instrumentos de medição elétrica é muito importante, eles são utilizados em reparos, manutenção e pesquisa de panes (troubleshooting) de circuitos elétricos.

Embora alguns medidores possam ser usados concomitantemente para medição de circuito de C.C. e C.A., apenas os usados para C.C. serão abordados nesta seção.

Os outros serão discutidos adiante, oportunamente.

Efeitos da corrente

Os efeitos da corrente podem ser classificados como a seguir: químico, psicológico, fotoelétrico, piezoelétrico, térmico e eletromagnético.

Químico

Quando uma corrente elétrica atravessa certas soluções, ocorre uma reação, formando um depósito sobre um eletrodo.

A quantidade desse depósito é proporcional a intensidade da corrente. Industrialmente, este processo é útil em eletrodeposição e eletrólise.

Embora o efeito químico seja proveitoso pela definição do padrão de amperagem (a intensidade da corrente causa a deposição de 0,001118 gramas de prata, em um segundo, de uma solução 15% de nitrato de prata), ela não é considerável no uso de medidores.

Fisiológico

O efeito fisiológico da corrente refere-se à reação do corpo humano a uma corrente elétrica. Um choque elétrico, embora doloroso às vezes, é muito difícil de avaliar quantitativamente e, por conseguinte, sem uso prático para uso de medidores.

Fotoelétrico

Quando elétrons golpeiam certos materiais uma incandescência aparece no ponto de contato.

O tubo de imagem de uma TV e o "scope" de um equipamento de radar ilustram este efeito.

Usar a intensidade da luz, produzida como um meio de medir a intensidade da corrente, não é preciso nem prático.

Piezoelétrico

Certos cristais como quartzo e sal de Rochelle ficam deformados quando é aplicada uma voltagem através de duas de suas faces.

Este efeito não é visível pelo olho humano, é pois, impraticável quanto ao uso de medidores.

Térmico

Quando flui corrente através de um resistor, produz-se calor. A quantidade de calor produzida é igual a I^2R .

Esta relação estabelece que o calor varia de acordo com o quadrado da corrente. São comuns os medidores que empregam o efeito térmico no seu funcionamento.

Eletromagnético

Sempre que os elétrons fluem através de um condutor é criado um campo magnético proporcional à corrente. Este efeito é útil para medir corrente e empregado em muitos medidores práticos.

Os quatro primeiros efeitos abordados, aqui, não têm importância prática para os medidores elétricos. Os dois últimos efeitos, térmico e magnético, são de uso prático em medidores.

Como a maioria dos medidores em uso tem movimentos D'Arsonval, operando devido

ao efeito magnético, somente este tipo será discutido em detalhes.

Medidor d'Arsonval

O mecanismo básico de um medidor de C.C. é conhecido como D'Arsonval porque foi empregado pela primeira vez pelo cientista francês, D'Arsonval, para fazer medição elétrica. Este tipo de mecanismo é um dispositivo medidor de corrente, que é empregado em amperímetros, voltímetros e ohmímetros.

Basicamente, ambos, amperímetro e voltímetro são instrumentos medidores de corrente. A principal diferença é a maneira pela qual cada um é conectado no circuito.

O ohmímetro, que é basicamente um medidor de corrente, difere dos outros dois (voltímetro e amperímetro), porque contém a sua própria fonte de força e outros circuitos auxiliares.

Amperímetro

O amperímetro D'Arsonval é um instrumento destinado à medição da corrente contínua fluindo num circuito, e consiste das seguintes partes: um ímã permanente, um elemento móvel, mancal e um estojo que inclui terminais, um mostrador e parafusos.

Cada parte e suas funções serão abordadas a seguir.

O ímã permanente fornece o campo magnético, que reagirá, provocado pelo elemento móvel.

O elemento móvel é montado de tal forma, que fica livre para girar quando energizado pela corrente que irá medir, através de um ponteiro que se movimenta sobre uma escala calibrada, e é fixado no elemento móvel.

Um mecanismo de bobina móvel é mostrado na figura 8-121.

O elemento de controle é uma mola, ou molas, cuja função principal é manter uma posição inicial do ponteiro, e retorná-lo à posição de descanso.

Em geral, duas molas são usadas; elas são enroladas em direções opostas para compensar a expansão e contração do material, devido à variação de temperatura.

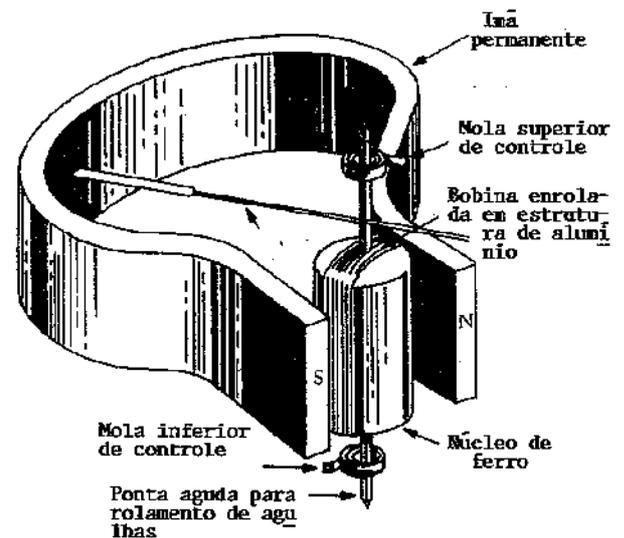


Figura 8-121 Elemento de bobina móvel com ponteiro e molas.

As molas são feitas de material não-magnético e conduzem corrente para a bobina móvel em alguns medidores.

O elemento móvel consiste de um eixo para conduzir a bobina móvel ou outro elemento móvel (figura 8-121).

Os pivôs pontiagudos são montados em contato com rubis polidos, ou mancais de vidro muito claro, para que o elemento móvel possa girar com pouca fricção.

Um outro tipo de montante foi concebido, em que as pontas de pivô são invertidas e os mancais ficam dentro do conjunto da bobina móvel, conforme mostrado na figura 8-122.

Os mancais são pedras preciosas altamente polidas, tais como safiras ou pedras sintéticas, ou ainda, vidro muito rígido.

Tais pedras são normalmente arredondadas e têm uma cavidade cônica, na qual os pivôs giram.

São ajustadas em porcas roscadas que permitem regulagem. Isto limita a área de contato das superfícies e proporciona um mancal que, quando operando seco, certamente tem menor fricção constante do que qualquer outro tipo conhecido.

O estojo protege os movimentos do instrumento, bem como contra danos e exposição. Também tem visor para observação do ponteiro sobre a escala.

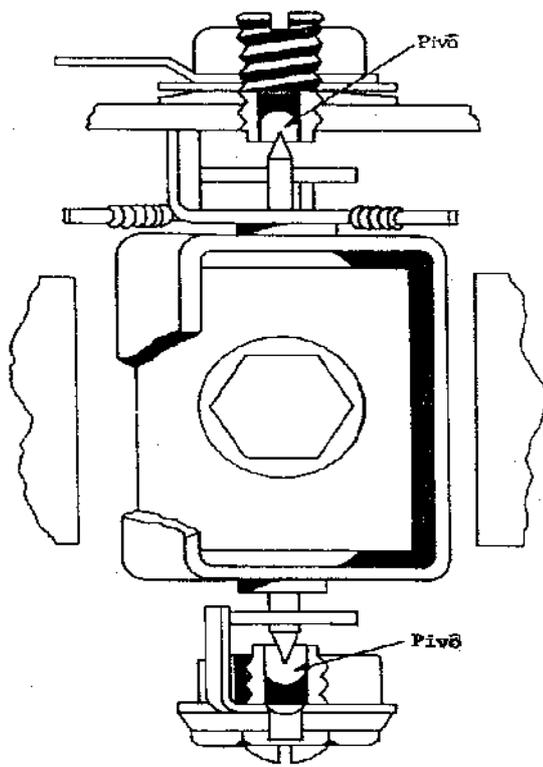


Figura 8-122 Método de montagem dos elementos móveis.

O mostrador tem impressas as informações, como: escala, unidades de medida e modos de uso. Os terminais são feitos de material com pequeníssima resistência elétrica. Sua função é conduzir a corrente necessária através de um medidor ou daquilo que será medido.

Funcionamento da indicação do medidor

As unidades maiores são montadas conforme mostrado na figura 8-123. É observado que a parte da bobina do elemento móvel está no campo magnético do ímã permanente.

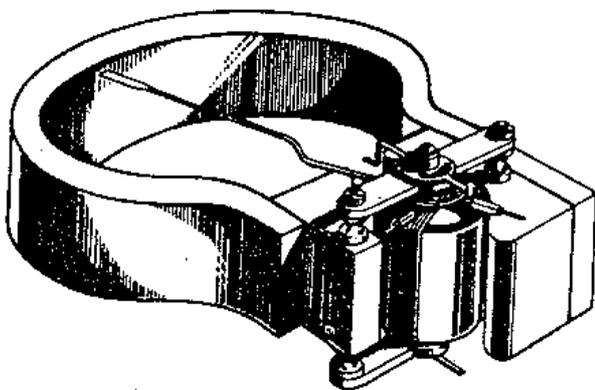


Figura 8-123 Movimento do medidor.

No sentido de entender como o medidor trabalha, admite-se que a bobina do elemento móvel está colocado no campo magnético, como mostrado na figura 8-124.

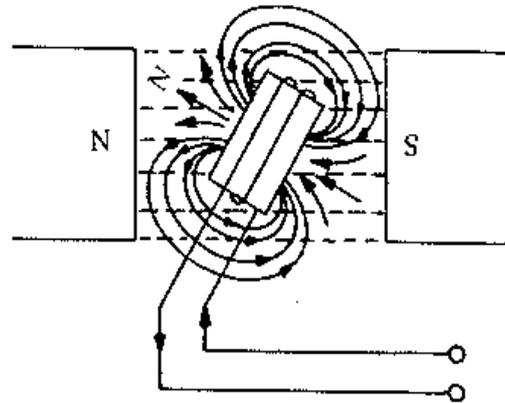


Figura 8-124 Efeito de uma bobina num campo magnético.

A bobina é fixada pelo pivô, e é capaz de girar para os dois lados dentro do campo magnético provocado pelo ímã. Quando a bobina é conectada em um circuito, a corrente flui através dela na direção indicada pelas setas, e provoca um campo magnético por dentro.

Este campo tem a mesma polaridade que os polos adjacentes do ímã. A interação dos dois campos causa a rotação da bobina para uma posição de alinhamento dos campos.

Esta força de rotação (torque) é proporcional à interação entre os polos iguais da bobina e do ímã e, por conseguinte, à quantidade do fluxo de corrente na bobina.

Como resultado, um ponteiro fixado na bobina indicará a quantidade de corrente fluindo no circuito, movendo-se através de uma escala graduada.

Dentro do que acaba de ser exposto, observa-se que qualquer torque suficiente para superar a inércia e a fricção das partes móveis, provoca a rotação da bobina até que os campos se alinhem.

Esta deflexão descontrolada causaria leituras de corrente incorretas. Então são utilizadas duas molas para evitar movimentos de retorno da bobina.

O valor da corrente fluindo através da bobina determina a força rotativa dela mesma. Quando a força rotativa fica igual a de oposição das molas, a bobina pára, e o ponteiro indica a leitura da corrente sobre a escala graduada.

Em alguns medidores as molas são feitas de material condutor, e fazem a corrente passar pela bobina.

Para obter uma rotação no sentido dos ponteiros do relógio, o pólo norte do ímã permanente e o correspondente da bobina precisam ser adjacentes. A corrente fluindo através da bobina deve, então, ser sempre na mesma direção.

O mecanismo D'Arsonval pode ser utilizado somente para medições de C.C., e a correta polaridade deve ser observada. Se a corrente fluir na direção errada, através da bobina, o ponteiro deflexionará no sentido anti-horário e danificará o ponteiro.

Como o movimento da bobina é diretamente proporcional ao fluxo de corrente através dela, a escala é normalmente linear.

Amortecimento

No sentido de que as leituras do medidor são mais rápidas e exatas, é desejável que o ponteiro móvel ultrapasse sua correta posição apenas um pouco, e venha a se estabilizar após não mais do que uma ou duas oscilações.

O termo “*damping*” é aplicado a métodos usados para estabilizar o ponteiro de um medidor elétrico, quando ele se movimenta durante a medição. O “*damping*” (amortecimento) pode ser obtido por meios elétricos, mecânicos ou ambos combinados.

Amortecimento elétrico

Um método comum de “*damping*” por meios elétricos é enrolar a bobina sobre uma armação de alumínio. Como a bobina se movimenta no campo de um ímã permanente, surgirão correntes parasitas na armação de alumínio.

O campo magnético produzido por tais correntes se opõem ao movimento da bobina. O ponteiro, então, oscilará pouco, estabilizando-se mais rapidamente na marcação.

Amortecimento mecânico

O amortecimento a ar (“*Air damping*”) é um método comumente empregado por meios mecânicos. Conforme mostrado na figura 8-125, a palheta é fixada no eixo do elemento móvel, ficando no interior de uma câmara de ar.

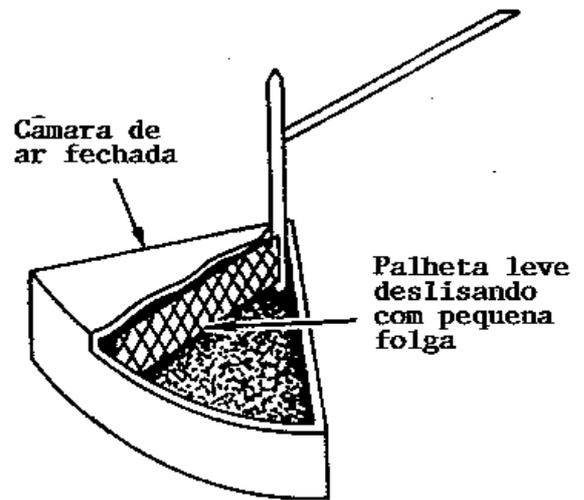


Figura 8-125 Amortecedor a ar.

O movimento do eixo é retardado por causa da resistência que o ar oferece à palheta. O efetivo amortecimento é obtido, se a palheta movimenta-se bem próximo às paredes da câmara.

Sensibilidade do medidor

A sensibilidade de um medidor é expressa como a quantidade de corrente necessária para dar a deflexão total na escala.

Adicionalmente, a sensibilidade pode ser expressa como o número de milivolts fluindo através do medidor sob fluxo de corrente na escala total.

Esta queda de voltagem é obtida pela multiplicação da escala total pela resistência do mecanismo do medidor.

Se tiver uma resistência de 50 ohms e demandar 1 miliampère (ma) para leitura da escala total, pode ser designado como um medidor de 0-1 miliampère e 50 milivolts.

Extensão da faixa de um amperímetro

Um mecanismo de miliamperímetro 0-1 pode ser usado para medir correntes maiores do que 1 ma, desde que se coloque um resistor em paralelo com ele.

O resistor é, então, chamado de “*shunt*” (derivação) porque permite o desvio de uma parte da corrente por fora do instrumento, estendendo a faixa do amperímetro.

Um desenho esquemático de um medidor com um “*shunt*” é mostrado na figura 8-126.

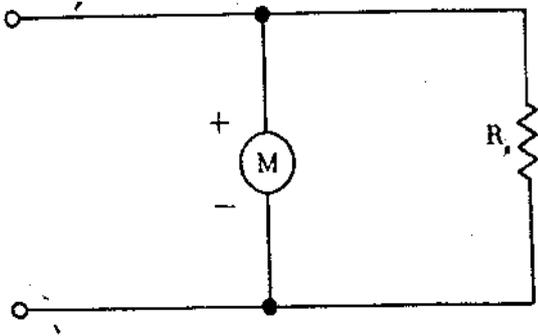


Figura 8-126 Movimento de medidor com derivação.

Determinação do valor de um “Shunt”

O valor de um resistor “shunt” pode ser calculado com a aplicação das regras para circuitos paralelos. Se um miliamperímetro 0-1 e 50 milivolts são para ser usados para medir corrente acima de 10 miliampères.

Alguns procedimentos podem ser empregados, como desenhar um esquema de um medidor com resistor “shunt” designado como R_s , conforme mostrado na figura 8-127.

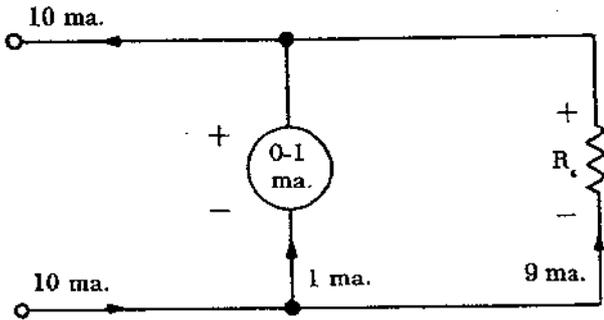


Figura 8-127 Circuito esquemático para resistor de derivação.

Desde que a sensibilidade do medidor seja conhecida, a sua resistência pode ser calculada. O circuito é, então, redesenhado como mostrado na figura 8-128, e as correntes ramificadas podem ser calculadas, já que um máximo de 1(um) ma é o que pode fluir através do medidor.

A queda de voltagem através de R_s é a mesma através do medidor, R_m :

$$\begin{aligned} E &= IR \\ &= 0,001 \times 50 \\ &= 0,050 \text{ volt} \end{aligned}$$

R_s pode ser encontrada pela aplicação da lei de Ohm:

$$R_s = \frac{E_{RS}}{I_{RS}} = \frac{0,050}{0,009} = 5,55$$

O valor do resistor “shunt” (5,55 Ω) é muito pequeno, mas este valor é crítico. Resistores usados como “shunts” devem ter tolerâncias limitadas, normalmente a 1%.

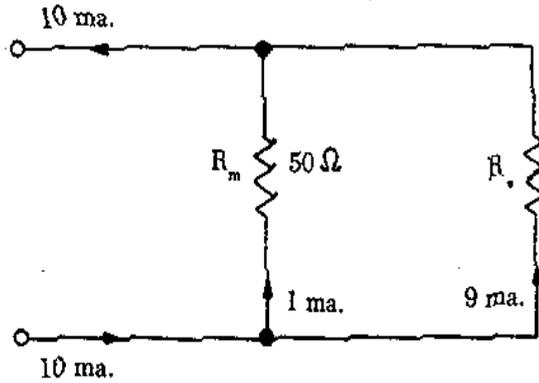


Figura 8-128 Circuito medidor equivalente.

“Shunt” universal para multímetro.

O desenho esquemático na figura 8-129 mostra uma disposição por meio da qual duas ou mais faixas são providas de derivações com resistores shunt em determinados pontos.

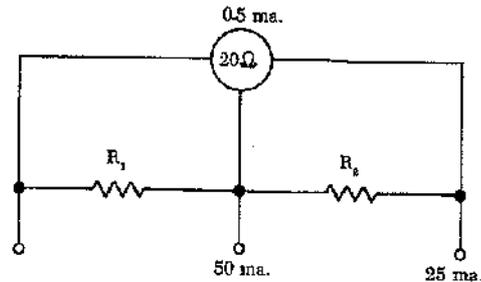


Figura 8-129 Amperímetro universal de derivação.

Neste arranjo, um instrumento de 0-5 ma com uma resistência de 20 ohms recebe “shunt” para prover uma faixa de 0-25m e uma de 0-50 ma.

Amperímetros que possuem “shunts” internos são chamados “multirange” (várias faixas).

Existe uma escala para cada faixa no mostrador (figura 8-130). Em alguns multíme-

tros são evitadas as comutações internas através do uso de “shunts” externos.

A mudança de faixas implica na seleção e instalação do “shunt” adequado no estojo do medidor.

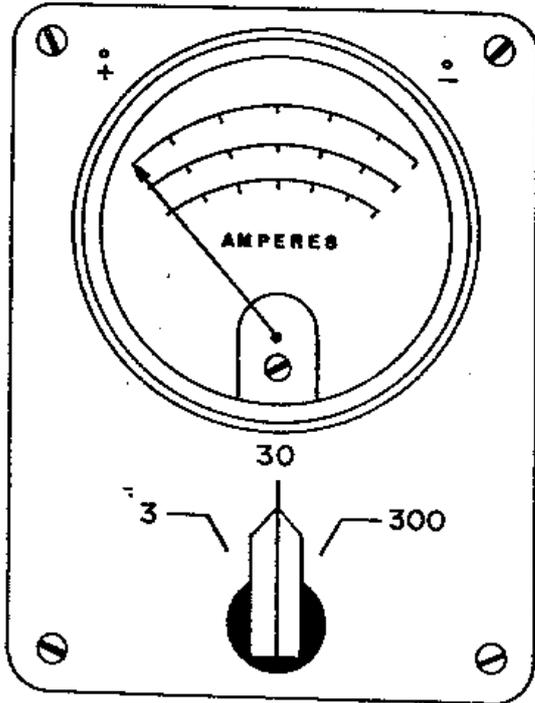


Figura 8-130 Amperímetro de várias faixas.

MULTÍMETROS

Amperímetros são comumente incorporados em instrumentos que têm propósitos múltiplos, tais como multímetros ou volt-ohm-miliamperímetros.

Estes instrumentos variam um pouco de acordo com modelo pertencente a diferentes fabricantes, mas a maioria incorpora as funções de um amperímetro, um voltímetro e um ohmímetro em uma só unidade.

Um multímetro típico é mostrado na figura 8-131. Este multímetro tem duas chaves seletoras: uma de função e a outra de faixa. O multímetro é de fato três medidores num único estojo. A chave de função deve ser posicionada apropriadamente para o tipo de medição a ser realizada.

Na figura 8-131, a chave de função é mostrada na posição amperímetro para medir miliampères de C.C., e a chave de faixa foi ajustada para 1000.

Ajustado, desta maneira, o amperímetro pode medir até 1.000 miliampères ou 1 ampère.

Os multímetros têm várias escalas, e a que estiver sendo usada deve corresponder propriamente ao posicionado na chave de faixas.

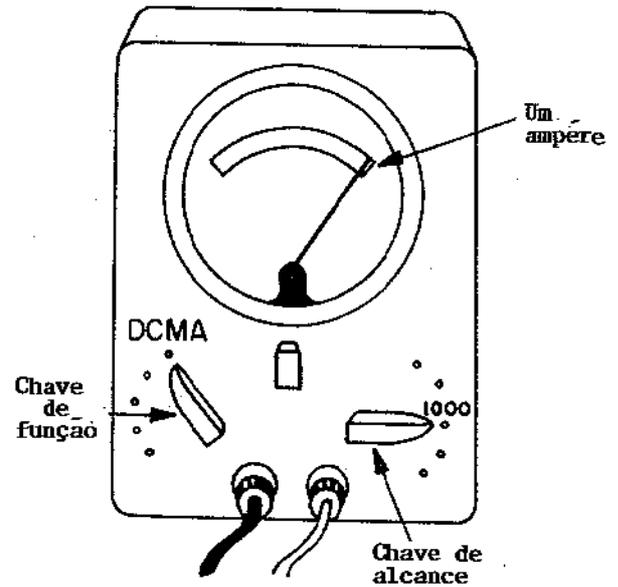


Figura 8-131 Multímetro selecionado para medir um ampère.

Ao ser medida corrente de valor desconhecido, seleciona-se sempre a faixa mais alta possível para evitar danos ao instrumento.

As pontas de teste devem ser conectadas ao medidor da maneira recomendada pelo fabricante. Normalmente, a ponta vermelha é positiva, e a preta é negativa ou comum. Muitos multímetros empregam encaixes com código de cor como auxílio para conectar o medidor no circuito a ser testado. Na figura 8-132, um multímetro devidamente ajustado para medir fluxo de corrente é ligado num circuito.

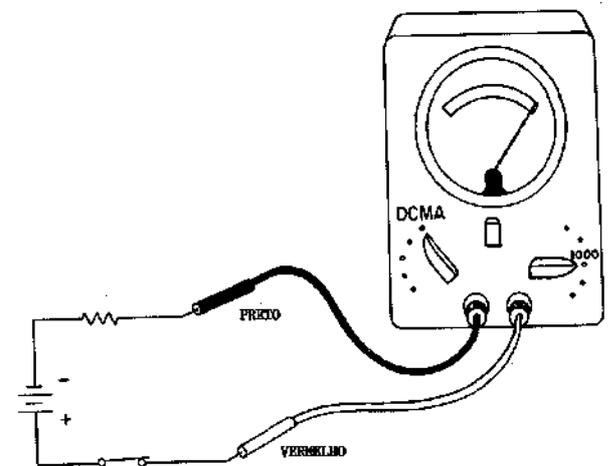


Figura 8-132 Multímetro selecionado para medir fluxo de corrente.

Os cuidados a serem observados quando se usa um multímetro são resumidos a seguir:

1. Sempre conectar o amperímetro em série com o elemento do qual a corrente será medida.
2. Nunca conectar um amperímetro através de uma fonte de voltagem, como bateria ou gerador. Lembrar que a resistência de um amperímetro, particularmente nas faixas mais altas, é extremamente baixa, e que qualquer voltagem, mesmo um volt ou mais, pode causar alta corrente através do medidor, danificando-o.
3. Utilizar faixa larga o suficiente para manter a deflexão abaixo do máximo da escala. Antes de medir uma corrente, ter idéia sobre sua magnitude. Em seguida, selecionar uma faixa larga o suficiente, ou começar pela faixa mais alta e ver diminuindo até achar a faixa correta. As leituras mais precisas são obtidas, aproximadamente, no meio curso de deflexão. Muitos miliamperímetros têm sido danificados pela tentativa de medir ampères. Portanto, certifique-se no mostrador e chave de seleção quanto à posição em uso, e escolha a escala correta antes de conectar o medidor num circuito.
4. Observar a polaridade correta ao conectar o medidor num circuito. A corrente deve fluir na bobina numa direção definida para mover o indicador obrigatoriamente para a parte superior da escala. A corrente invertida por causa de conexão incorreta no circuito resulta em deflexão invertida, e freqüentemente provoca empenamento da agulha do medidor. Evitar ligações incorretas, observando as marcas de polaridade no medidor.

VOLTÍMETROS

O medidor D'Arsonval pode ser usado tanto como amperímetro ou como voltímetro (figura 8-133). Então, um amperímetro pode ser convertido em voltímetro, colocando-se uma resistência em série com a bobina do medidor, e medindo-se a corrente que flui através dele. Em

outras palavras, um voltímetro é um instrumento medidor de corrente, destinado a indicar voltagem pela medição do fluxo de corrente através de uma resistência de valor conhecido.

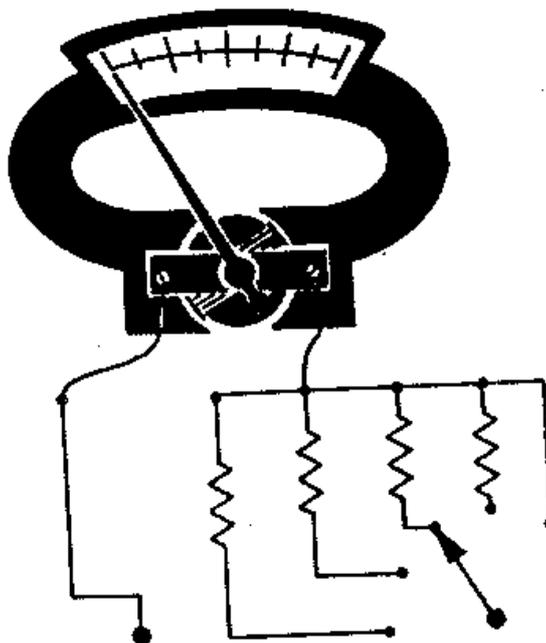


Figura 8-133 Diagrama simplificado de um voltímetro.

Variadas faixas de voltagens podem ser obtidas pela adição de resistores em série com a bobina do medidor. Nos instrumentos de faixa baixa esta resistência é montada dentro do estojo juntamente com o mecanismo D'Arsonval, e normalmente, consiste de fio resistivo de baixo coeficiente térmico que é enrolado tanto em carretéis como bases de cartão.

No caso de faixas mais elevadas de voltagem, a resistência em série pode ser conectada externamente. Quando isto é feito, a unidade que contém a resistência é comumente chamada de multiplicador.

Extensão de faixa do voltímetro

O valor das resistências, em série, é determinada em função da corrente necessária para deflexão total (“full-scale”) de medidor, e pela faixa de voltagem a ser medida.

Já que a corrente através do circuito do medidor é diretamente proporcional à voltagem aplicada, a escala do medidor pode ser calibrada em volts para uma resistência fixa em série.

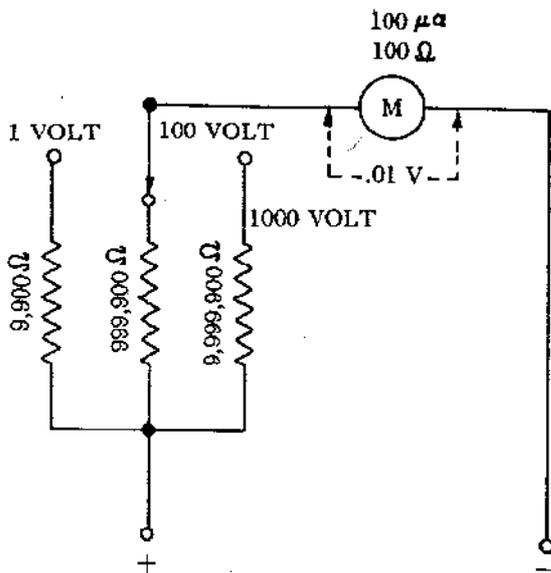


Figura 8-134 Esquema de um voltímetro de várias faixas.

Por exemplo, suponhamos que o medidor básico (microamperímetro) seja transformado num voltímetro com leitura máxima (*full-scale*) de 1 volt.

A resistência da bobina do medidor básico de 100 ohms e 0,0001 ampère (100 microampères) provocará a deflexão total. A resistência total, R , da bobina do medidor e a resistência em série será:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1}{0,0001} = 10.000 \text{ ohms}$$

e a resistência em série sozinha é de:

$$R_s = 10.000 - 100 = 9.900 \text{ ohms}$$

Os voltímetros de faixa múltipla (*multi-range*) utilizam um mecanismo de medição com as resistências necessárias conectadas em série, como medidor por dispositivo de comutação adequada. Um voltímetro “*multirange*” com três faixas com a faixa de 1 volt é:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ megohms}$$

$$\frac{100}{100} = 1 \text{ megohm}$$

$$\frac{1000}{100} = 10 \text{ megohms}$$

Os voltímetros de faixa múltipla, como os amperímetros de faixa múltipla, são usados freqüentemente.

Eles são fisicamente muito parecidos com os amperímetros; seus multiplicadores são localizados dentro do medidor com chaves adequadas ou posições de ajuste dos terminais na parte externa do medidor, para seleção das faixas (ver figura 8-135).

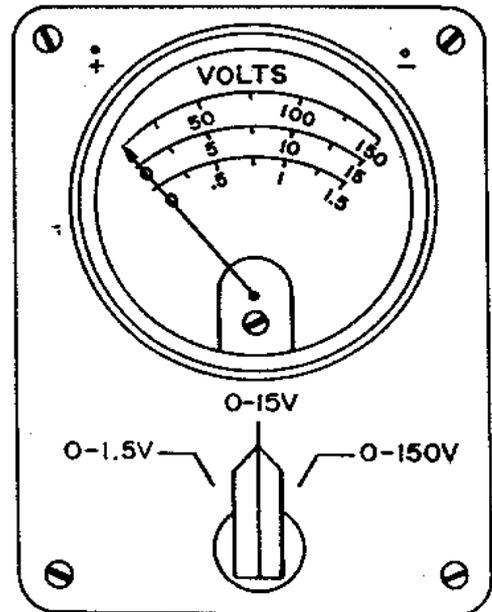


Figura 8-135 Típico voltímetro de várias faixas.

Os instrumentos de medição de voltagem são conectados em paralelo com um circuito. Se o valor aproximado da voltagem a ser medida não é conhecido, é melhor, conforme recomendado para o amperímetro, iniciar com a faixa mais alta do voltímetro, e ir baixando a faixa progressivamente até atingir a leitura adequada.

Em muitos casos o voltímetro não é um instrumento com a indicação central do zero. Por isso é necessário observar a polaridade ao conectá-lo num circuito, da mesma forma praticada quando usando um amperímetro de C.C.

O terminal positivo de um voltímetro é sempre conectado no terminal positivo da fonte, e o terminal negativo ao terminal negativo da fonte, quando a voltagem desta está sendo medida. Na figura 8-136 um voltímetro é ligado corretamente num circuito para medir a queda de voltagem em um resistor. A chave de função está ajustada na posição “volts de C.C.”, e a chave de faixa está colocada na posição “50 volts”.

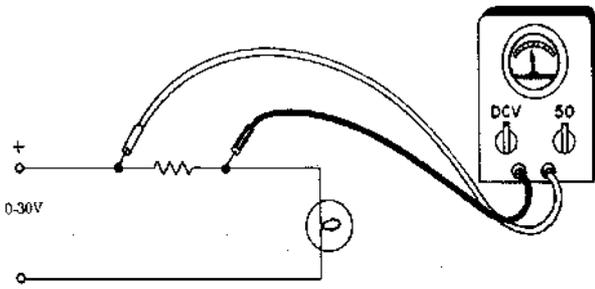


Figura 8-136 Multímetro conectado para medir a queda de tensão de um circuito.

A função de um voltímetro é indicar a diferença potencial entre dois pontos em um circuito.

Quando um voltímetro é conectado através de um circuito, ele o desvia. Se o voltímetro tiver baixa resistência, puxará uma quantidade apreciável de corrente.

A efetiva resistência do circuito diminuirá, e a leitura da tensão, conseqüentemente, diminuirá também.

Quando são feitas medições de tensão em circuitos de alta resistência é necessário usar voltímetro de alta resistência para prevenir a ação de desvio do medidor.

O efeito é menos notável em circuitos de baixa resistência porque o efeito de desvio é menor.

Sensibilidade do voltímetro

A sensibilidade de um voltímetro é dada em ohms por volt (Ω/E), e é determinada pela divisão da resistência (R_m) do medidor mais a resistência em série (R_s) pela tensão máxima da escala em volts. Assim,

$$\text{sensibilidade} = \frac{R_m + R_s}{E}$$

Isto é o mesmo que dizer que a sensibilidade é igual ao inverso da corrente (em ampères), que é,

$$\text{sensibilidade} = \frac{\text{ohms}}{\text{volts}} = \frac{1}{\text{volts / ohms}} = \frac{1}{\text{ampères}}$$

Daí, a sensibilidade de um instrumento de 100 microampères ser o inverso de 0,0001 ampères ou 10.000 ohms por volt.

A sensibilidade de um voltímetro pode ser aumentada, aumentando-se a intensidade do ímã permanente, usando-se materiais mais leves no elemento móvel, e usando-se mancal de pedra de safira para suportar a bobina móvel.

Precisão do voltímetro

A precisão de um medidor é geralmente expressa em porcentagem. Por exemplo, um medidor com uma precisão de 1% indicará um valor dentro de 1% do valor correto.

O que significa que, se o valor correto são 100 unidades, a indicação do medidor pode ser algo dentro da faixa de 99 a 101 unidades.

OHMÍMETROS

Dois instrumentos são comumente usados para testar continuidade ou para medir a resistência de um circuito ou elemento do circuito. Estes instrumentos são o ohmímetro e o megômetro.

O ohmímetro é amplamente usado para medir resistência e testar os circuitos elétricos e os dispositivos.

Sua faixa normalmente estende-se a alguns megohms.

O megômetro é largamente usado para medir resistência de isolamento, tal como a resistência entre enrolamentos e a estrutura do maquinário, e para medir isolamento de cabos, isoladores e embuchamentos. Sua faixa pode se estender a mais de 1.000 megohms.

Quando medindo resistências muito altas desta natureza, não é necessário achar o valor exato da resistência, mas saber se a isolamento se encontra abaixo ou acima de determinado padrão.

Quando há necessidade de precisão, algum tipo de circuito-fonte é usado.

Ohmímetro em série

Um esquema simplificado de um ohmímetro é mostrado na figura 8-137. "E" é a fonte de tensão; R_1 é o resistor variável usado para ajustar o zero de medidor; R_2 é o resistor fixo usado para limitar a corrente no medidor; "A" e "B" são terminais de teste através dos quais é colocada a resistência a ser medida.

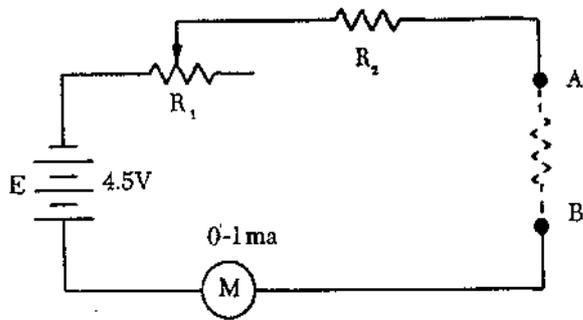


Figura 8-137 Circuito de um Ohmímetro.

Se “A” e “B” forem conectados entre si (curto-circuitados), o medidor, a bateria e os resistores R_1 e R_2 formam um circuito em série simples, com R_1 ajustado de tal modo que a resistência total no circuito seja 4.500 ohms, a corrente através do medidor é de 1 ma, e a agulha deflexiona para o máximo da escala.

Como não existe resistência entre “A” e “B”, esta posição da agulha é determinada como zero (figura 8-138).

Se uma resistência de 4.500 ohms for colocada entre os terminais “A” e “B”, a resistência total soma 9.000 ohms e a corrente fica em 0,5 ma.

Isto provoca deflexão da agulha em meia escala. Esta metade da escala, estabelecida como 4,5 K Ω , na leitura, sendo igual à resistência interna do medidor, neste caso 4.500 ohms.

Se for inserida uma resistência de 9.000 ohms entre os terminais “A” e “B”, a agulha deflexiona 1/3 da escala.

Resistências de 13,5 K e 1.5 K colocadas entre os terminais A e B causam a deflexão de $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ da escala, respectivamente.

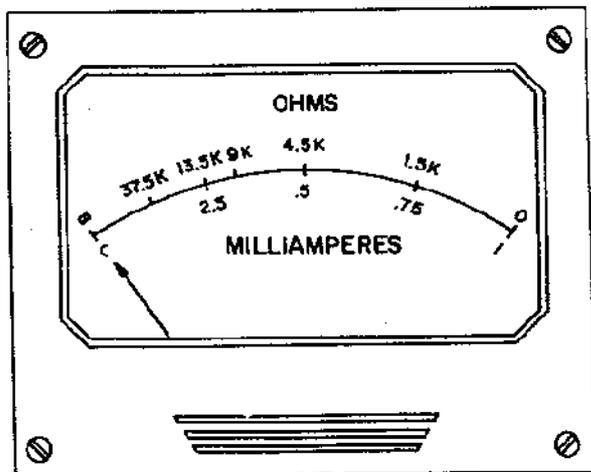


Figura 8-138 Escala típica de um Ohmímetro.

Se os terminais “A” e “B” permanecem desconectados (circuito aberto) não flui nenhuma corrente, e a agulha não se move, ficando em repouso no lado esquerdo da escala, que representa resistência infinita.

Uma escala típica de ohmímetro é mostrada na figura 8-138. Observa-se que a escala não é linear e as marcas vão se agrupando na extremidade que indica resistência mais alta. Por esta razão, é boa pratica usar uma faixa do ohmímetro em que a leitura não esteja muito longe da indicação intermediária da escala.

Uma boa regra é usar uma faixa em que a leitura obtida não exceda dez vezes, ou não seja menor do que um décimo da leitura intermediária da escala. A faixa útil da escala mostrada é, por esta regra, de 450 ohms a 45.000 ohms.

A maioria dos ohmímetros tem mais de uma escala. Escalas adicionais tornam-se possíveis pelo uso de valores variados de resistores de limitação e voltagens de bateria.

Ohmímetro em “shunt”

Ohmímetros tipo “shunt” (derivação) são empregados para medir pequenos valores de resistência. No circuito mostrado na figura 8-139, E (voltagem) é aplicada através de um resistor de limitação, R, e um multímetro em série.

Os valores da resistência e bateria são escolhidos, de tal modo, que o indicador do instrumento deflexiona totalmente na escala, quando os terminais A e B encontram-se abertos.

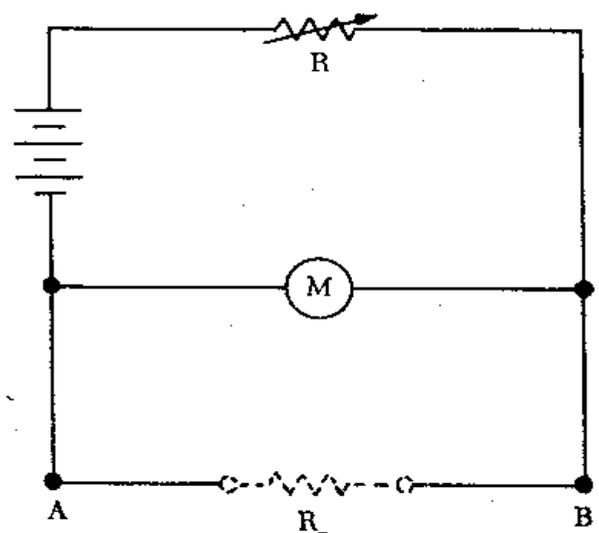


Figura 8-139 Circuito de um Ohmímetro tipo derivação.

Quando os terminais são colocados em “curto”, o medidor marca zero; o curto-circuito faz a corrente toda contornar o medidor. A resistência desconhecida, R_x , é colocada entre os terminais A e B, em paralelo com o mecanismo de medidor.

O valor do resistor de limitação, R , é normalmente grande, comparado com a resistência do medidor. Isto mantém a corrente demandada da bateria praticamente constante. Daí, o valor de R_2 determina quanto dessa corrente constante flui através do medidor e quanto através de R_2 .

Observa-se que neste tipo de ohmímetro, a corrente está sempre fluindo da bateria através do medidor e do resistor de limitação. Portanto, quando usamos um ohmímetro com baixa escala de resistência, não deixamos a chave na posição inferior.

Uso do ohmímetro

O ohmímetro não é um aparelho de medição tão preciso quanto um voltímetro ou amperímetro, por causa dos circuitos associados. Assim, valores de resistências não podem ser lidos com precisão maior do que 5 a 10%. Entretanto, existem instrumentos que lêem a resistência de um elemento com enorme precisão, mas são normalmente mais complicados para o uso.

O ohmímetro também é bastante usado para testar continuidade num circuito. Frequentemente, quando se pesquisa pane em um circuito ou fiação, a inspeção visual de todas as partes do caminho da corrente não pode ser prontamente realizada. Portanto, não é sempre visível se o circuito está completo ou se a corrente poderia estar fluindo numa parte errada do circuito, por causa do contato com circuitos adjacentes.

O melhor método para testar um circuito, nestas condições, é mandar uma corrente através dele. O ohmímetro é o instrumento ideal para testar circuitos desta maneira. Ele proporciona a energia, e mede se a corrente está fluindo.

Observa-se as seguintes precauções quando usando um ohmímetro:

- (1) Escolher a escala que inclua o valor da resistência a ser medida. Em geral, usar uma escala em que a leitura caia na me-

tade superior do indicador (para o lado que indica zero).

- (2) Juntar as pontas de teste e ajustar o zero do medidor. Se trocar de escala, ajustá-lo novamente.
- (3) Conectar a resistência desconhecida entre as pontas de teste, e ler o valor da escala. Nunca tentar medir resistência conectada num circuito com fonte de voltagem. Desconectar pelo menos um lado do elemento a ser medido para evitar leitura de resistência em paralelo.

Megômetro

O megômetro é um ohmímetro de alta faixa de indicação, contendo um gerador manual. É usado para medir resistência de isolamento e outros valores elevados de resistência. Também é usado para testar aterramento, continuidade e “curto-circuito” em sistemas de força elétrica.

A principal vantagem de um megômetro sobre um ohmímetro é sua capacidade de medir resistência com um alto potencial, ou voltagem “de ruptura”.

Este tipo de teste é para que a isolamento ou um material dielétrico não entre em “curto” ou tenha “vazamento” sob esforço elétrico potencial.

O megômetro (figura 8-140) consiste de dois elementos primários, ambos com campos magnéticos individuais de um ímã permanente comum: (1) um gerador de C.C. manual, “G”, que fornece a corrente necessária para fazer as medições; e (2) a parte do instrumento que indica o valor da resistência sendo medida.

O instrumento é do tipo “bobinas opostas”.

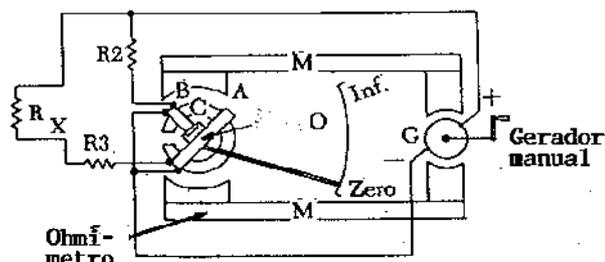


Figura 8-140 Circuito simplificado de um megômetro.

As bobinas “A” e “B” são montadas sobre o membro móvel, com uma relação angular fixa entre si, e estão livres para girar como uma unidade num campo magnético. A bobina “B” tensiona o ponteiro no sentido anti-horário e a bobina “A”, no sentido horário. As bobinas são montadas sobre um suporte leve, móvel, que é fixado por pivô em mancal de pedra preciosa e livre para mover-se no eixo “O”.

A bobina “A” é conectada em série com R_3 e a resistência desconhecida, R_x , a ser medida. A combinação em série da bobina A, R_3 e R_x é conectada entre as escovas (+) e (-) do gerador de C.C.

A bobina “B” é conectada em série com R_2 , e esta combinação também é conectada através do gerador. Não há mola de limitação sobre o membro móvel da parte do instrumento do megômetro.

Quando o gerador não está em funcionamento, o ponteiro flutua livremente e pode ficar em repouso em qualquer posição na escala.

Se os terminais estiverem abertos, não flui corrente na bobina “A”, e a corrente na bobina “B” controla sozinha a movimentação do elemento móvel. A bobina “B” toma uma posição oposta à abertura do núcleo (já que o núcleo não pode mover-se e a bobina “B” pode) e o ponteiro indica infinito na escala.

Quando uma resistência é conectada entre os terminais, flui corrente na bobina “A”, tendendo a mover o ponteiro no sentido horário. Ao mesmo tempo, a bobina “B” tende a movimentar o ponteiro no sentido anti-horário. Por conseguinte o elemento móvel, composto por ambas as bobinas e o ponteiro, vem a se estabilizar numa posição em que as duas forças se equilibram. Tal posição depende do valor da resistência externa que controla a magnitude relativa da corrente da bobina “A”.

A posição do elemento móvel é independente da voltagem, porque mudanças na voltagem afetam ambas as bobinas, A e B.

Se for fechado o circuito, em “curto”, os terminais e o ponteiro são zerados, porque a corrente em “A” é relativamente grande. O instrumento não é danificado sob tais circunstâncias porque a corrente é limitada por R_3 .

Existem dois tipos de megômetro normais: o tipo variável e o de pressão-constante. O primeiro tem a velocidade dependente da rapidez com que o eixo manual é girado; e o segun-

do utiliza um governador centrífugo, ou embreagem.

O governador torna-se efetivo quando a velocidade de operação excede àquela em que sua voltagem permanece constante.

ANÁLISE E PESQUISA DE DEFEITO EM CIRCUITO BÁSICO

Análise e pesquisa de defeito “*Troubleshooting*” é um processo de localização de mal funcionamento ou pane num circuito. As seguintes definições servem como um guia na discussão do “*troubleshooting*”:

(1) “Curto-circuito”- um caminho de baixa resistência. Pode ser através de uma fonte de força ou entre os lados de um circuito. Normalmente provoca alto fluxo de corrente que causa queima ou danifica os condutores ou componentes.

(2) Circuito aberto - um circuito não completo ou contínuo.

(3) Continuidade - o estado de ser contínuo ou conectado junto; refere-se a um circuito não-aberto.

(4) Descontinuidade - o oposto de continuidade, indicando que o circuito está interrompido.

A figura 8-141 inclui alguns dos elementos de circuitos abertos. Em “A” da figura 8-141, a extremidade de um condutor separou-se do terminal da bateria. Este tipo de defeito abre o circuito e interrompe o fluxo de corrente. Um outro tipo de defeito que causa interrupção do circuito é um resistor queimado, mostrado na letra “B” da figura 8-141.

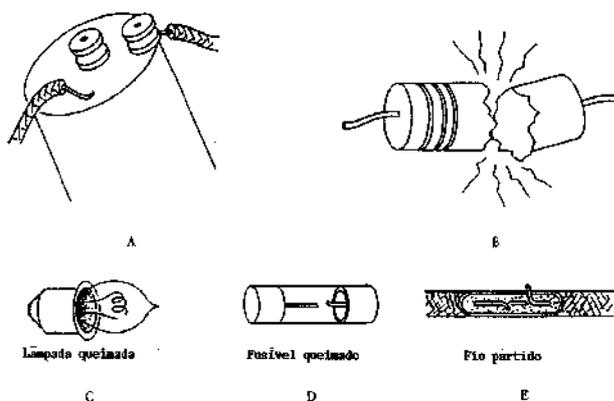


Figura 8-141 Causas comuns de abertura de circuitos.

Quando um resistor é sobrecarregado o valor de sua resistência modifica-se e, se o fluxo de corrente é suficientemente grande, ela pode se queimar e abrir o circuito. Em “C”, “D” e “E” da figura 8-141, mais três causas prováveis de circuitos abertos são mostrados.

As interrupções mostradas podem ser localizadas por inspeção visual, entretanto muitos circuitos abertos não podem ser vistos. Neste caso, deve ser usado um medidor.

O circuito mostrado na figura 8-142 destina-se a ocasionar fluxo de corrente através de uma lâmpada, entretanto, por causa de um resistor aberto, a lâmpada deixará de acender. Para localizar tal interrupção pode-se utilizar um voltímetro ou amperímetro.

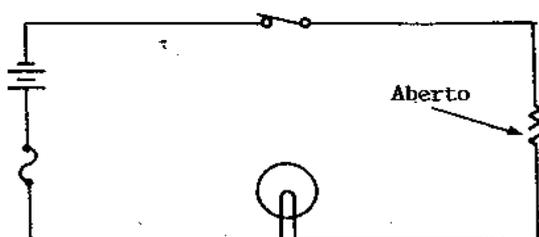


Figura 8-142 Um circuito aberto.

Se um voltímetro for conectado através da lâmpada, conforme mostrado na figura 8-143, a leitura será zero volts. Já que não existe corrente fluindo no circuito por causa do resistor aberto, não há queda de voltagem através da lâmpada. Isto ilustra uma regra de “troubleshooting” que deve ser lembrada: “quando um voltímetro é conectado através de um componente bom (sem defeito), num circuito aberto, o voltímetro indicará zero.”

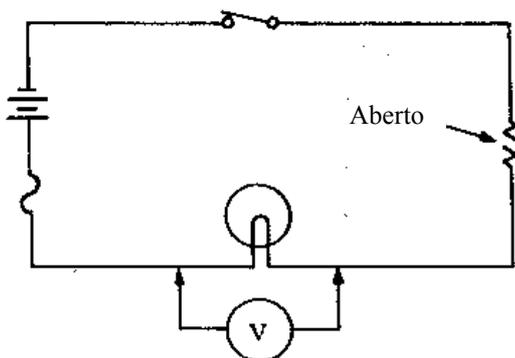


Figura 8-143 Voltímetro através de uma lâmpada em um circuito aberto.

Depois, o voltímetro é conectado através do resistor aberto, conforme mostrado na figura

8-144. O voltímetro fechou o circuito por fora do resistor queimado, permitindo o fluxo de corrente. A corrente fluirá do terminal negativo da bateria através da chave, passando pelo voltímetro e pela lâmpada, retornando ao terminal positivo da bateria. Todavia, a resistência do voltímetro é tão grande que apenas uma pequena corrente flui no circuito. A corrente é muito baixa para acender a lâmpada, mas o voltímetro mostrará a voltagem da bateria.

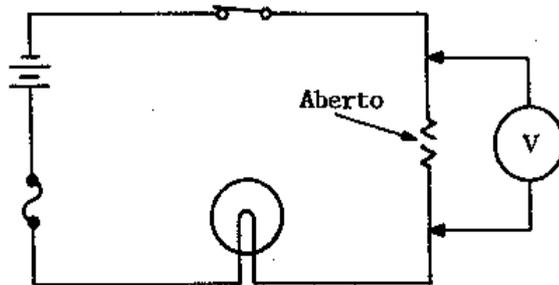


Figura 8-144 Voltímetro através de um resistor em um circuito aberto.

Um outro detalhe importante de “troubleshooting” a ser lembrado é: quando um voltímetro é colocado através de um componente aberto num circuito em série, marcará a voltagem aplicada, ou da bateria.

Este tipo de defeito do circuito aberto pode também ser pesquisado com uso de ohmímetro. Quando um ohmímetro é usado, o componente a ser testado deve ser isolado e a fonte de força ser removida do circuito. Neste caso, conforme mostrado na figura 8-145, estes requisitos podem ser conseguidos, desligando-se a chave do circuito. O ohmímetro é “zerado” e colocado através (em paralelo) da lâmpada. Neste circuito, algum valor de resistência é marcado.

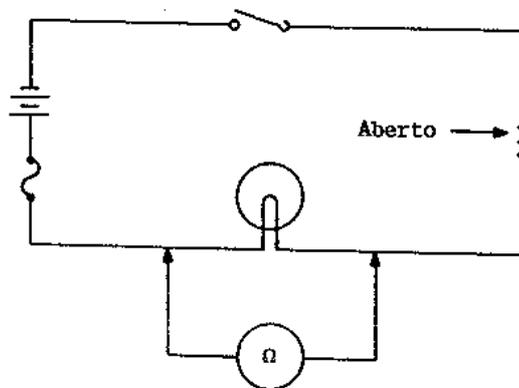


Figura 8-145 Usando um ohmímetro para testar um componente do circuito.

Isto ilustra um outro ponto de pesquisa de pane: quando um ohmímetro é conectado apropriadamente através de um componente do circuito, e uma leitura de resistência é obtida, o componente tem continuidade e não está aberto.

Quando o ohmímetro é conectado através de um resistor aberto, como mostrado na figura 8-146, indica resistência infinita ou uma descontinuidade.

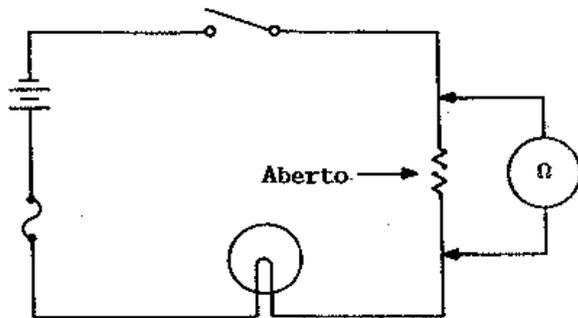


Figura 8-146 Usando um ohmímetro para localizar uma abertura em um componente do circuito.

Uma interrupção num circuito em série interromperá o fluxo de corrente. Um “curto-circuito” causará o efeito oposto. Um “curto” num circuito em série produz um fluxo de corrente maior do que o normal.

Alguns exemplos de “curtos”, como mostrado na figura 8-147, são dois fios desencapados se tocando, dois terminais de um resistor ligados entre si, etc. Daí, um “curto” pode ser descrito como o contato de dois condutores de um circuito através de uma resistência muito baixa.

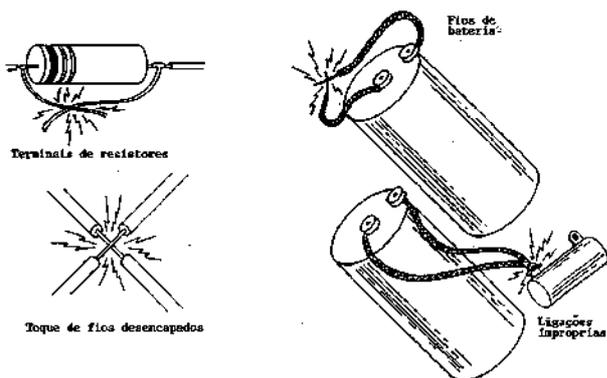


Figura 8-147 Causas mais comuns de curtos-circuitos.

Na figura 8-148, um circuito se destina a acender uma lâmpada. Um resistor é colocado no circuito para limitar o fluxo de corrente. Se o resistor ficar “em curto”, conforme mostrado na

ilustração, o fluxo de corrente aumentará e a lâmpada tornar-se-á mais brilhante. Se a voltagem aplicada se tornar excessiva, a lâmpada pode queimar, mas neste caso, o fusível protetor da lâmpada abre primeiro.

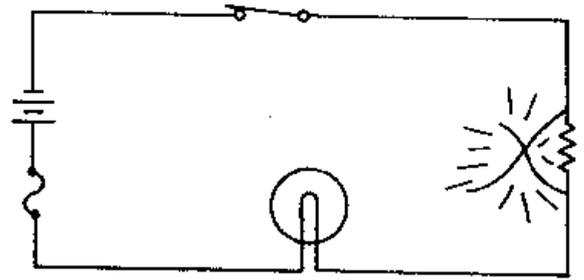


Figura 8-148 Resistor em curto circuito.

Normalmente, um “curto-circuito” ocasionará um circuito aberto, abrindo o fusível ou queimando um componente. Mas, em alguns circuitos, como aquele ilustrado na figura 8-149 pode haver resistores adicionais que não permitem que um resistor “em curto” aumente a corrente suficientemente para abrir o fusível ou queimar componente. Desta forma, com um resistor “em curto”, o circuito ainda funcionará, desde que a potência dissipada pelos demais resistores não exceda a capacidade de fusível.

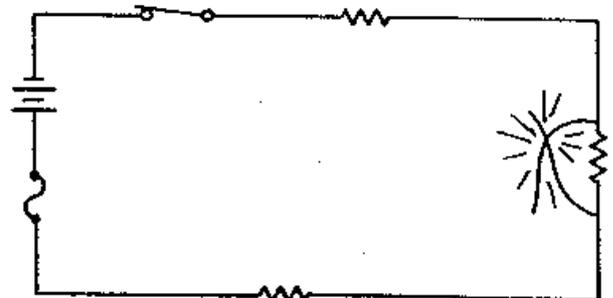


Figura 8-149 Um curto circuito que não interrompe o circuito.

Para localizar o resistor em curto enquanto o circuito está em funcionamento, pode-se usar um voltímetro. Quando ele é conectado através de qualquer resistor sem curto, uma parte da voltagem aplicada será indicada pelo voltímetro. Quando conectado através de um resistor em curto, o voltímetro marcará zero.

O resistor em curto mostrado na figura 8-150 pode ser localizado com um ohmímetro. Primeiro a chave é desligada para isolar os componentes do circuito. Na figura 8-150, este

circuito é mostrado com um ohmímetro através de cada resistor.

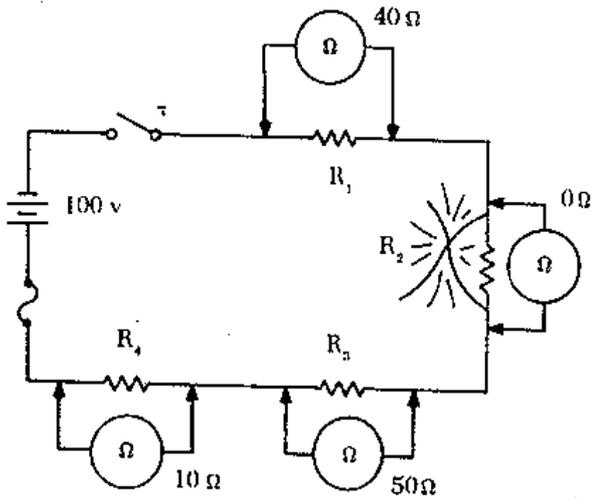


Figura 8-150 Usando um ohmímetro para localizar um resistor em curto.

Os procedimentos usados na pesquisa de pane num circuito em paralelo são, às vezes, diferentes dos usados nos circuitos em série. Diferente de um circuito em série, um circuito em paralelo tem mais de um caminho para a corrente fluir.

Um voltímetro não pode ser usado, já que quando é colocado através de um resistor aberto, ele marcará a queda de voltagem na ramificação paralela.

Mas um amperímetro ou o uso modificado do ohmímetro pode ser empregado para detectar uma derivação aberta num circuito em paralelo.

Se o resistor aberto mostrado na figura 8-151 não fosse aparente, visualmente, o circuito aparentaria estar funcionando apropriadamente, desde que a corrente continuasse a fluir na outra ramificação do circuito.

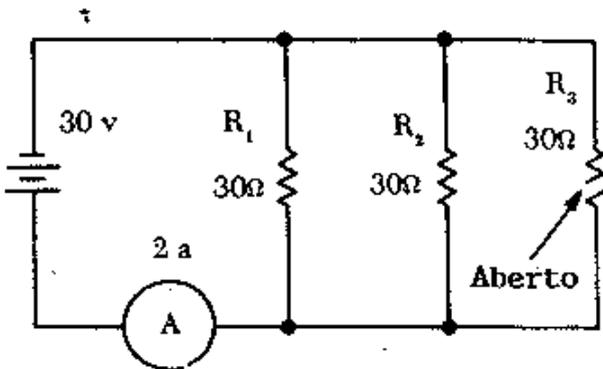


Figura 8-151 Detectando uma ramificação aberta em um circuito paralelo.

Para se determinar que o circuito está com defeito, a resistência total, a corrente total e as correntes dos braços podem ser calculadas como se não houvesse interrupção no circuito:

$$R_t = \frac{R}{N} = \frac{30}{3} = 10\Omega \text{ resistência total}$$

Já que a voltagem aplicada nas derivações é a mesma e o valor da resistência de cada ramificação é conhecida, teremos:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \text{ ampère}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \text{ ampère}$$

$$I_3 = \frac{E_3}{R_3} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \text{ ampère}$$

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{30v}{10\Omega} = 3 \text{ ampères (corrente total)}$$

Um amperímetro colocado num circuito para medir a corrente total poderia mostrar 2 ampères, em vez dos 3 ampères calculados, já que 1 ampère de corrente estaria fluindo através de cada ramificação, é óbvio que um deles esteja interrompido. Se um amperímetro é conectado nas derivações uma após outra, a que estiver aberta será localizada pela indicação zero do ohmímetro.

Uso modificado do ohmímetro pode também localizar este tipo de interrupção, conforme mostrado na figura 8-152, uma leitura errônea de continuidade seria obtida.

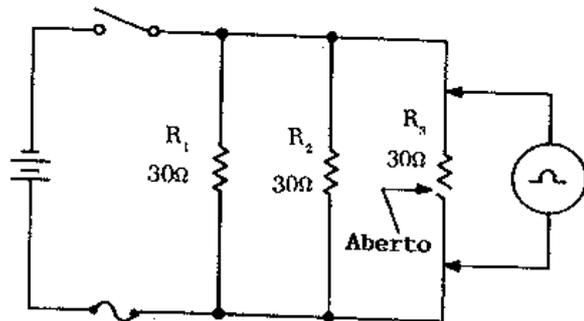


Figura 8-152 Uma falsa indicação no ohmímetro.

Ainda que a chave do circuito esteja aberta, o resistor aberto está, ainda, em paralelo com R_1 e R_2 , e o ohmímetro indicaria que o

resistor aberto tem uma resistência de 15 ohms, a resistência equivalente à combinação em paralelo de R_1 e R_2 . Assim, é necessário abrir o circuito, conforme mostra a figura 8-153, para testar a resistência de R_3 . Desta forma o resistor não é desviado pelo ohmímetro que indicará resistência infinita. De outro modo, se uma interrupção ocorresse neste circuito (figura 8-153), entre a bateria e o ponto "A", ou entre a bateria e o ponto "B", a corrente não fluiria no circuito.

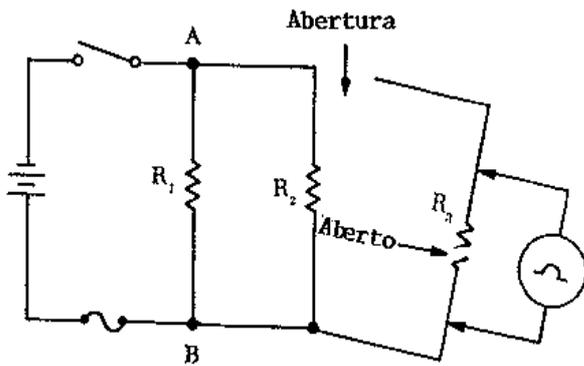


Figura 8-153 Abrindo uma parte do circuito para obter uma leitura acurada no ohmímetro.

Como num circuito em série, um "curto" num circuito em paralelo provocará, normalmente, um circuito aberto pela queima do fusível.

Mas, diferentemente de um circuito em série, um componente "em curto" num circuito em paralelo interromperá o fluxo de corrente causando a queima de fusível (ver figura 8-154).

Se o resistor R_3 entra "em curto", o caminho de resistência quase zero será oferecido à corrente, e toda a corrente do circuito fluirá através da ramificação contendo o resistor defeituoso.

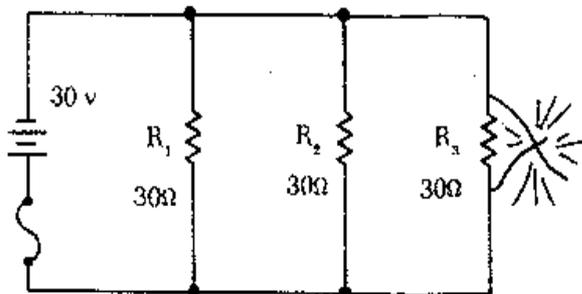


Figura 8-154 Um componente em curto causa a abertura do fusível.

Como isto é praticamente o mesmo que conectar um fio entre os terminais da bateria, a corrente elevar-se-á a um valor excessivo e o fusível queimar.

Como o fusível queima quase ao mesmo tempo em que o resistor entra "em curto", não há tempo para executar teste de corrente ou voltagem.

Daí, a pesquisa de pane num circuito de C.C., em paralelo, para um componente "em curto", pode ser realizada com um ohmímetro. Mas, como no caso de teste de um resistor aberto, num circuito em paralelo um resistor "em curto" pode ser detectado com um ohmímetro somente se uma das extremidades do resistor por desconectada.

A pesquisa de pane num circuito resistivo em série-paralelo envolve a localização de defeitos por processo semelhante ao empregado nos circuitos em série ou paralelo.

No circuito mostrado na figura 8-155, uma interrupção ocorreu na parte em série.

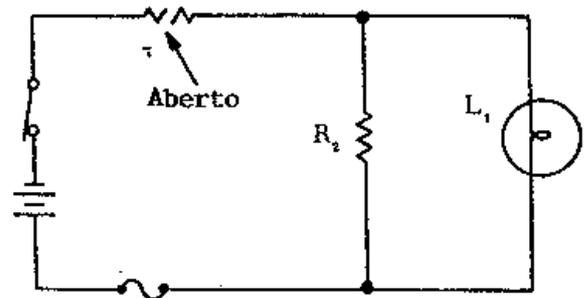


Figura 8-155 Uma abertura na parte em série de um circuito em série-paralelo.

Quando acontece uma interrupção em qualquer lugar da parte em série de um circuito em série-paralelo, o fluxo de corrente pára em todo o circuito. Neste caso, o circuito não funcionará e a lâmpada, L_1 , não acenderá.

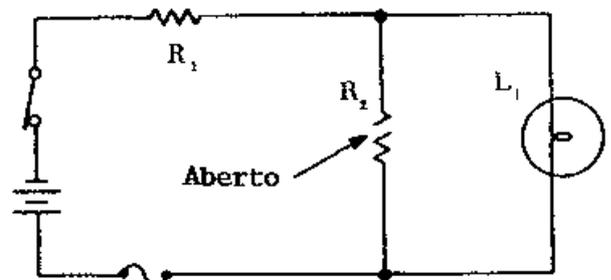


Figura 8-156 Uma abertura na parte em paralelo de um circuito em série-paralelo.

Se uma interrupção ocorre na parte em paralelo de um circuito em série-paralelo, conforme mostrado na figura 8-156, parte do circuito continuará a funcionar.

Neste caso, a lâmpada continuará acesa, mas seu brilho diminuirá, já que a resistência total do circuito aumentou e a corrente diminuiu.

Se uma interrupção acontece na derivação contendo a lâmpada, conforme mostrado na figura 8-157, o circuito continuará a funcionar com a resistência aumentada e a corrente diminuída, mas a lâmpada não acenderá.

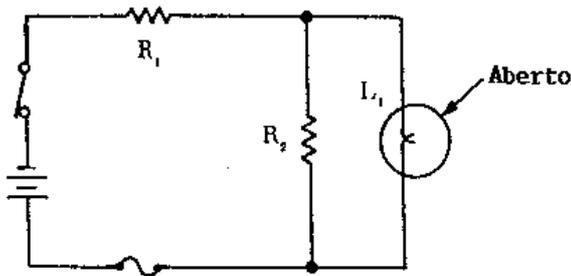


Figura 8-157 Uma lâmpada queimada em um circuito em série-paralelo.

Para explicar como o voltímetro e o ohmímetro podem ser usados para pesquisar circuitos em série-paralelo, o circuito mostrado na figura 8-158 foi assinalado em vários pontos.

Conectando-se um voltímetro entre os pontos A e D, a bateria e a chave podem ser testados quanto a interrupção. Conectando-se o voltímetro entre os pontos A e B pode-se testar a queda de voltagem através de R_1 .

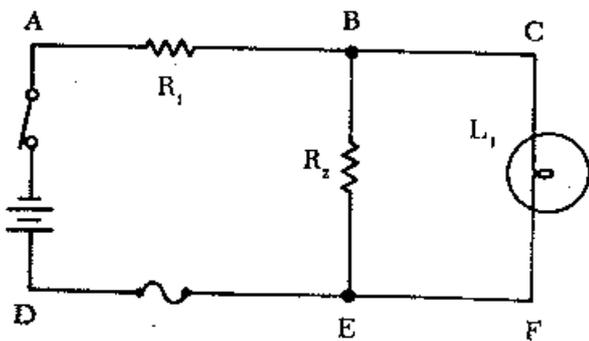


Figura 8-158 Usando um voltímetro para pesquisar panes em um circuito em série-paralelo.

Esta queda de voltagem é uma parte da voltagem aplicada. Também, se R_1 for interrompido, a leitura entre B e D será zero.

O condutor entre o terminal positivo da bateria e o ponto "E", bem como o fusível, podem ser testados quanto à continuidade, com a

colocação do voltímetro entre os pontos A e E. Se o condutor ou o fusível estiver aberto, o voltímetro indicará zero.

Se a lâmpada estiver acendendo, é óbvio que não há interrupção na ramificação em que ela se encontra, e o voltímetro poderia ser usado para detectar uma interrupção na ramificação contendo R_2 , desde que a lâmpada L_1 seja removida do circuito.

Pesquisar defeito na parte em série de um circuito em série-paralelo não apresenta dificuldade, mas na parte em paralelo podem ser obtidas leituras (marcações) enganosas.

Um ohmímetro pode ser usado para pesquisar este mesmo circuito. Com a chave aberta, a parte em série do circuito pode ser testada colocando-se as pontas de teste do ohmímetro entre os pontos A e B. Se R_1 ou o condutor estiver aberto, o ohmímetro marcará infinito; se não estiver aberto, o valor do resistor será indicado pelo instrumento.

Entre os pontos D e E, o fusível e o condutor podem ser testados quanto à continuidade, mas a parte em paralelo de circuito requer cuidados a fim de evitar medições equivocadas. Para testar entre os pontos B e E, a ramificação deve ser desconectada num desses pontos, e enquanto um deles estiver aberto, a derivação contendo a lâmpada pode ser testada com um ohmímetro.

Um "curto" na parte em série de um circuito em série-paralelo provoca diminuição na resistência total, que causará aumento da corrente total.

No circuito mostrado na figura 8-159, a resistência total é 100 ohms e a corrente total é 2 ampères. Se R_1 entra em "curto", a resistência total muda, para 50 ohms e a corrente total dobra para 4 ampères.

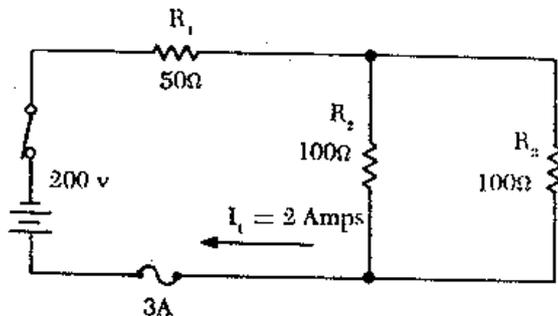


Figura 8-159 Encontrando um curto-circuito em um circuito em série-paralelo.

No circuito mostrado, isto provocaria a queima de fusível, mas se o fusível fosse de 5

ampères o circuito permaneceria funcionando. O resultado poderia ser o mesmo se R_1 ou R_3 tivesse entrado em “curto”.

A resistência total, em todo caso, cairia para 50 ohms. Disto, pode ser afirmado que, quando ocorre um “curto” num circuito em série-paralelo, a resistência total diminuirá e a corrente total aumentará. Um “curto”, normalmente causará uma interrupção no circuito, seja queimando o fusível ou danificando um componente do circuito. E, no caso de uma interrupção, um “curto” num circuito em série-paralelo pode ser detectado tanto com um ohmímetro quanto com um voltímetro.

CORRENTE ALTERNADA E VOLTAGEM

A corrente alternada tem substituído largamente a corrente contínua nos sistemas de energia comercial, por uma série de motivos. Pode ser transmitida a longas distâncias mais rápida e economicamente do que a corrente contínua, já que as voltagens de C.A. podem ser aumentadas ou diminuídas por meio de transformadores.

Porquanto, mais e mais unidades estão sendo operadas eletricamente em aeronaves; a demanda de energia é tal, que consideráveis vantagens podem ser obtidas pelo uso de C.A. Peso e espaço podem ser economizados, já que os equipamentos de C.A., especialmente os motores, são menores e mais simples do que os dispositivos de C.C.

Na maior parte dos motores de C.A. não são necessárias escovas, e o problema de comutação em altitude elevada é eliminado. “*Circuit-breakers*” opera satisfatoriamente sob carga num sistema de C.A. em altitudes elevadas, enquanto que o centelhamento é mais intenso nos sistemas C.C., obrigando a trocas frequentes de “*circuit-breakers*”.

Finalizando, a maior parte das aeronaves, usando sistema de corrente contínua de 24 volts, têm equipamentos específicos que requerem certa quantidade de corrente alternada com 400 ciclos.

C.A e C.C. comparadas

Muitos dos princípios, características e efeitos da corrente alternada são similares aos da corrente contínua. Também existem diferenças que ainda serão explanadas.

A corrente contínua flui constantemente, numa única direção com uma polaridade constante. Modifica a intensidade somente quando o circuito é aberto ou fechado, conforme mostrado na forma de onda de C.C., na figura 8-160.

A corrente alternada muda de direção a intervalos regulares, aumenta em valor a razão definida, de zero à máxima intensidade positiva e diminui até zero.

Formas de ondas C.A. e C.C. são comparadas na figura 8-160.

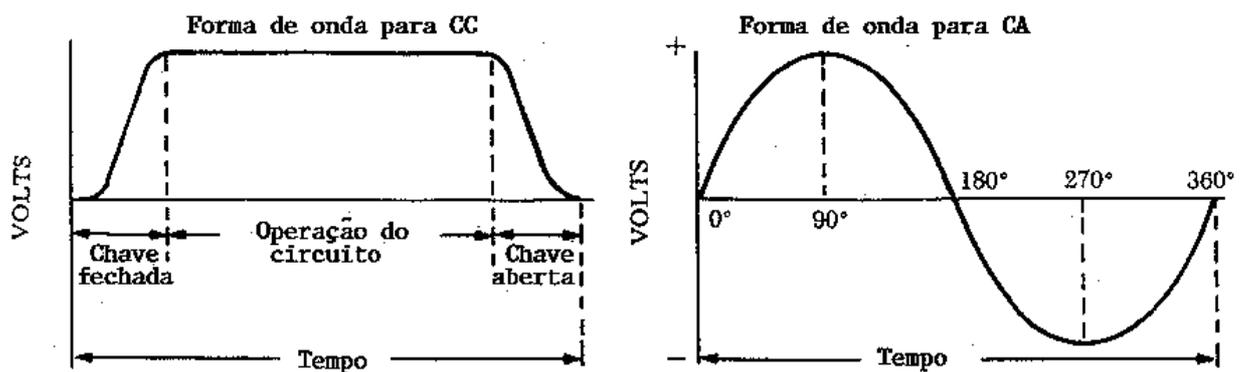


Figura 8-160 Curvas de voltagem de C.C. e de C.A.

Posto que a corrente alternada muda constantemente a intensidade e direção, dois efeitos que não ocorrem nos circuitos de C.C., ocorrem nos de C.A. São eles a reatância indutiva e a reatância capacitiva. Ambos serão discutidos adiante, neste capítulo.

Princípios do gerador

Após a descoberta de que uma corrente elétrica fluindo cria um campo magnético em torno do condutor, havia considerável especulação científica sobre a possibilidade de um cam-

po magnético poder criar um fluxo de corrente num condutor.

Em 1831, o cientista inglês Michael Faraday demonstrou que isto poderia ser realizado. Esta descoberta é a base do funcionamento do gerador, que assinalou o início da “Era da Eletricidade”. Para mostrar como uma corrente elétrica pode ser criada por um campo magnético, uma demonstração semelhante à ilustrada na figura 8-161 pode ser usada. Várias voltas de um condutor são enroladas em torno de um mio-

lo cilíndrico, e as extremidades do condutor são conectadas juntas, para formar um circuito completo que inclui um galvanômetro.

Se um ímã simples em barra for inserido no cilindro, pode-se observar que o galvanômetro deflexiona da sua posição zero numa direção (A da figura 8-161).

Quando o ímã está imóvel dentro de cilindro, o galvanômetro mostra uma leitura zero, indicando que não há corrente fluindo (B da figura 8-161).

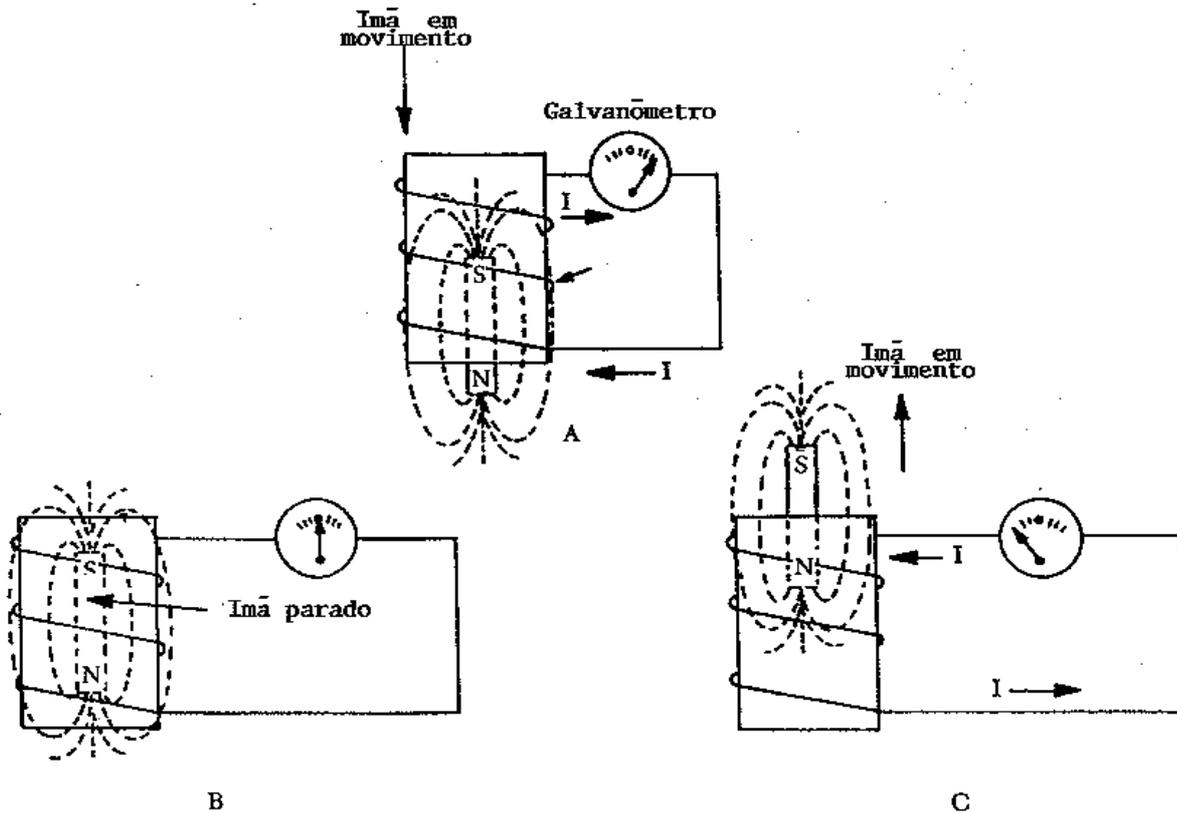


Figura 8-161 Induzindo um fluxo de corrente.

Em “C” da figura 8-161, o galvanômetro indica um fluxo de corrente na direção oposta, quando o ímã é puxado do cilindro.

Os mesmos resultados podem ser obtidos conservando-se o ímã imóvel e movendo-se o cilindro sobre o ímã, indicando que uma corrente flui quando há o movimento relativo entre a bobina de fio e o campo magnético.

Estes resultados obedecem a uma lei estabelecida pelo cientista alemão Heinrich Lenz.

A Lei de Lenz estabelece que a corrente induzida causada pelo movimento relativo de um condutor e um campo magnético sempre flui de acordo com a direção em que seu campo magnético se opõe ao movimento.

Quando um condutor é movido através de um campo magnético, conforme mostrado na figura 8-162, uma força eletromotriz (f.e.m.) é induzida no condutor.

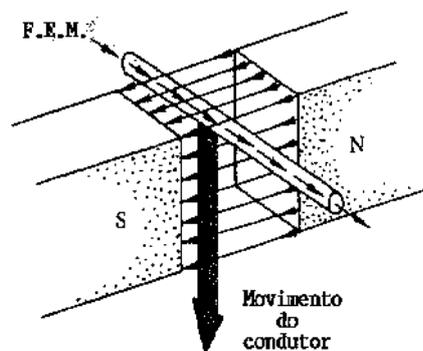


Figura 8-162 Induzindo uma F.E.M. em um condutor.

A direção (polaridade) da f.e.m. induzida é determinada pelas linhas de força magnética e a direção na qual o condutor é movimentado dentro do campo magnético.

A regra-da-mão-esquerda para geradores (não confundir com a regra-da-mão-esquerda aplicável a bobinas) pode ser usada para indicar a direção da f.e.m. induzida, conforme mostrado na figura 8-163.

O primeiro dedo (indicador) da mão esquerda é apontado na direção das linhas de força magnética (norte ou sul), o polegar é apontado na direção de movimento do condutor através do campo e o segundo dedo aponta na direção da f.e.m. induzida.

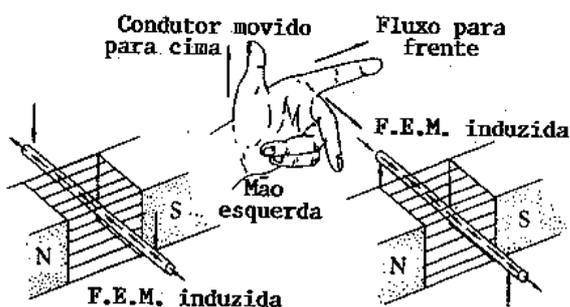


Figura 8-163 Aplicação da regra da mão esquerda para geradores.

Quando dois destes três fatores são conhecidos, o terceiro pode ser determinado usando-se esta regra.

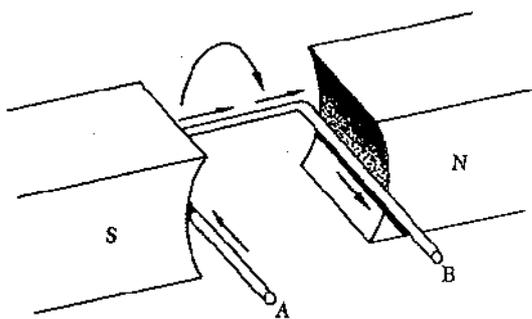


Figura 8-164 Voltagem induzida em um condutor em curva.

Quando um condutor dobrado é girado num campo magnético (ver figura 8-164), uma voltagem é induzida em cada lado da curva.

Os dois lados cortam o campo magnético em direções opostas, e embora o fluxo de corrente seja contínuo, move-se em direções con-

trárias com relação aos dois lados da curvatura do condutor.

Se os lados "A" e "B" são girados meia volta, e os lados do condutor tenham trocado de posição, a f.e.m. induzida em cada fio inverte sua direção, desde que o fio cortando as linhas de força na direção ascendente seja agora movimentado na descendente.

O valor de uma f.e.m. induzida depende de três fatores:

- (1) A quantidade de fios, movendo-se através do campo magnético;
- (2) A intensidade do campo magnético;
- (3) A velocidade de rotação.

Geradores de corrente alternada

Os geradores usados para produzir corrente alternada são chamados de geradores de C.A. ou alternadores. O gerador simples, mostrado na figura 8-165, constitui um meio de geração de uma voltagem alternada. Consiste numa volta de fio (*loop*) com marcações "A" e "B", rotativa, colocada entre dois polos magnéticos, "N" e "S".

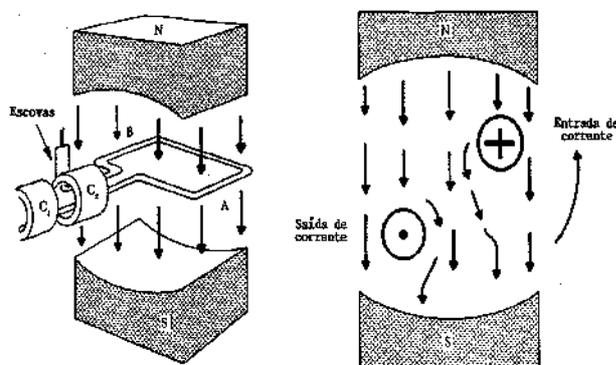


Figura 8-165 Gerador simples.

As extremidades do "loop" são conectadas a dois anéis metálicos deslizantes (anéis coletores), C_1 e C_2 . A corrente é retirada dos anéis coletores por escovas de carvão. Se o "loop" for considerado como fios "A" e "B" separados, e a regra-da-mão-esquerda para geradores (não confundir com a regra-da-mão-esquerda para bobinas) é aplicada, então pode ser observado que, quando o fio "A" move-se para cima através do campo, é induzida uma voltagem que causa o fluxo para dentro do "loop".

Quando o fio "B" move-se para baixo, dentro do campo, é induzida uma voltagem que causa o fluxo para fora do "loop".

Quando o enrolamento de fio se move no interior do campo, as voltagens induzidas nos dois lados do fio são cumulativas. Portanto, para propósitos expositivos, a ação de ambos os con-

dutores, "A" e "B", enquanto girando no campo magnético, é semelhante à ação do "loop".

A figura 8-166 ilustra a geração de corrente alternada com um "loop" simples, de condutor girando num campo magnético.

Como é girado na direção anti-horária, valores variantes de voltagens são induzidos nele.

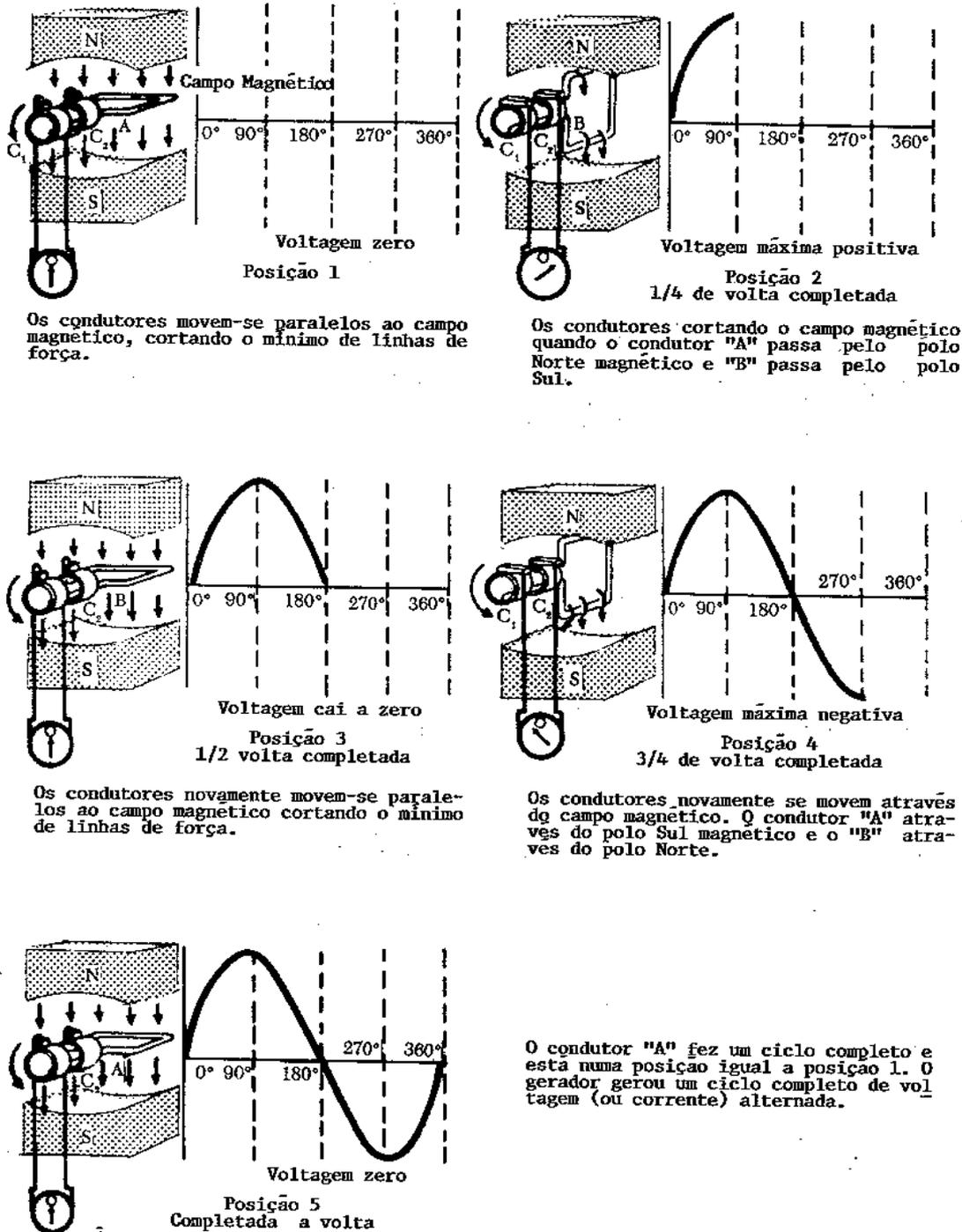


Figura 8-166 Geração de uma onda senoidal.

Na posição 1, o condutor "A" move-se paralelo às linhas de força, - já que não corta linhas de força, a voltagem induzida é zero.

O condutor avançando da posição 1 para a posição 2, aumenta a voltagem induzida gradualmente.

Na posição 2, o condutor move-se perpendicularmente ao fluxo e corta o número máximo de linhas de força, proporcionando a indução da voltagem máxima.

O condutor, movendo-se além da posição 2, corta uma quantidade decrescente de linhas de força a cada instante, e a voltagem induzida diminui.

Na posição 3, o condutor completou meia revolução e novamente move-se paralelo às linhas de força, e não há indução de voltagem no condutor.

Como o condutor "A" passa pela posição 3, a direção da voltagem se inverte, já que o condutor "A" move-se, agora, para baixo, cortando o fluxo na posição oposta.

O condutor "A" movendo-se através do pólo sul, diminui gradualmente a voltagem induzida, na direção negativa, até que na posição 4 o condutor mova-se perpendicularmente ao fluxo novamente, e seja gerada a voltagem negativa máxima.

Da posição 4 para a 5, a voltagem induzida decresce gradualmente até que atinja o valor zero, e o condutor e a onda estejam prontos para começar um outro ciclo.

A curva mostrada na posição 5 é chamada de onda senoidal. Representa a polaridade e intensidade dos valores instantâneos das voltagens geradas.

A linha base horizontal é dividida em graus, ou tempo, e a distância vertical acima ou abaixo da linha base representa o valor da voltagem em cada ponto particular, na rotação do enrolamento (*loop*).

Ciclo e freqüência

Sempre que uma voltagem ou corrente passam por uma série de mudanças, retorna ao ponto de partida e, então, reinicia a mesma série de mudanças, a série é chamada ciclo.

O ciclo é representado pelo símbolo (\sim). No ciclo de voltagem mostrado na figura 8-167, a voltagem aumenta de zero ao valor positivo máximo e cai para zero; então, aumenta para o valor máximo negativo e novamente cai a zero. Neste ponto, está em condições de iniciar nova série.

Existem duas alterações num ciclo completo, a positiva e a negativa. Cada qual é meio ciclo.

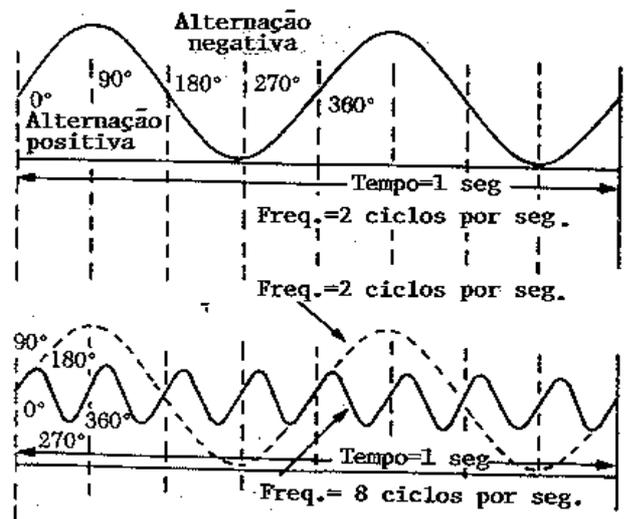


Figura 8-167 Freqüência em ciclos por segundo.

O número de vezes, em que cada ciclo ocorre num período de tempo, é chamado de freqüência. A freqüência de uma corrente elétrica ou voltagem indica o número de vezes em que um ciclo se repete em 1 segundo.

Num gerador, a voltagem e a corrente passam por um ciclo completo de valores, cada vez que um enrolamento ou condutor passa sob o pólo norte e o pólo sul do imã.

O número de ciclos para cada revolução de enrolamento ou condutor é igual ao de pares de pólos.

A freqüência, então, é igual ao número de ciclos em uma revolução, multiplicado pelo número de revoluções por segundo. Expresso em equação fica:

$$F = \frac{N^{\circ} \text{ de pólos}}{2} \times \frac{\text{r.p.m.}}{60}$$

onde $P/2$ é o número de pares de pólos e $\text{r.p.m.}/60$ o número de revoluções por segundo. Se num gerador de 2 pólos, o condutor é girado a 3.600 r.p.m., as revoluções por segundo são:

$$\text{r.p.s.} = \frac{3600}{60} = 60 \text{ revoluções por segundo}$$

Como existem 2 pólos, $P/2$ é igual a 1 e a freqüência é de 60 c.p.s..

Num gerador de 4 pólos, com uma velocidade do induzido de 1.800 r.p.m., substitui-se na equação:

$$F = \frac{P}{2} \times \frac{\text{r.p.m.}}{60}$$

$$F = \frac{4}{2} \times \frac{1800}{60} = 2 \times 30$$

$$F = 60 \text{ c.p.s.}$$

A par da frequência e ciclagem, a voltagem e a corrente alternada também têm uma característica chamada “fase”.

Num circuito alimentado por um alternador, deve haver uma certa relação de fase entre a voltagem e a corrente para que o circuito funcione eficientemente. Tal relação não somente deve haver num sistema alimentado por dois ou mais alternadores, mas também entre as voltagens e correntes individuais. Dois circuitos separados podem ser comparados pelas características de fase de cada um.

Quando duas ou mais ondas senóides passam por 0° e 180° simultaneamente, e alcançam seus picos, existe uma condição “em fase”, conforme mostrado na figura 8-168.

Os valores de pico (magnitudes) não têm que ser os mesmos para que a condição em fase exista.

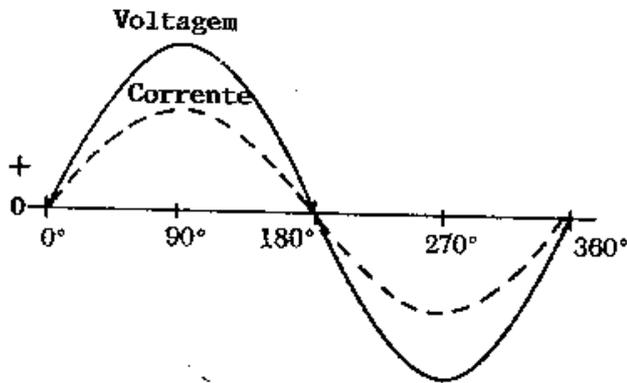


Figura 8-168 Condição “em fase” da corrente e da voltagem.

Quando as ondas senóides passam por 0° e 180° em tempos diferentes, uma condição “fora-de-fase” existe, conforme mostrado na figura 8-169.

Na medida em que as duas ondas senóides estão fora de fase, elas são indicadas pelo número de graus elétricos entre os picos correspondentes das ondas senóides.

Na figura 8-169, a corrente e a voltagem estão 30° fora de fase.

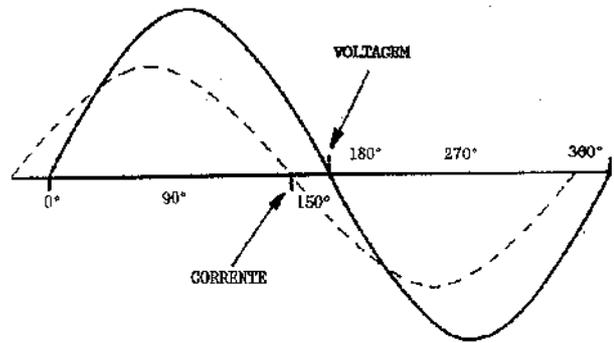


Figura 8-169 Condição de “fora de fase” da corrente e da voltagem.

Valores de corrente alternada

Existem três valores de corrente alternada que precisam ser considerados. São eles: instantâneo, máximo e efetivo.

Um valor instantâneo de voltagem ou corrente é a voltagem induzida ou corrente fluindo em qualquer momento. A onda senóide é uma série destes valores. O valor instantâneo da voltagem varia de zero em 0°, para máximo a 90°, volta a zero a 180°, vai para o máximo na direção oposta em 270° e a zero novamente em 360°. Qualquer ponto de uma onda senóide é considerado um valor instantâneo de voltagem.

O valor máximo é o instantâneo mais alto. O mais elevado valor positivo isolado ocorre quando a voltagem da onda senóide está a 90 graus, e o valor negativo isolado mais alto ocorre quando está a 270 graus. Estes são chamados valores máximos. O valor máximo é 1,41 vezes o valor efetivo (ver figura 8-170).

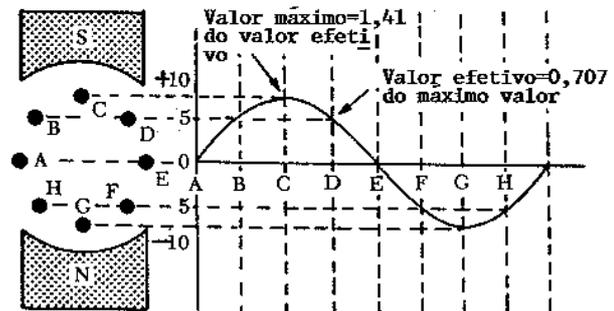


Figura 8-170 Valores efetivos e máximos de voltagem.

O valor efetivo da corrente alternada é o mesmo valor da corrente contínua, que possa produzir um igual efeito térmico. O valor efetivo é menor do que o valor máximo, sendo igual a 0,707 vezes o valor máximo. Então, os 110

volts oferecidos para consumo doméstico (rede) é apenas 0,707 do valor máximo dessa fonte. A voltagem máxima é aproximadamente 155 volts ($110 \times 1,41 = 155$ volts - máximo).

No estudo da corrente alternada, quaisquer valores dados para corrente ou voltagem são entendidos como sendo valores efetivos, a não ser que seja especificado em contrário e, na prática, somente os valores efetivos de voltagem e corrente são usados. Desta forma, voltímetros de corrente alternada e também os amperímetros medem o valor efetivo.

INDUTÂNCIA

Quando uma corrente alternada flui numa bobina de fio, a elevação e queda do fluxo de corrente, primeiro numa direção e depois na outra, provocam uma expansão e colapso do campo magnético em torno da bobina, na qual é induzida uma voltagem em direção oposta à voltagem aplicada, e que se opõe a qualquer mudança na corrente alternada (ver figura 8-171).

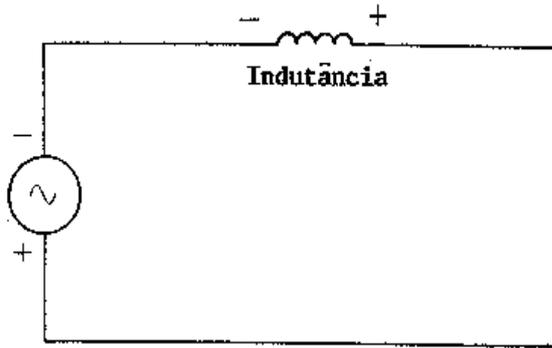


Figura 8-171 Circuito de CA contendo indutância.

A voltagem induzida é chamada de força contra-eletromotriz (f.c.e.m.), já que se opõe à voltagem aplicada.

Esta propriedade de uma bobina que se opõe ao fluxo de corrente através de si mesma é chamada de indutância.

A indutância de uma bobina é medida em henrys. Em qualquer bobina, a indutância depende de vários fatores, principalmente o número de espiras, a área de seção transversal da bobina e seu núcleo. Um núcleo de material magnético aumenta grandemente a indutância da bobina.

É indispensável lembrar, entretanto, que um fio reto também tem indutância, ainda que pequena, se comparada a de um fio enrolado (bobina).

Motores de C.A., relés e transformadores contribuem com indutância num circuito. Praticamente todos os circuitos de C.A. possuem elementos indutivos.

O símbolo para indutância, em fórmulas, é a letra "L". A indutância é medida em Henrys (abreviado h).

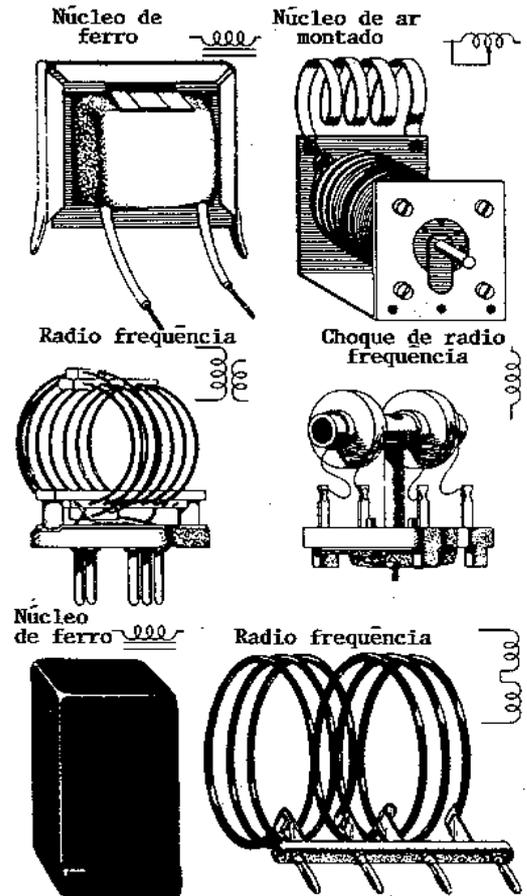


Figura 8-172 Vários tipos de indutores.

Um indutor (bobina) tem uma indutância de 1 Henry se uma f.e.m. de 1 volt é induzida, quando a corrente através do indutor está mudando à razão de 1 ampère por minuto. Entretanto, o Henry é uma unidade grande de indutância e é usada com indutores relativamente grandes, possuindo núcleos de ferro.

A unidade usada para pequenos indutores de núcleo de ar é o milihenry (mh). Para indutores de núcleo de ar ainda menores, a unidade de indutância é o microhenry (Mh).

A figura 8-172 mostra alguns dos vários tipos de indutores, juntamente com seus símbolos.

Os indutores podem ser conectados num circuito da mesma maneira que os resistores. Quando conectados em série, a indutância total é a soma das indutâncias, ou

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3, \text{ etc.}$$

Quando dois ou mais indutores são conectados em paralelo, a indutância total é, como as resistências em paralelo, menor do que a do menor indutor, ou

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

A indutância total dos indutores conectados em série paralelo pode ser calculada, resolvendo-se as indutâncias em paralelo e em seguida somando os valores em série. Em todos os casos, estas fórmulas são válidas para os indutores cujos campos magnéticos não tenham interação.

Reatância indutiva

A oposição ao fluxo de corrente, que as indutâncias proporcionam num circuito, é chamada reatância indutiva. O símbolo para reatância é X_L e é medida em ohms, assim como a resistência.

Em qualquer circuito em que haja apenas resistência, a equação para voltagem e corrente é a lei de ohm: $I = E/R$. Similarmente, quando há indutância num circuito, o envolvimento entre voltagem e corrente pode ser expresso assim:

$$\text{corrente} = \frac{\text{voltagem}}{\text{reatancia}}, \text{ ou } I = \frac{E}{X_L}$$

Onde, X_L = reatância indutiva do circuito em ohms.

Se todos os demais valores do circuito permanecem constantes, quanto maior a indutância numa bobina, maior o efeito de auto-indução, ou oposição. Conforme a frequência aumenta, a indutância reativa aumenta, já que à maior razão de mudança de corrente corresponde o aumento da oposição à mudança por parte da bobina. Portanto, a reação indutiva é proporcional à indutância e frequência, ou,

$$X_L = 2 \pi f L$$

Onde,

$$X_L = \text{reatância indutiva em ohms}$$

$$f = \text{frequência em ciclos por segundo}$$

$$\pi = 3,1416$$

Na figura 8-173, um circuito em série de C.A. é considerado como tendo indutância de 0,146 henry e uma voltagem de 110 volts com uma frequência de 60 ciclos por segundo.

Qual é a reatância indutiva? E o fluxo de corrente? (o símbolo (~) representa um gerador de C.A.)

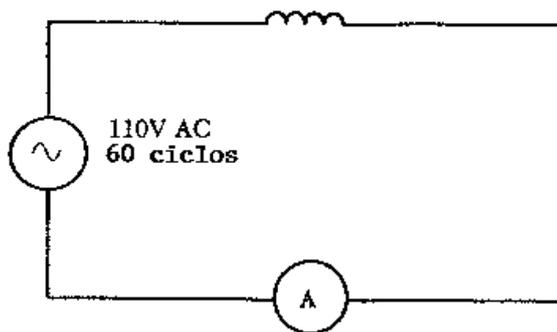


Figura 8-173 Circuito de C.A. contendo indutância.

Solução:

Para encontrar a reatância indutiva:

$$X_L = 2 \pi \times f \times L$$

$$X_L = 6,28 \times 60 \times 0,146$$

Para encontrar a corrente:

$$I = \frac{E}{X_L} = \frac{110}{55} = 2 \text{ ampères}$$

Em circuitos em série de C.A. (figura 8-174) as reatâncias indutivas são somadas da mesma forma que resistências em série num circuito de C.C..

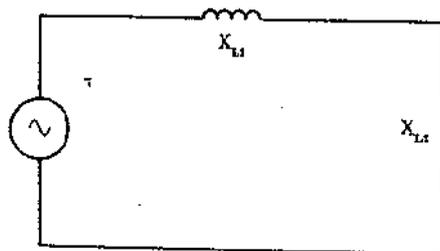


Figura 8-174 Indutância em série.

Daí, a reatância total no circuito ilustrado na figura 8-174 ser igual à soma das reatâncias individuais.

A reatância total de indutores conectados em paralelo (figura 8-175) é encontrada do mesmo modo que a resistência total num circuito em paralelo. Daí a reatância total de indutâncias conectadas em paralelo, conforme mostrado, ser expressa assim:

$$(X_L)_T = \frac{1}{\frac{1}{(X_L)_1} + \frac{1}{(X_L)_2} + \frac{1}{(X_L)_3}}$$

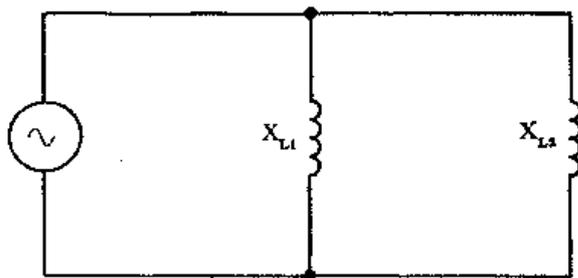


Figura 8-175 Indutância em paralelo.

CAPACITÂNCIA

Uma outra importante propriedade em circuitos de C.A., a par da resistência e indutância é a capacitância. Enquanto a indutância é representada num circuito por uma bobina, a capacitância é representada por um capacitor. Quaisquer dois condutores, separados por um não-condutor (chamado dielétrico), constituem um capacitor. Num circuito elétrico, um capacitor serve como reservatório de eletricidade.

Quando um capacitor é conectado através de uma fonte de corrente contínua, com uma bateria de acumuladores (circuito mostrado na figura 8-176) e a chave é então fechada, a placa marcada com “B” torna-se positivamente carregada e a placa “A” negativamente carregada.

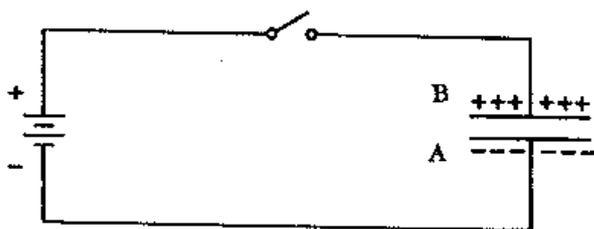


Figura 8-176 Capacitor em um circuito de CC.

A corrente flui no circuito externo durante o tempo que os elétrons estão se movendo de “B” para “A”. O fluxo de corrente no circuito é máximo no momento em que a chave é fechada, mas diminui continuamente, até alcançar zero.

A corrente torna-se zero assim que a diferença de voltagem de “A” e “B” torna-se igual a voltagem da bateria. Se a chave for aberta, as placas permanecem carregadas. Entretanto, o capacitor descarrega-se rapidamente, se colocado em “curto”.

A quantidade de eletricidade que um capacitor pode acumular depende de vários fatores, incluindo o tipo de material do dielétrico. É diretamente proporcional à área da placa, e inversamente proporcional à distância entre as placas.

Na figura 8-177, duas chapas planas de metal são colocadas próximo uma da outra (mas não se tocando). Normalmente elas são eletricamente neutras, isto é, não há evidência de carga elétrica em ambas as placas.

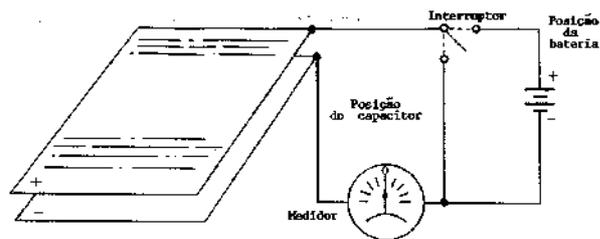


Figura 8-177 Circuito de um capacitor (condensador) básico.

No momento em que a chave é fechada na posição “bateria”, o medidor mostrará uma certa corrente fluindo numa direção, mas quase que, instantaneamente, retornará a zero.

Se a bateria for retirada do circuito e a chave for fechada na posição capacitor, o medidor mostrará uma corrente momentânea, mas em sentido contrário à anterior. Esta experiência demonstra que as duas placas acumulam energia, quando conectadas a uma fonte de voltagem, e liberam energia quando colocadas em “curto”. As duas chapas formam um capacitor simples, ou condensador e possuem a capacidade de acumular energia. A energia é realmente estocada no campo elétrico, ou dielétrico, entre as placas.

Também deve estar claro que durante o tempo em que o capacitor está sendo carregado ou descarregado, há corrente no circuito, embo-

ra o circuito esteja interrompido pelo intervalo entre as placas do capacitor. Entretanto, existe corrente somente enquanto ocorre carga e descarga, e este período de tempo é muito curto.

Não pode ocorrer nenhum movimento ininterrupto de corrente contínua através de um capacitor. Um capacitor bom bloqueará a corrente contínua (não a C.C. pulsativa) e permitirá a passagem dos efeitos da corrente alternada.

A carga de eletricidade que pode ser colocada num capacitor é proporcional à voltagem aplicada e à capacitância do capacitor (condensador). A capacitância depende da área total das placas, da espessura do dielétrico e da composição do dielétrico.

Se uma folha fina de baquelite (preenchida com mica) for substituída por ar entre as placas de um capacitor, por exemplo, a capacitância será aumentada cerca de cinco vezes.

Qualquer carga produzida por voltagem aplicada e mantida no limite por um isolador (dielétrico) cria um campo dielétrico.

Uma vez que o campo seja criado, tende a opor-se a qualquer mudança de voltagem que poderia afetar sua situação original. Todos os circuitos possuem alguma capacitância, mas a menos que possuam algum capacitor, ela é desconsiderada.

Dois condutores, chamados eletrodos ou placas, separados por um não-condutor (dielétrico) formam um capacitor simples. As placas podem ser feitas de cobre, de estanho ou de alumínio. Frequentemente elas são feitas de folha (metais comprimidos em finas folhas capazes de serem enroladas).

O dielétrico pode ser ar, vidro, mica, ou eletrólito, feito de uma película de óxido, mas o tipo usado determinará o total da voltagem que pode ser aplicada e a quantidade de energia que pode ser acumulada.

Os materiais dielétricos têm estruturas atômicas diferentes e apresentam quantidades diferentes de átomos para o campo eletrostático.

Todos os materiais dielétricos são comparados ao vácuo e recebem uma classificação numérica de valor de acordo com a razão de capacidade entre eles.

O número atribuído a um material é baseado na mesma área e espessura em relação ao vácuo

Os números usados para expressar essa razão são chamados constantes dielétricas, e são representados pela letra "K". A tabela na figura

8-178 apresenta o valor de "K" para alguns materiais usados.

Material	K (Constante dielétrica)
Ar	1.0
Resina	2.5
Papel de amianto	2.7
Borracha dura	2.8
Papel seco	3.5
Isolantita	3.5
Vidro comum	4.2
Quartzo	4.5
Mica	4.5 a 7.5
Porcelana	5.5
Vidro cristal	7.0
Vidro óptico	7.9

Figura 8-178 Constantes Dielétricas.

Se uma fonte de corrente contínua é substituída por bateria, o capacitor atua um pouco diferente do que ocorre com corrente contínua.

Quando é usada a corrente alternada num circuito (figura 8-179), a carga das placas modifica-se constantemente. Isto significa que a eletricidade deve fluir primeiro de "Y", no sentido horário, para "X", depois, de "X", no sentido anti-horário, para "Y", depois, de "Y", no sentido horário, para "X", e assim por diante.

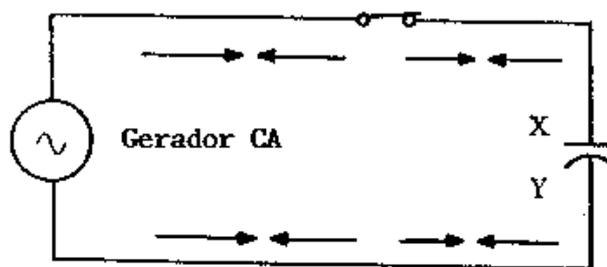


Figura 8-179 Capacitor num Circuito CA.

Embora nenhuma corrente flua através do isolador entre as placas do capacitor, ela flui constantemente no restante do circuito, entre "X" e "Y".

Num circuito em que existe somente capacitância, a corrente precede a voltagem, ao passo que num circuito onde exista somente indutância, a corrente retarda-se frente a voltagem.

A unidade de medida de capacitância é o farad, para o qual o símbolo é a letra "F". O fa-

rad é muito grande para uso prático e a unidade geralmente usada é o microfarad (μf), um milionésimo do farad, e o micro-microfarad ($\mu\mu\text{f}$), um milionésimo do microfarad.

Tipos de capacitores

Os capacitores podem ser divididos em dois grupos: fixos e variáveis. Os capacitores fixos que têm, aproximadamente, capacitância constante, podem ser divididos de acordo com o tipo de dielétrico usado nas seguintes classes: papel, óleo, mica e capacitores eletrolíticos. Os capacitores de cerâmica são também usados em alguns circuitos.

Quando conectando capacitores eletrolíticos num circuito, a correta polaridade tem que ser observada. Capacitores de papel podem ter um terminal marcado “ground” (terra), significando que este terminal está ligado à folha externa. Normalmente, a polaridade não tem que ser observada em capacitores de papel, óleo, mica ou cerâmica.

Capacitores de papel

As placas dos capacitores de papel são tiras de folha de metal, separadas por papel encerado (figura 8-180). A capacitância dos capacitores de papel está na faixa de 200 $\mu\mu\text{f}$ a alguns μf . As tiras de folha e as de papel são enroladas juntas, para formar um cartucho cilíndrico, que é então selado com cera para afastar a umidade e prevenir corrosão e vazamento.

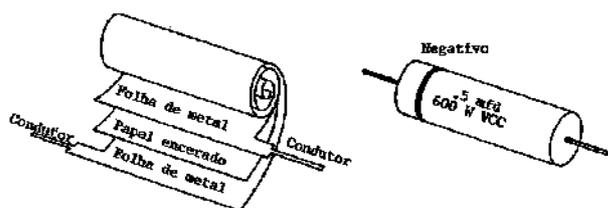


Figura 8-180 Capacitor de papel.

Duas pontas de metal são soldadas às placas. Cada uma estendendo-se para cada lado do cilindro. O conjunto é incluído tanto numa cobertura de papelão quanto numa capa de plástico moldado duro (uma ou outra).

Os capacitores tipo banheira “bathtub” são capacitores de papel em cartuchos hermeticamente fechados em capas metálicas. A capa freqüentemente serve como um terminal comum

para vários capacitores incluídos, mas quando não é um terminal, a capa serve como uma blindagem contra interferência elétrica (figura 8-181).

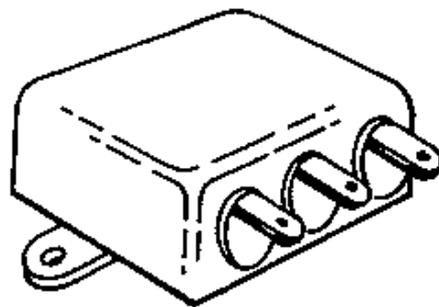


Figura 8-181 Capacitor de papel tipo banheira.

Capacitores a óleo

Em transmissores de radar e rádio, altas voltagens, suficientes para causar centelhamento ou ruptura em dielétricos de papel, são muitas vezes empregadas.

Conseqüentemente, nestas aplicações, capacitores que usam óleo ou papel impregnado com óleo, como material dielétrico são preferidos.

Os capacitores deste tipo são consideravelmente mais caros do que os capacitores comuns de papel e o seu uso é, em geral, restrito a equipamentos de transmissão de rádio e radar.

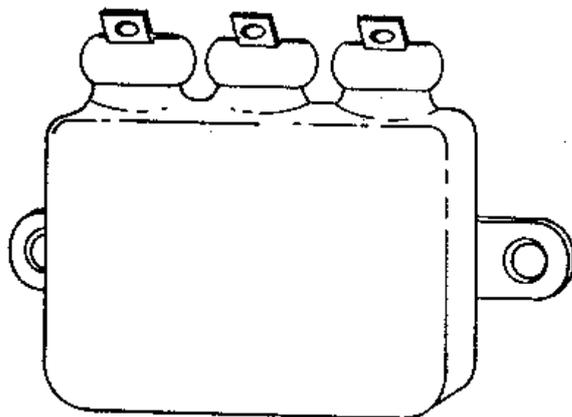


Figura 8-182 Capacitor de óleo

Capacitores de mica

O capacitor fixo de mica é feito de placas de folha de metal, que são separadas por folhas de mica formando o dielétrico. O conjunto inteiro é coberto com plástico moldado, que evita a umidade.

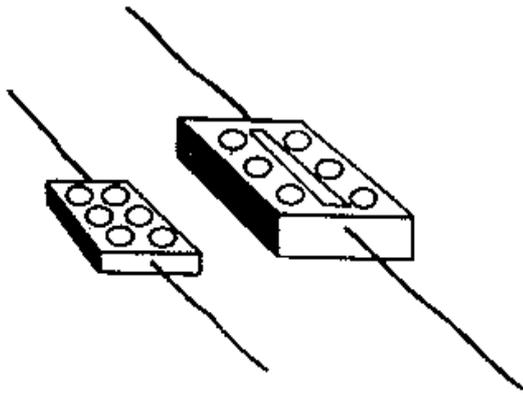


Figura 8-183 Capacitores de mica.

A mica é um excelente dielétrico que suporta maiores voltagens do que o papel, sem permitir centelhamento entre as placas. Os valores normais dos capacitores de mica variam de aproximadamente $50 \mu\text{f}$ a cerca de $0.02 \mu\text{f}$. Capacitores de mica são mostrados na figura 8-183

Capacitores eletrolíticos

Para capacitâncias maiores do que alguns microfarads, as áreas das placas dos capacitores de mica ou papel precisam se tornar muito grandes.

Então, neste caso, normalmente são empregados capacitores eletrolíticos, que permitem grandes capacitâncias em pequenos tamanhos físicos. Sua faixa de valores abrange de 1 a cerca de 1.500 microfarads. Diferentemente dos outros tipos, os capacitores eletrolíticos são geralmente polarizados e podem ser submetidos apenas à voltagem contínua ou voltagem contínua pulsativa, embora um tipo especial de capacitor eletrolítico seja feito para uso em motores.

O capacitor eletrolítico é amplamente utilizado em circuitos eletrônicos e consiste em duas placas de metal, separadas por um eletrólito. O eletrólito em contato com o terminal negativo, tanto na forma líquida ou pastosa, inclui o terminal negativo.

O dielétrico é uma película de óxido extremamente fina depositada sobre o eletrodo positivo do capacitor. O eletrodo positivo é uma folha de alumínio dobrada para obtenção de máxima área.

O capacitor é submetido a processo de modelagem durante a fabricação, quando uma corrente é passada através dele. O fluxo de cor-

rente resulta no depósito de fina cobertura de óxido sobre a placa de alumínio.

O espaço justo dos eletrodos positivo e negativo aumenta relativamente o alto valor de capacitância, mas permite maior possibilidade de interrupção de voltagem e vazamento de elétrons de um eletrodo para o outro.

Dois tipos de capacitores eletrolíticos são usados: (1) eletrolítico úmido; e (2) eletrolítico seco. No primeiro, o eletrólito é um líquido e o invólucro deve ser à prova de vazamento. Este tipo deve sempre ser montado na posição vertical.

O eletrólito do eletrolítico seco é uma pasta num separador feito de um material absorvente como gaze ou papel. O separador não somente conserva o eletrólito no lugar mas também previne possibilidade de “curto-circuito” entre as placas. Capacitores eletrolíticos secos são feitos tanto na forma cilíndrica quanto retangular, e podem ser cobertos com papelão ou metal. Já que o eletrólito não pode derramar, os capacitores secos podem ser montados em qualquer posição conveniente. Capacitores eletrolíticos são mostrados na figura 8-184.

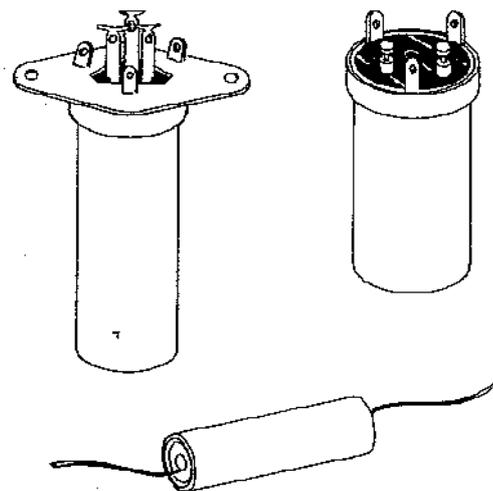
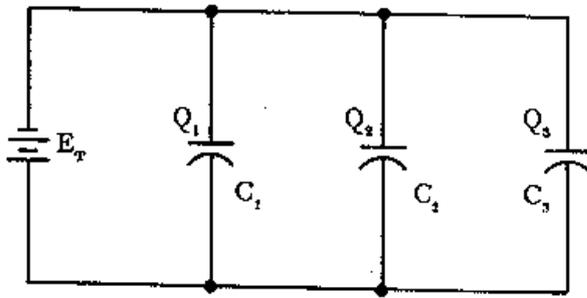


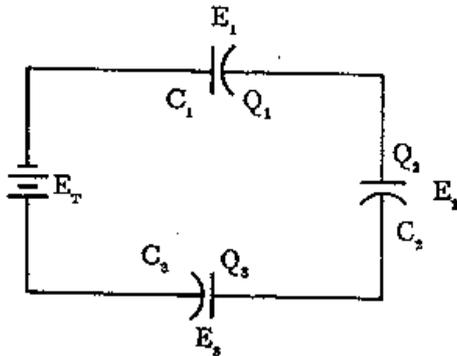
Figura 8-184 Capacitores eletrolíticos.

Capacitores em paralelo e em série

Os capacitores podem ser combinados em paralelo ou em série, para dar valores equivalentes, que podem ser tanto a soma dos valores individuais (em paralelo) ou um valor menor do que a menor capacitância (em série). A figura 8-185 mostra as ligações em série e em paralelo.



$C_t = C_1 + C_2 + C_3$
A - Paralelo



$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$
B - Série

Figura 8-185 Capacitores em paralelo e em série.

As duas unidades usadas em medição da capacitância são o farad e o coulomb. Conforme definido anteriormente, o farad é quantidade de capacitância presente num capacitor, quando um coulomb de energia elétrica é acumulada nas placas, e um volt é aplicado através do capacitor. Um coulomb é a carga elétrica de 6,28 bilhões de bilhões de elétrons. Distó, conclui-se que:

$$C \text{ (em farads)} = \frac{Q \text{ (em coulombs)}}{E \text{ (em volts)}}$$

Em "A" da figura 8-185, a voltagem, "E", é a mesma para todos os capacitores. A carga total, Q_t , é a soma das cargas individuais, Q_1 , Q_2 e Q_3 .

Usando a equação básica para o capacitor,

$$C = \frac{Q}{E}$$

A carga total é $Q_t = C \times E$, onde C_t é a capacitância total. Já que a carga total dos capacitores em paralelo é a soma das cargas individuais dos capacitores,

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Usando ambas as equações para a carga total, desenvolve-se a equação

$$C_t E = C_1 E + C_2 E + C_3 E$$

Dividindo-se ambos os termos da equação por E, dá-se

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

Esta fórmula é usada para determinar a capacitância total, para qualquer número de capacitores em paralelo.

Na arrumação em série, (B da figura 8-185), a corrente é a mesma em todas as partes do circuito. Cada capacitor desenvolve uma voltagem durante a carga, e a soma das voltagens de todos os capacitores tem que ser igual à voltagem aplicada, E.

Por meio da equação para capacitor, a voltagem aplicada, E, é igual à carga total dividida pela capacitância total, ou

$$E = \frac{Q_t}{C_t}$$

A carga total, Q_t , é igual à carga em qualquer dos capacitores, porque a mesma corrente flui em todos pelo mesmo intervalo de tempo e porque a carga é igual à corrente vezes o tempo em segundos ($Q_t = I \times t$).

$$\text{Por isso, } Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

e, uma vez que em um circuito com capacitores em série

$$C_k = C_1 + C_2 + C_3,$$

onde E_1 , E_2 , E_3 são as voltagens dos três capacitores.

Então,

$$\frac{Q_t}{C_t} = \frac{Q_t}{C_1} + \frac{Q_t}{C_2} + \frac{Q_t}{C_3}$$

Dividindo a equação por Q_t , temos

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

A recíproca da capacitância total de qualquer número de capacitores em série é igual à soma dos recíprocos valores individuais. Os capacitores em paralelo combinam-se por uma regra semelhante à usada na combinação de resistores em série.

Os capacitores em série combinam-se por uma regra semelhante da combinação de resistores em paralelo. No arranjo de dois capacitores em série, C_1 , C_2 , a capacidade total é dada pela equação:

$$C_t = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

Classificação de voltagem dos capacitores

Na seleção ou substituição de um capacitor para uso em um circuito em particular, o seguinte deve ser considerado: (1) o valor da capacitância desejada; e (2) a voltagem à qual o capacitor será submetido.

Se a voltagem aplicada às placas for alta demais, o dielétrico romper-se-á, e ocorrerá o centelhamento entre as placas. O capacitor é então “colocado em curto”, e o possível fluxo de corrente poderá causar danos a outras partes do equipamento. Os capacitores possuem uma classificação de voltagem que não deve ser excedida.

A voltagem de trabalho do capacitor é a voltagem máxima que pode ser aplicada sem risco de centelhamento. A voltagem de trabalho depende (1) do tipo de material empregado como dielétrico; e (2) da espessura de dielétrico.

A voltagem é um fator a ser considerado na determinação de capacitância, porque a capacitância diminui à medida que a espessura do dielétrico aumenta.

Um capacitor de alta voltagem, que possui um dielétrico espesso precisa ter uma área de placa maior, de forma a manter a mesma capacitância que um capacitor de baixa voltagem similar, tendo um dielétrico fino. A capacidade de alguns materiais dielétricos comumente usados está listada na figura 8-186.

A classificação da voltagem também depende da frequência, porque as perdas e o efeito térmico resultante aumentam conforme o aumento da frequência.

Dielétrico	K	Resistência de isolamento do dielétrico (volts por 0,001 de polegada)
Ar	1.0	80
Papel		
(1) Parafinado	2.2	1200
(2) Encerado	3.1	1800
Vidro	4.2	200
Óleo de Mamona	4.7	380
Baquelite	6.0	500
Mica	6.0	2000
Fibra	6.5	50

Figura 8-186 Resistência de isolamento de alguns materiais dielétricos.

Um capacitor que pode ser seguramente carregado em 500 volts C.C., não pode ser submetido com segurança a C.A. ou C.C. pulsativa, com valores efetivos de 500 volts.

Uma voltagem alternada de 500 volts (r.m.s.) tem um pico de voltagem de 707 volts, e um capacitor no qual seja aplicado deve ter uma voltagem de trabalho de, no mínimo, 750 volts. O capacitor deve, então, ser selecionado de tal forma que sua voltagem de trabalho seja, pelo menos, 50% maior do que a mais alta voltagem a ser aplicada nele.

Reatância capacitiva

A capacitância, como a indutância, oferece oposição ao fluxo de corrente. Esta oposição é chamada reatância e é medida em ohms. O símbolo para reatância capacitiva é X_c . A equação,

$$\text{corrente} = \frac{\text{voltagem}}{\text{reatancia capacitiva}}, \text{ ou}$$

$$I = \frac{E}{X_c}$$

é similar à lei de Ohm e a equação para corrente num circuito indutivo. Maior a frequência, menor a reatância. Daí, a reatância capacitiva,

$$X = \frac{1}{2 \pi \times f \times c}$$

onde: f = frequência em ciclos por segundo
 c = capacidade em farads
 $2 \pi = 6,28$

Problema:

Um circuito em série é concebido, em que a voltagem utilizada seja 110 volts a 60 c.p.s. e a capacitância de um condensador seja 80 μf . Achar a reatância capacitiva e o fluxo de corrente.

Solução:

Para encontrar a reatância capacitiva, a equação $X_c = 1/2 \pi f c$ é usada. Primeiro, a capacitância, 80 μf , é convertida para farads, dividindo-se 80 por 1.000.000, já que 1 milhão de microfarads é igual a 1 farad. Este quociente é igual a 0,000080 farad. Substituindo na equação,

$$X_c = \frac{1}{6,28 \times 60 \times 0,000080}$$

$$X_c = 33,2 \text{ ohms de reatância}$$

Encontra-se o fluxo de corrente:

$$I = \frac{E}{X_c} = \frac{110}{33,2} = 3,31 \text{ ampères}$$

Reatâncias capacitivas em série e em paralelo

Quando capacitores são conectados em série, a reatância é igual à soma das reatâncias individuais. Então,

$$(X_c)^t = (X_c)_1 + (X_c)_2$$

A reatância total dos capacitores conectados em paralelo é encontrada da mesma forma que a resistência total é calculada num circuito em paralelo:

$$(X_c)_t = \frac{1}{\frac{1}{(X_c)_1} + \frac{1}{(X_c)_2} + \frac{1}{(X_c)_3}}$$

Fase de corrente e voltagem em circuito reativo

Quando corrente e voltagem cruzam o zero e alcançam o valor máximo ao mesmo tempo, diz-se que estão “em fase”(“A” da figura 8-187). Se a corrente e a voltagem passam pelo zero e atingem o valor máximo em tempos diferentes, são ditas “fora de fase”.

Num circuito contendo apenas indutância, a corrente alcança um valor máximo depois da voltagem, atrasando-se em 90 graus ou um quarto de ciclo em relação à voltagem (“B” da figura 8-187). Num circuito contendo apenas capacitância, a corrente alcança seu valor máximo, e adianta-se em relação à voltagem por 90 graus ou um quarto de ciclo (“C” da figura 8-187). Para a corrente se atrasar ou adiantar em relação à voltagem num circuito, depende da intensidade da resistência, indutância e capacitância no circuito.

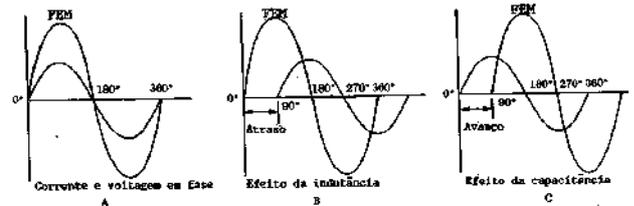


Figura 8-187 Fase de corrente e voltagem.

LEI DE OHM PARA CIRCUITOS DE C.A.

As regras e equações para circuitos de C.C. aplicam-se a circuitos de C.A. somente quando os circuitos contêm resistências, como no caso de lâmpadas ou elementos térmicos. Para que se use valores efetivos de voltagem e corrente em circuitos de C.A., o efeito de indutância e capacitância com resistência precisa ser considerado.

O efeito combinado de resistência, reatância indutiva e reatância capacitiva forma uma oposição total ao fluxo de corrente num circuito de C.A. Tal oposição é chamada de impedância, e é representada pela letra “Z”. A unidade de medida para a impedância é o ohm.

Circuitos de C.A. em série

Se um circuito de C.A. consiste de resistência apenas, o valor da impedância é o mesmo que o da resistência e a lei de Ohm para um circuito de C.A., $I = E/Z$ é exatamente a mesma como para um circuito de C.C.

Na figura 8-188, está ilustrado um circuito em série, contendo uma lâmpada com resistência de 11 ohms conectada através de uma fonte. Para encontrar quanta corrente fluirá, se forem aplicados 110 volts C.C., e quanta corrente fluirá se forem aplicados 110 volts C.A., os seguintes exemplos são resolvidos:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110\text{v}}{11\Omega} = 10 \text{ ampères c.c.}$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110\text{v}}{11\Omega} = 10 \text{ ampères c.a.}$$

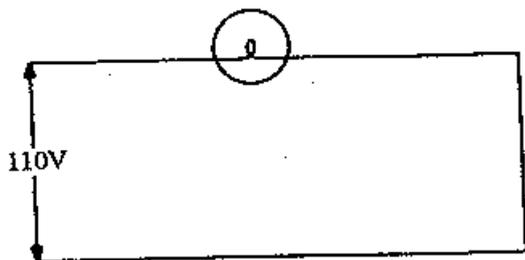


Figura 8-188 Circuito em série.

Quando um circuito de C.A. contém resistência e também indutância ou capacitância, a impedância, "Z", não é a mesma que a resistência, "R". A impedância é a oposição total do circuito para o fluxo de corrente.

Num circuito de C.A., esta oposição consiste de resistência e reatância indutiva ou capacitiva, ou elementos de ambas.

A resistência e a reatância não podem ser somadas diretamente, mas podem ser consideradas duas forças agindo em ângulos retos entre si.

Assim sendo, a relação entre resistência, reatância e impedância pode ser ilustrada por um triângulo retângulo (mostrado na figura 8-189).

A fórmula para achar a impedância, ou total oposição ao fluxo de corrente num circuito de C.A. pode ser obtida pelo uso de lei dos triângulos-retângulos, chamada de teorema de Pitágoras, aplicável a qualquer triângulo retângulo.

Ela estabelece que o quadrado da hipotenusa é igual a soma dos quadrados dos catetos.

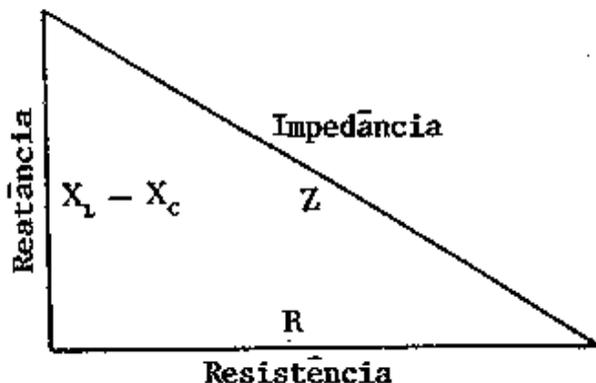


Figura 8-189 Triângulo de impedância.

Assim, o valor de qualquer lado de um triângulo retângulo pode ser encontrado se os dois outros lados forem conhecidos. Se um circuito de C.A. contiver resistência e indutância, como mostrado na figura 8-190, a relação entre os lados pode ser determinada assim:

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

A raiz quadrada de ambos os lados da equação

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Esta fórmula pode ser usada para determinar a impedância, quando os valores da reatância indutiva e da resistência são conhecidos.

Ela pode ser modificada para resolver impedância em circuitos contendo reatância capacitiva e resistência, substituindo-se X_L^2 por X_C^2 , na fórmula.

Em circuitos contendo resistência com reatâncias capacitivas e indutivas juntas, as reatâncias podem ser combinadas, mas por causa dos seus efeitos opostos no circuito, elas são combinadas por subtração:

$$X = X_L - X_C \text{ ou } X = X_C - X_L$$

(o menor é sempre subtraído do maior)

Na figura 8-190, um circuito em série, com resistência e indutância conectadas em série é ligado a uma fonte de 110 volts com 60 ciclos por segundo. O elemento resistivo é uma lâmpada, com resistência de 6 ohms, e o elemento indutivo é uma bobina com indutância de 0,021 Henry. Qual é o valor da impedância e a corrente através da lâmpada e da bobina?

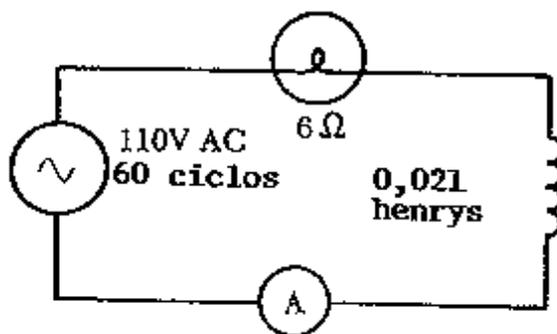


Figura 8-190 Circuito contendo resistência e indutância.

Solução:

Primeiro, a reatância indutiva da bobina é calculada:

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$
$$X_L = 6,28 \times 60 \times 0,021$$
$$X_L = 8 \text{ ohms de reatância indutiva}$$

Depois, é calculada a impedância total:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$
$$Z = \sqrt{6^2 + 8^2}$$
$$Z = \sqrt{36 + 64}$$
$$Z = \sqrt{100}$$
$$Z = 10 \text{ ohms de impedância.}$$

Em seguida, o fluxo de corrente

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110}{10} = 11 \text{ ampères de corrente.}$$

A queda de voltagem através da resistência (E_R) é

$$E_R = I \times R$$
$$E_R = 11 \times 6 = 66 \text{ volts}$$

A queda da voltagem através da indutância (E_{XL}) é

$$E_{XL} = I \times X_L$$
$$E_{XL} = 11 \times 8 = 88 \text{ volts}$$

A soma das duas voltagens é maior do que a voltagem da fonte. Isto decorre do fato de as duas voltagens estarem fora de fase e, assim sendo, representam de per si a voltagem máxima. Se a voltagem, no circuito, for medida com um voltímetro, ela será de aproximadamente 110 volts a voltagem da fonte.

Isto pode ser provado pela equação

$$E = \sqrt{(E_R)^2 + (E_{XL})^2}$$
$$E = \sqrt{66^2 + 88^2}$$
$$E = \sqrt{4356 + 7744}$$
$$E = \sqrt{12.100}$$
$$E = 110 \text{ volts}$$

Na figura 8-191 é ilustrado um circuito em série, no qual um capacitor de 200 Mf está conectado em série com uma lâmpada de 10 ohms.

Qual é o valor da impedância, do fluxo de corrente e da queda de voltagem através da lâmpada?

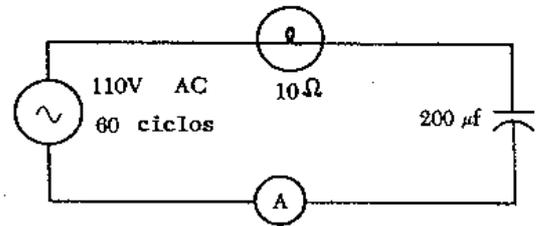


Figura 8-191 Circuito contendo resistência e capacitância.

Solução:

Primeiro, a capacitância é convertida de Mf para farads. Já que 1 milhão de microfarads é igual a 1 farad, então

$$200 \text{ Mf} = \frac{200}{1.000.000} = 0,000200 \text{ farads}$$

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

$$X_c = \frac{1}{6,28 \times 60 \times 0,000200 \text{ farads}}$$

$$X_c = \frac{1}{0,07536} =$$

$$= 13\Omega \text{ de reatância capacitiva}$$

Para encontrar a impedância,

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$
$$Z = \sqrt{10^2 + 13^2}$$
$$Z = \sqrt{100 + 169}$$
$$Z = \sqrt{269}$$

$$Z = 16,4 \text{ ohms de reatância capacitiva}$$

Para encontrar a corrente,

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110}{16,4} = 6,7 \text{ ampères}$$

A queda de voltagem na lâmpada é

$$E_R = 6,7 \times 10$$

$$E_R^R = 67 \text{ volts}$$

A queda de voltagem no capacitor (E_{XC}) será

$$E_{XC} = I \times X_C$$

$$E_{XC} = 6,7 \times 13$$

$$E_{XC} = 86,1 \text{ volts}$$

A soma destas duas voltagens não é igual à voltagem aplicada, já que a corrente é avançada em relação à voltagem. Para encontrar a voltagem aplicada, usa-se a fórmula:

$$E_T = \sqrt{(E_R)^2 + (E_{XC})^2}$$

$$E_T = \sqrt{67^2 + 86,1^2}$$

$$E_T = \sqrt{4489 + 7413}$$

$$E_T = \sqrt{11902}$$

$$E_T = 110 \text{ volts}$$

Quando o circuito contém resistência, indutância e capacitância, a seguinte equação é usada para achar a impedância:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Exemplo:

Qual é a impedância de um circuito em série (figura 8-192), consistindo de um capacitor com reatância de 7 ohms, um indutor com uma reatância de 10 ohms e um resistor com resistência?

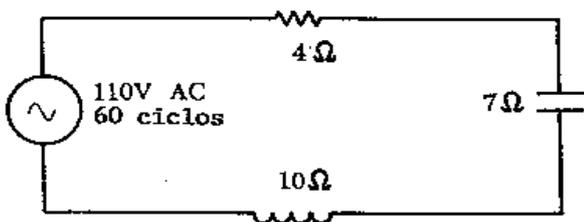


Figura 8-192 Circuito contendo resistência, indutância e capacitância.

Solução:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{4^2 + (10 - 7)^2}$$

$$Z = \sqrt{4^2 + 3^2}$$

$$Z = \sqrt{25}$$

$$Z = 5 \text{ ohms}$$

Considerando que a reatância do capacitor é 10 ohms e a reatância de indutor é 7 ohms, então X_C é maior do que X_L .

Então,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{4^2 + (7 - 10)^2}$$

$$Z = \sqrt{4^2 + (-3)^2}$$

$$Z = \sqrt{16 + 9}$$

$$Z = \sqrt{25}$$

$$Z = 5 \text{ ohms}$$

Circuitos de C.A. em paralelo

Os métodos usados para resolver problemas de circuitos de C.A. em paralelo são basicamente os mesmos usados para os circuitos em série de C.A..

Voltagens ou correntes fora-de-fase podem ser somadas usando-se a lei dos triângulos retângulos, mas solucionando-se problemas de circuitos. As correntes através das ramificações são somadas desde que as quedas de voltagens através das várias derivações sejam as mesmas e iguais à voltagem aplicada.

Na figura 8-193 é mostrado esquematicamente, um circuito de C.A. em paralelo, contendo uma indutância e uma resistência. A corrente fluindo através da indutância, I_L , é de 0,0584 ampère, e a corrente fluindo através da resistência é de 0,11 ampère.

Qual é a resistência total no circuito?

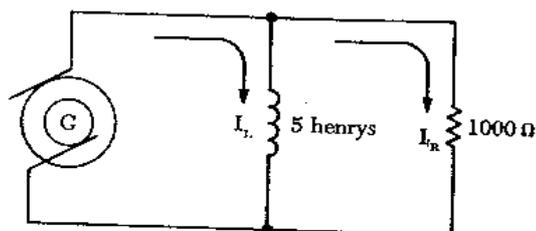


Figura 8-193 Circuito em paralelo CA contendo indutância e resistência.

Solução:

$$\begin{aligned}
I_T &= \sqrt{I_L^2 + I_R^2} \\
&= \sqrt{(0,0584)^2 + (0,11)^2} \\
&= \sqrt{0,0155} = 0,1245 \text{ ampère}
\end{aligned}$$

Já que a reatância indutiva ocasiona adiantamento da voltagem em relação à corrente, a corrente total, que contém um componente da corrente indutiva, retarda-se em relação a voltagem aplicada.

Plotando-se a corrente e a voltagem, o ângulo entre os dois, chamado ângulo de fase, ilustra o quanto a corrente se atrasa em relação à voltagem.

Na figura 8-194, um gerador de 110 volts conectado a uma carga, consistindo de uma capacitância de 2µf e uma capacitância de 10 ohms, em paralelo. Qual é o valor da impedância e do fluxo total de corrente?

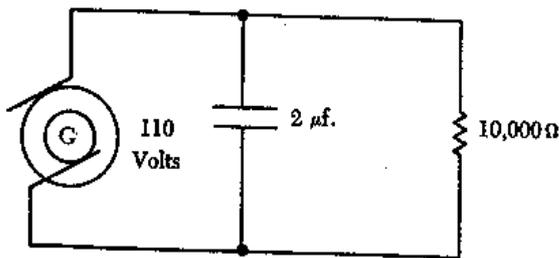


Figura 8-194 Circuito de CA em paralelo contendo capacitância e resistência.

Solução:

Primeiro, ache a reatância capacitiva do circuito:

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

Transformando 2 µf em farads e inserindo os valores na fórmula dada:

$$\begin{aligned}
X_c &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 60 \times 0,000002} = \\
&= \frac{1}{0,00075360} \text{ ou } \frac{10.000}{7.536} =
\end{aligned}$$

$$= 1327 \Omega \text{ de reatância capacitiva}$$

Para encontrar a impedância, a fórmula de impedância usada em circuito de C.A. em série precisa ser modificada para se ajustar ao circuito em paralelo:

$$\begin{aligned}
Z &= \frac{R X_c}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} = \frac{10.000 \times 1327}{\sqrt{(10.000)^2 + (1327)^2}} = \\
&= 0,1315 \Omega \text{ (aproximadamente)}
\end{aligned}$$

Para encontrar a corrente através da capacitância:

$$I_c = \frac{E}{X_c} = \frac{110}{1327} = 0,0829 \text{ ampères}$$

Para encontrar a corrente fluindo pela resistência:

$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{110}{10000} = 0,011 \text{ ampères}$$

Para encontrar a corrente total no circuito:

$$\begin{aligned}
I_T &= \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \\
I_T &= \sqrt{(0,011)^2 + (0,0829)^2} = \\
&= 0,0836 \text{ ampères (aproximadamente)}
\end{aligned}$$

Ressonância

Tem sido mostrado que tanto a reatância indutiva ($X_L = 2 \pi fL$) e a reatância capacitiva

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

têm funções de uma frequência de corrente alternada. Diminuindo a frequência, diminui o valor ôhmico da reatância indutiva, mas uma diminuição na frequência, aumenta a reatância capacitiva.

Numa particular frequência, conhecida como frequência de ressonância, os efeitos reativos de um capacitor e de um indutor serão iguais.

Como estes efeitos são opostos entre si, eles se anularão, permanecendo apenas o valor ôhmico da resistência em oposição ao fluxo de corrente, no circuito.

Se o valor da resistência for pequeno ou consistir somente de resistência nos condutores, o valor do fluxo de corrente pode tornar-se muito elevado. Num circuito, onde o indutor e capacitor estejam em série e a frequência seja a de ressonância, o circuito é referido como “em ressonância”, neste caso, um circuito ressonante em série. O símbolo para a frequência ressonante é F_n . Se, na frequência de ressonância, a reatância indutiva for igual à reatância capacitiva, então teremos:

$$X_L = X_C \text{ ou } 2 \pi f L = \frac{1}{2 \pi f C}$$

Dividindo-se ambos os termos por $2 \pi f L$,

$$F_n^2 = \frac{1}{(2 \pi)^2 LC}$$

Extraindo-se a raiz quadrada de ambos os termos:

$$F_n = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}}$$

Onde F_n é a frequência ressonante em ciclos por segundo, “ C ” é a capacitância em farads e “ L ” é a indutância em henrys. Com essa fórmula, a frequência em que um capacitor e um indutor serão ressonantes pode ser determinada.

Para encontrar a reatância indutiva do circuito, usa-se:

$$X_L = 2 (\pi) fL$$

A fórmula de impedância usada num circuito de C.A. em série, precisa ser modificada para aplicar-se a um circuito em paralelo.

$$Z = \frac{R X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

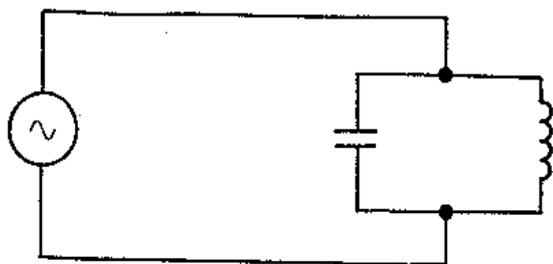


Figura 8-195 Circuito ressonante em paralelo.

Para resolver cadeias paralelas de indutância e reatâncias capacitivas, usa-se:

$$X = \frac{X_L X_C}{\sqrt{X_L + X_C}}$$

Para resolver cadeias paralelas com resistência capacitiva e indutância, usa-se:

$$Z = \frac{R X_L X_C}{\sqrt{X_L^2 X_C^2 + (R X_L - R X_C)^2}}$$

Como na frequência de ressonância X_L cancela X_C , a corrente pode tornar-se muito alta, dependendo do valor de resistência. Em casos assim, a queda de voltagem através do indutor ou capacitor será, muitas vezes, mais alta do que a voltagem aplicada.

Num circuito ressonante em paralelo (figura 8-195), as reatâncias são iguais, e correntes idênticas fluirão através da bobina e do capacitor.

Como a reatância indutiva faz a corrente através da bobina retardar-se em 90 graus em relação à voltagem, e a reatância capacitiva faz a corrente através do capacitor adiantar-se em 90 graus em relação à voltagem, as duas correntes ficam defasadas em 180 graus.

O efeito de anulação dessas correntes significaria que nenhuma corrente fluiria do gerador, e a combinação em paralelo do indutor e do capacitor aparentaria uma impedância infinita.

Na prática, nenhum circuito semelhante é possível, já que algum valor de resistência está sempre presente e o circuito em paralelo, às vezes, chamado circuito tanque, atua como uma impedância muito alta; ele também é chamado de circuito anti-ressonante, já que seu efeito no circuito é oposto ao do circuito série-ressonante, no qual a impedância é muito baixa.

Potência em circuitos de C.A.

Num circuito de C.C. a potência é obtida pela equação $P = EI$ (watts = volts x ampères). Daí, se 1 ampère de corrente flui num circuito com uma voltagem de 200 volts, a potência é de 200 watts.

O produto de volts pelos ampères é a potência verdadeira em um circuito.

Num circuito de A.C., um voltímetro indica a voltagem efetiva e um amperímetro indica a corrente efetiva.

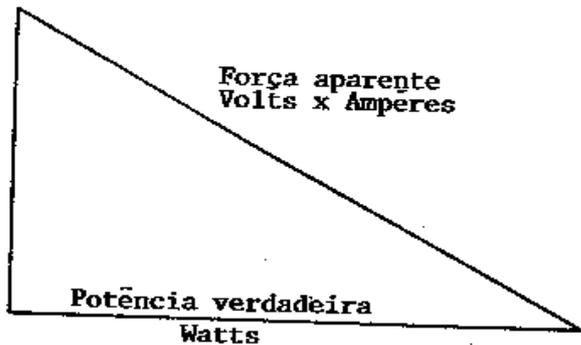


Figura 8-196 Fator de potência em um circuito de CA.

O produto dessas duas leituras é chamado de potência aparente. Somente o circuito de C.A. é formado de resistência, e a potência aparente é igual à potência real (verdadeira) como mostrado na figura 8-196..

Quando há capacitância ou indutância no circuito, a corrente e a voltagem não estão exatamente em fase, e a potência verdadeira é menor do que a potência aparente.

A potência verdadeira é obtida por meio de um wattímetro.

A proporção entre a potência verdadeira e a aparente é chamada de fator de potência e é expressa em unidades percentuais. Na forma de equação, a relação é:

FP= Fator de Potência

$$FP = \frac{100 \times \text{Watts (potencia verdadeira)}}{\text{volts x amperes (potencia aparente)}}$$

Problema:

Um motor de C.A. de 220 volts toma 50 ampères de uma linha, mas um wattímetro na linha mostra que somente 9.350 watts são tomados pelo motor.

Qual é a potência aparente e o fator de potência?

Solução:

$$\begin{aligned} \text{Potência aparente} &= \text{volts} \times \text{ampères} \\ &= 220 \times 50 = 11000 \text{ watts ou volt - ampères} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FP &= \frac{\text{Watts (potencia verdadeira)} \times 100}{\text{VA (potencia aparente)}} = \\ &= \frac{9350 \times 100}{11000} = 85 \text{ ou } 85\% \end{aligned}$$

TRANSFORMADORES

Um transformador modifica o nível de voltagem, aumentando-o ou diminuindo-o como necessário. Ele consiste em duas bobinas eletricamente independentes, que são dispostas de tal forma que o campo magnético em torno de uma das bobinas atravessa também a outra bobina.

Quando uma voltagem alternada é aplicada a (através de) uma bobina, o campo magnético variável formado em torno dela cria uma voltagem alternada na outra bobina por indução mútua.

Um transformador também pode ser usado com C.C. pulsativa, mas voltagem C.C. pura não pode ser usada, já que apenas uma voltagem variável cria o campo magnético variável, que é a base do processo de indução mútua.

Um transformador consiste de três partes básicas, conforme mostrado na figura 8-197. São elas: um núcleo de ferro, que proporciona um circuito de baixa relutância para as linhas de força magnética; um enrolamento primário, que recebe a energia elétrica da fonte de voltagem aplicada; um enrolamento secundário, que recebe energia elétrica, por indução, do enrolamento primário.

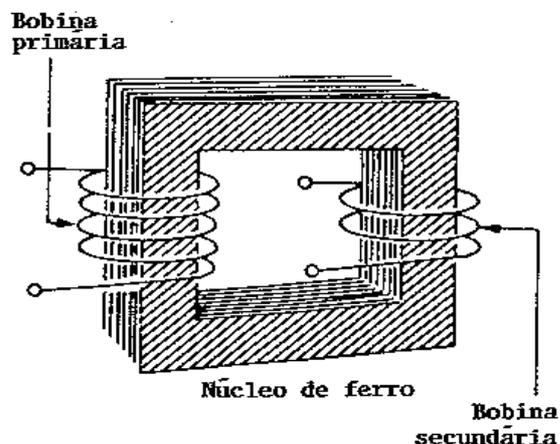


Figura 8-197 Transformador com núcleo de ferro.

O primário e o secundário deste transformador de núcleo fechado são enrolados sobre um núcleo fechado, para obter o máximo efeito indutivo entre as duas bobinas.

Existem duas classes de transformadores: (1) transformadores de voltagem, usados para aumentar ou diminuir voltagens; e (2) transformadores de corrente, usados em circuitos de instrumentos.

Nos transformadores de voltagem, as bobinas primárias são ligadas em paralelo com a fonte de voltagem, conforme mostrado na figura 8-198, letra "A".

Os enrolamentos primários dos transformadores de corrente são ligados em série no circuito primário ("B" da figura 8-198). Dos dois tipos, o transformador de voltagem é o mais comum.

Existem muitos tipos de transformadores de voltagem. A maioria deles é de transformadores de aumento ou diminuição.

O fator que determina um ou outro tipo é a proporção de espiras, que é a relação entre o número de espiras do enrolamento primário e do secundário.

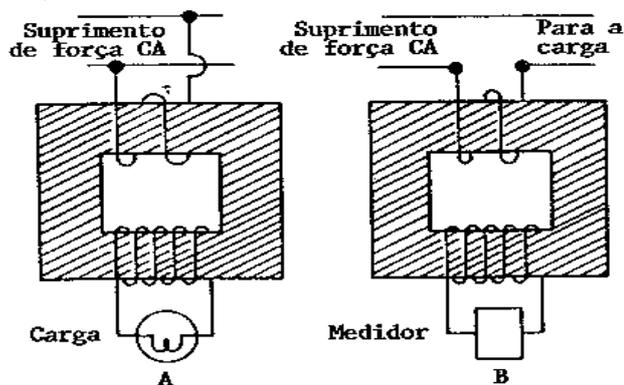


Figura 8-198 Transformador de voltagem e de corrente.

Por exemplo, a proporção de espiras do transformador de redução mostrado em "A" da figura 8-199 é 5 por 1, tendo em vista que o primário possui cinco vezes mais espiras do que o secundário.

O transformador de elevação mostrado em "B" da figura 8-199 tem uma razão de espiras de 1 por 4.

Considerando-se 100% de eficiência, a proporção entre a voltagem de entrada e a de saída de um transformador é a mesma que a do número de espiras no primário e secundário.

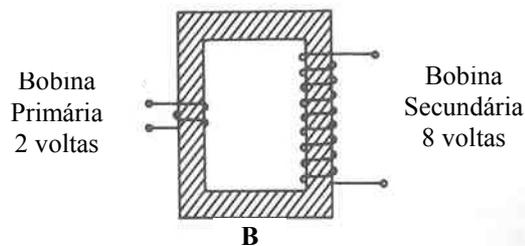
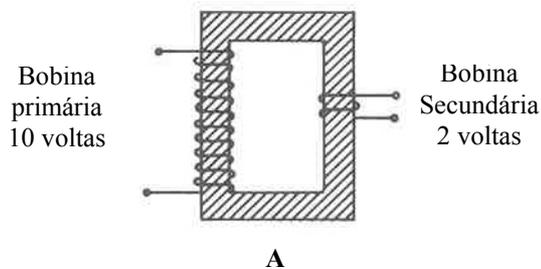


Figura 8-199 Transformadores de redução e de elevação.

Assim, quando 10 volts são aplicados ao primário do transformador mostrado em "A" da figura 8-199, dois volts são induzidos no secundário.

Se 10 volts forem aplicados ao primário do transformador mostrado na letra "B" da figura 8-199, a voltagem nos terminais do secundário será 40 volts.

É impossível construir um transformador com 100% de eficiência, porque não são todas as linhas de força do primário que conseguem cortar a bobina do secundário. Uma certa quantidade de fluxo magnético vaza do circuito magnético.

O grau de eficiência como o fluxo do primário, que é aproveitado no secundário, é chamado de "coeficiente de acoplamento".

Por exemplo, se for concebido que o primário de um transformador desenvolve 10.000 linhas de força, mas apenas 9.000 passam através do secundário, o coeficiente de acoplamento seria 9 ou, dito de outra maneira, o transformador teria 90% de eficiência.

Quando uma voltagem de C.A. é ligada através dos terminais do primário de um transformador, fluirá uma corrente alternada, ocorrendo auto-indução de uma voltagem na bobina do primário, a qual será oposta e aproximadamente igual à voltagem aplicada.

A diferença entre estas duas voltagens permite apenas a corrente suficiente no primário, para magnetizar o seu núcleo. Isto é chamado de corrente de excitação ou magnetização. O campo magnético provocado por esta corrente de excitação corta a bobina do secundário e induz uma voltagem por indução mútua.

Se uma carga for conectada através da bobina secundária, a corrente de carga fluindo através da bobina secundária produzirá um campo magnético, que tenderá a neutralizar o campo magnético produzido pela corrente do primário. Isto reduzirá a voltagem auto-induzida (oposição) na bobina do primário e permitirá fluir mais corrente no primário.

A corrente do primário aumenta conforme a corrente de carga do secundário aumenta e diminui conforme a corrente de carga do secundário diminui.

Quando a carga do secundário é removida, a corrente do primário é então reduzida a uma pequena corrente de excitação, suficiente somente para magnetizar o núcleo de ferro do transformador.

Quando um transformador eleva a voltagem, ele reduz a corrente na mesma proporção. Isto fica evidente em se considerando a fórmula de potência elétrica ($I \times E$) e que a potência desenvolvida no secundário é a mesma do primário, menos a energia perdida no processo de transformação. Assim, se 10 volts e 4 ampères (40 watts de potência) são usados no primário para produzir um campo magnético, haverá 40 watts de potência desenvolvidos no secundário (desconsiderando qualquer perda).

O transformador tendo uma proporção de elevação de 4 por 1, a voltagem através do secundário será de 40 volts e a corrente será de 1 ampère. A voltagem é 4 vezes maior e a corrente é um quarto dos valores do circuito primário, mas a potência (valor de $I \times E$) é a mesma. Quando a proporção de espiras e a voltagem de entrada são conhecidas, a voltagem de saída pode ser determinada da seguinte forma:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Onde E é a voltagem do primário, E_2 é a voltagem de saída do secundário e N_1 e N_2 são o número de espiras do primário e do secundário, respectivamente.

Transpondo a equação, para achar a voltagem de saída, temos:

$$E_2 = \frac{E_1 N_2}{N_1}$$

Os transformadores de voltagem mais comumente usados são os seguintes:

- (1) Transformadores de potência, que são usados para elevar ou reduzir voltagens e correntes em muitos tipos de fontes de força. Eles variam desde os pequenos transformadores de potência mostrados na figura 8-200, usados num rádio-receptor, até os grandes transformadores utilizados para reduzir alta-tensão para o nível de 110/120 volts usados domesticamente. Na figura 8-201, o símbolo esquemático para um transformador de núcleo de ferro é mostrado. Neste caso, o secundário é constituído por três enrolamentos distintos. Cada secundário possui um ponto intermediário de ligação, chamado "*center tap*", que proporciona a seleção de metade da voltagem do enrolamento inteiro.

Os terminais dos vários enrolamentos são identificados por código de cores, pelos fabricantes, conforme indicado na figura 8-201. Este é um código de cores padronizado, mas outros códigos ou números podem ser utilizados.

- (2) Transformadores de áudio parecem transformadores de potência. Eles têm apenas um secundário e destinam-se a funcionar na faixa de audiofrequências (20 a 20.000 c.p.s.)

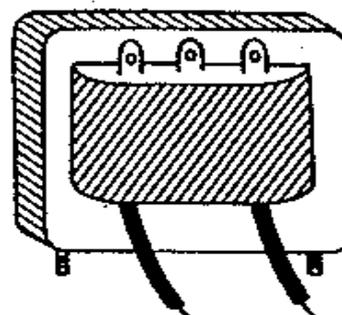


Figura 8-200 Transformador de potência.

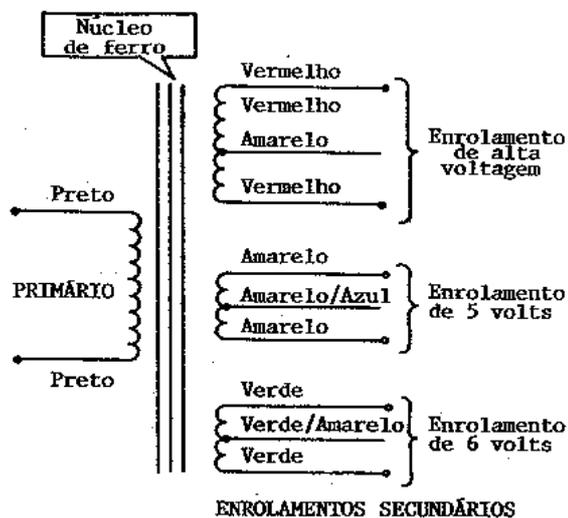


Figura 8-201 Símbolo esquemático para um transformador com núcleo de ferro.

- (3) Transformadores de RF destinam-se a operar em equipamentos que funcionam na faixa de frequência de rádio. O símbolo para os transformadores de RF é o mesmo usado para bobinas de RF. Têm núcleo de ar, conforme mostrado na figura 8-202.

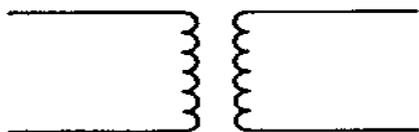


Figura 8-202 Transformadores com núcleo de ar.

- (3) Autotransformadores são geralmente usados em circuitos de força; entretanto, eles podem ser destinados a outros usos. Dois símbolos diferentes de autotransformadores usados em circuitos de força ou áudio são mostrados na figura 8-203. Quando usados em circuito de navegação ou de comunicação RF (B da figura 8-203), são os mesmos, não havendo nenhum símbolo para núcleo de ferro.

Os autotransformadores usam parte do enrolamento como primário; e dependendo de elevação ou redução, ele usa todo ou parte do mesmo enrolamento como secundário. Por exemplo, o autotransformador mostrado em "A" da figura 8-203 poderia usar as várias combina-

ções apresentadas para os terminais primário e secundário.

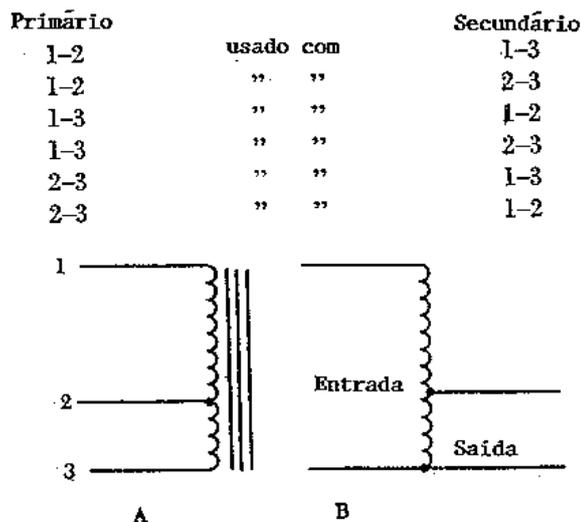


Figura 8-203 Autotransformadores.

Transformadores de corrente

São usados em sistemas de fonte de força de C.A., para captar a corrente da linha do gerador e prover uma corrente, proporcional à corrente de linha, para circuito de proteção e dispositivos de controle.

O transformador de corrente é um transformador do tipo anel, usando um terminal de força condutor de corrente como primário (tanto o terminal de força ou o terminal de aterramento de gerador). A corrente no primário induz uma corrente no secundário, por indução magnética.

Os lados de todos os transformadores de corrente são marcados "H1" e "H2", na base. Os transformadores devem ser instalados com o lado "H1" na direção do gerador, no circuito, mantendo a polaridade apropriada.

O secundário do transformador não pode jamais ficar aberto quando o sistema estiver funcionando, caso contrário, isto provocaria altas voltagens perigosas e poderia superaquecer o transformador.

Portanto, as conexões de saída do transformador precisam estar sempre conectadas com um "jumper" quando o transformador não estiver sendo usado, mas permanece no sistema.

Perdas dos transformadores

Juntamente com a perda de energia provocada por acoplamento imperfeito, os trans-

formadores estão sujeitos à perdas do “ferro” e do “cobre”. A perda do “cobre” é causada pela resistência do condutor, envolvendo as espiras da bobina. Existem dois tipos de perdas do “ferro”, chamados perda por histerese e perda por “*Eddy current*”.

A primeira, é a energia elétrica requerida para magnetizar o núcleo do transformador, mudando de direção juntamente com a voltagem alternada aplicada.

A segunda, é provocada por correntes elétricas (*Eddy current*) induzidas no núcleo do transformador pelas variações dos campos magnéticos. Para reduzir as perdas por “*Eddy current*” os núcleos são feitos de camadas laminadas com isolamento, que reduzem a circulação de correntes induzidas.

Potência em transformadores

Como um transformador não adiciona nenhuma eletricidade ao circuito, mas meramente modifica ou transforma a eletricidade que já existe nele, de uma voltagem noutra, a quantidade total de energia no circuito permanece a mesma.

Se fosse possível construir um transformador perfeito, não haveria perda de força nele; a energia seria transferida sem eliminação, de uma voltagem noutra.

Já que a potência é o produto da voltagem pela amperagem, um aumento da voltagem pelo transformador resultará numa diminuição da corrente e vice-versa. Não pode haver maior potência no lado do secundário de um transformador do que existir no lado do primário. O produto de ampères vezes volts permanece o mesmo.

A transmissão de força por longas distâncias é realizada por meio de transformadores. Na fonte de força a voltagem é elevada para reduzir a perda na linha durante a transmissão. No ponto de utilização, a voltagem é reduzida, já que não é praticável o uso de alta voltagem para operar motores, luzes ou outros aparelhos elétricos.

Ligação de transformadores em circuitos de C.A.

Antes de estudar as várias maneiras de ligar transformadores em circuitos de C.A., as

diferenças entre circuitos monofásicos e trifásicos precisam ser claramente entendidas.

Num circuito monofásico, a voltagem é gerada por uma bobina alternadora. Esta voltagem monofásica pode ser obtida de um alternador monofásico ou de uma fase de um alternador trifásico, conforme será abordado adiante, no estudo de geradores de C.A.

Num circuito trifásico, três voltagens são geradas por um alternador com três bobinas distintas, ocorrendo que as três voltagens geradas são iguais mas atingem seus valores máximos em tempos diferentes. Em cada fase do gerador trifásico com 400 ciclos, um ciclo é gerado a cada 1/400 segundos.

Em sua rotação, o pólo magnético cruza uma bobina e gera uma voltagem máxima, um terço de ciclo (1/1200 segundos), depois ele cruza uma outra bobina e gera nela uma alta voltagem. Isto ocasiona voltagens máximas geradas nas três bobinas, sempre separadas um terço de ciclo (1/1200 segundos).

Os geradores trifásicos primitivos eram ligados às suas cargas com seis fios e todos eles conduziam corrente.

Posteriormente, experiências provaram que o gerador forneceria mais força com as bobinas conectadas, de tal modo que somente três fios eram necessários para as três fases, conforme mostrado na figura 8-204.

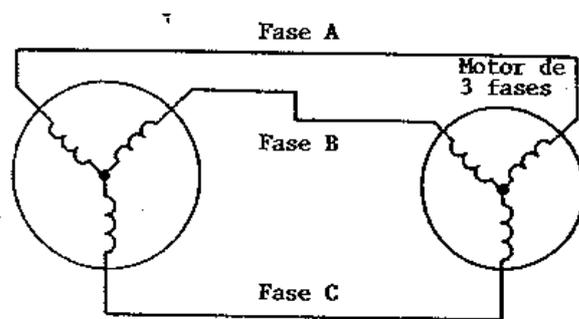


Figura 8-204 Gerador de três fases usando três condutores.

O uso de três fios é padrão para transmissão de força trifásica, atualmente. O retorno de corrente de qualquer uma bobina do alternador flui, voltando através dos outros dois fios no circuito trifásico.

Os motores trifásicos e outras cargas trifásicas são ligados com suas bobinas ou elementos de carga colocados de tal forma que

requerem três linhas para disponibilização de força.

Os transformadores que são usados para elevação de voltagem ou redução, num circuito trifásico, são ligados eletricamente de modo que a força é fornecida para o primário e tomada do secundário pelo sistema trifásico padrão.

Entretanto, transformadores monofásicos e lâmpadas e motores monofásicos podem ser ligados através de uma das fases do circuito trifásico, conforme mostrado na figura 8-205.

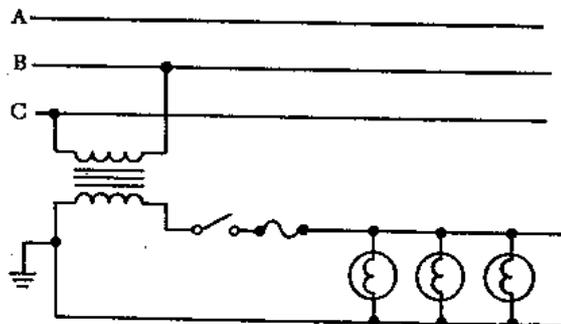


Figura 8-205 Transformador de redução usando do sistema bifásico.

Quando cargas monofásicas são ligadas em circuitos trifásicos, as cargas são distribuídas igualmente pelas três fases para balancear as três bobinas do gerador.

Um outro uso do transformador é o monofásico com várias tomadas no secundário. Com este tipo de transformador, a voltagem pode ser diminuída para prover várias voltagens de trabalho, conforme mostrado na figura 8-206.

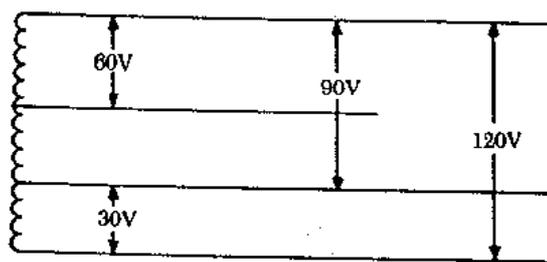


Figura 8-206 Tomadas do secundário de um transformador.

Um transformador, com tomada central alimentando um motor de 220 volts, acompanhado de quatro lâmpadas de 110 volts, é mostrado na figura 8-207.

O motor é ligado através do transformador integral, e as lâmpadas são ligadas da tomada central para uma das extremidades do trans-

formador com esta ligação somente a metade da saída do secundário é usada.

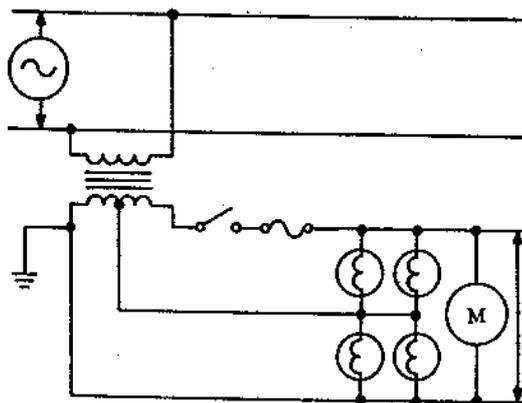


Figura 8-207 Transformador de redução usando do sistema trifásico.

Este tipo de ligação do transformador é amplamente usado em aeronaves por causa das combinações de voltagens, que podem ser obtidas de um transformador.

Várias voltagens podem ser tomadas do enrolamento secundário do transformador, colocando-se tomadas (durante a fabricação) em vários pontos ao longo dos enrolamentos secundários.

Os valores variados de voltagem podem ser obtidos utilizando-se qualquer dupla de tomadas, ou uma tomada e qualquer das extremidades do enrolamento secundário.

Transformadores para circuitos trifásicos podem ser ligados em qualquer uma das várias combinações das ligações "ípsilon (γ) e delta (Δ)". A ligação usada depende dos requisitos para o transformador.

Quando a ligação ípsilon é usada em transformadores trifásicos, um quarto fio ou neutro pode ser usado. O fio neutro liga equipamentos monofásicos ao transformador. As voltagens (115v) entre qualquer uma das linhas trifásicas e o fio neutro podem ser usadas por dispositivos como lâmpadas ou motores monofásicos.

Todos os quatro fios, em combinação podem fornecer energia de 208 volts, trifásica, para funcionamento de equipamentos trifásicos, tais como motores trifásicos ou retificadores. Quando apenas equipamento trifásico é usado, o fio terra pode ser omitido. Isto permite um sistema trifásico de três fios, conforme ilustrado na figura 8-208.

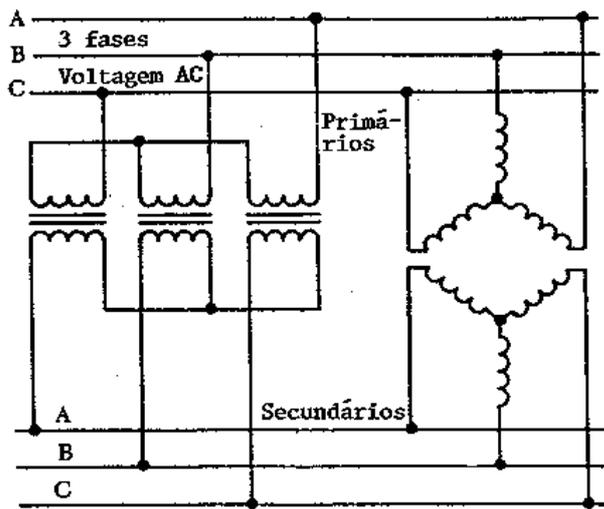


Figura 8-208 Primário e secundário com ligação ípsilon (Y).

A figura 8-209 mostra o primário e o secundário com ligação delta. Com este tipo de ligação, o transformador tem a mesma saída de voltagem da voltagem de linha.

Entre quaisquer das duas fases, a voltagem é 240 volts. Neste tipo de ligação, os fios A, B e C podem fornecer 240 volts de força trifásica para operação de equipamentos trifásicos.

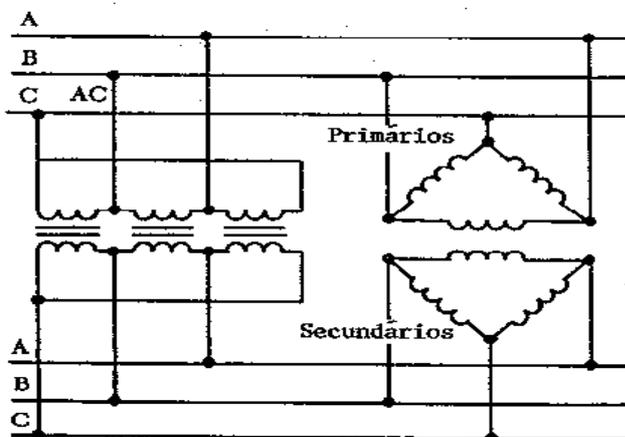


Figura 8-209 Primário e secundário com ligação delta.

O tipo de ligação usado para bobinas primárias, pode ou não, ser o mesmo usado para bobinas secundárias. Por exemplo, o primário pode ser uma ligação delta e o secundário uma ligação ípsilon.

Isso é chamado de ligação delta-ípsilon de transformador. Outras combinações são delta-delta, ípsilon-delta e ípsilon-ípsilon.

Análise e pesquisa de panes em transformadores

Existem ocasiões em que um transformador precisa ser testado quanto a interrupções e “curtos” e, é muitas vezes, necessário determinar se um transformador é de elevação ou redução.

Um enrolamento aberto pode ser localizado por meio de um ohmímetro, conforme mostrado na figura 8-210. Ligado conforme demonstrado, o ohmímetro marcaria resistência infinita. Se não houvesse interrupção na bobina, ele indicaria o valor de resistência do fio da bobina. Também o primário, quanto o secundário, podem ser testados da mesma maneira.

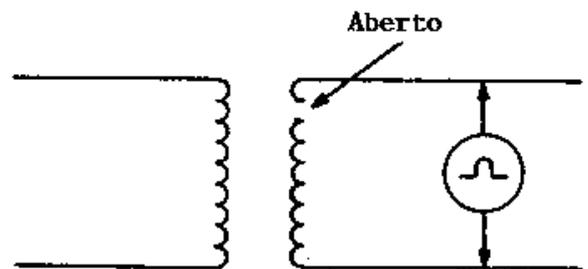


Figura 8-210 Testando quanto ao rompimento do enrolamento de um transformador.

O ohmímetro pode também ser usado para testar enrolamentos “em curto”, conforme demonstrado na figura 8-211, entretanto, este método não é preciso. Se, por exemplo, o transformador tendo 500 espiras, e uma resistência de 2 ohms estivesse com 5 espiras “em curto”, a resistência seria reduzida, aproximadamente 1,98 ohms, que não seria o suficiente para ser lido no ohmímetro.

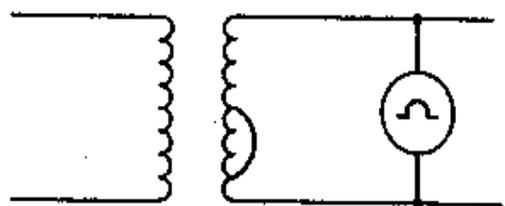


Figura 8-211 Testando quanto a “curto” no enrolamento de transformadores.

Neste caso, a voltagem de entrada pode ser aplicada ao primário para permitir medição da voltagem de saída no secundário. Se a voltagem no secundário for baixa pode ser concluído que o transformador tenha alguns enrolamentos “em curto”, e ele deva ser substituído. Se a vol-

tagem voltar ao normal, o transformador pode ser considerado defeituoso.

Um ohmímetro pode ser usado para determinar se um transformador é de elevação ou redução. Num transformador de redução, a resistência do secundário será menor do que a do primário, e a recíproca será verdadeira, no caso de um transformador de elevação.

Ainda um outro método envolve aplicar uma voltagem ao primário e medir a saída do secundário. As voltagens usadas não poderiam exceder a voltagem de entrada especificada.

Quando um enrolamento estiver completamente “em curto”, normalmente torna-se superaquecido por causa do elevado fluxo de corrente. Em muitos casos, o valor excessivo derreteria a cera no transformador, e isto poderia ser percebido pelo cheiro resultante.

Uma leitura de voltímetro através do secundário marcaria zero. Se o circuito incluir um fusível, a corrente elevada pode provocar a queima deste antes de danificar seriamente o transformador.

Na figura 8-212 é mostrado um ponto do enrolamento do transformador ligado a terra. Se o circuito externo do circuito do transformador está aterrado, uma parte do enrolamento está efetivamente “em curto”.

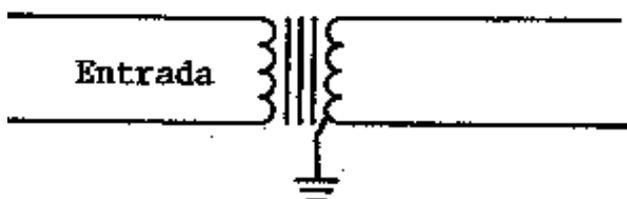


Figura 8-212 Parte de um enrolamento de transformador “aterrado”.

Um megômetro ligado entre um lado do enrolamento e o invólucro (corpo) do transformador confirmaria tal condição com uma leitura baixa ou zero. Neste caso o transformador precisa ser substituído.

Todos os transformadores discutidos nesta seção são indicados com um enrolamento primário. Eles funcionam com uma fonte de C.A. simples.

Transformadores que funcionam com três voltagens de um alternador ou gerador de C.A. são denominados transformadores trifásicos ou polifásicos. Eles serão discutidos no estudo de geradores e motores.

AMPLIFICADORES MAGNÉTICOS

O amplificador magnético é um dispositivo de controle, sendo empregado em escala crescente em muitos sistemas eletrônicos e elétricos de aeronaves, por sua robustez, estabilidade e segurança em comparação com as válvulas à vácuo.

Os princípios de funcionamento do amplificador magnético podem ser melhor compreendidos, revisando-se o funcionamento de um transformador simples.

Se uma voltagem C.A. for aplicada ao primário de um transformador de núcleo de ferro, o núcleo irá se magnetizar e desmagnetizar com a mesma frequência da voltagem aplicada.

Isto, por sua vez, induzirá uma voltagem no secundário do transformador. A voltagem de saída, através dos terminais do secundário, dependerá da relação entre o número de espiras no primário e secundário do transformador.

O núcleo de ferro do transformador tem um ponto de saturação, além do qual a aplicação de uma força magnética maior não produzirá nenhuma alteração na intensidade de magnetização. Conseqüentemente, não haverá mudança na saída do transformador, ainda que a entrada seja muito aumentada.

O circuito de amplificador magnético na figura 8-213 será usado para explicar como um amplificador magnético funciona. Suponha que exista 1 ampère de corrente na bobina “A”, que possui 10 espiras.

Se a bobina B tiver também 10 espiras, uma saída de 1 ampère será obtida, se a bobina “B” estiver apropriadamente carregada. Aplicando-se corrente contínua na bobina “C”, o núcleo da bobina do amplificador magnético pode ser adicionalmente magnetizado.

Suponha que a bobina “C” tenha o número apropriado de espiras e com a aplicação de 30 miliampères, que o núcleo seja magnetizado ao ponto em que 1 ampère na bobina “A” resulte em somente 0,24 ampères de saída da bobina “B”.

Variando-se a entrada de C.C. na bobina “C” continuamente de 0 a 30 miliampères, e conservando uma entrada de 1 ampère na bobina “A”, é possível controlar a saída da bobina “B” em qualquer ponto entre 0,24 e 1 ampère, neste exemplo.

O termo “amplificador” é usado para este dispositivo, porque usando-se uns poucos

miliampères obtem-se o controle de uma saída de 1 ou mais ampères.

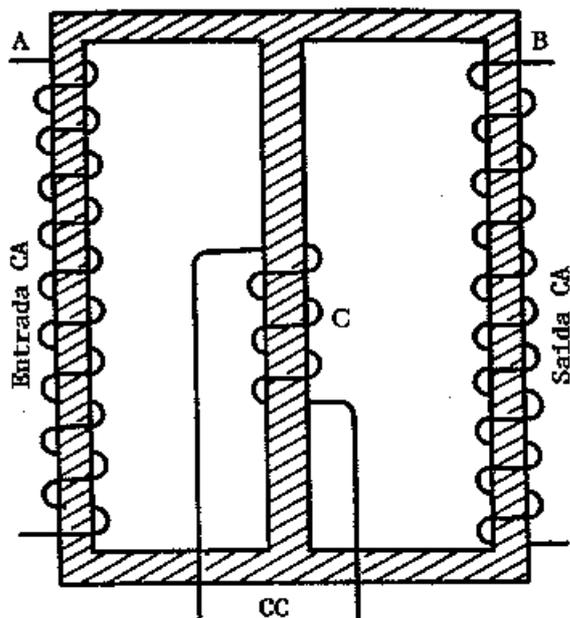


Figura 8-213 Circuito amplificado magnético.

O mesmo procedimento pode ser usado com o circuito mostrado na figura 8-214.

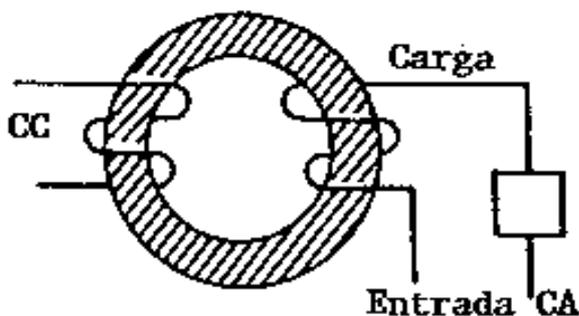


Figura 8-214 Circuito reator saturável.

Controlando-se o grau de magnetização do anel de ferro, é possível controlar a quantidade de corrente fluindo para a carga, já que o nível de magnetização controla a impedância do enrolamento de entrada de C.A.. Este tipo de amplificador magnético é chamado de circuito motor saturável simples.

Adicionando-se um retificador em tal circuito, metade do ciclo de entrada de C.A. seria removido, permitindo uma corrente contínua fluir para a carga.

A quantidade de corrente contínua fluindo na carga do circuito é controlada por um enrolamento de controle de C.C. (às vezes referido

como bias). Este tipo de amplificador magnético é referido como sendo do auto-saturação.

A fim de usar a energia total de entrada, um circuito, como o que é mostrado na figura 8-215, pode ser utilizado. Este circuito usa uma ponte retificadora da onda completa. A carga receberá uma corrente contínua controlada, usando-se a totalidade da entrada de C.A. Este tipo de circuito é conhecido como um amplificador magnético de auto-saturação, onda completa.

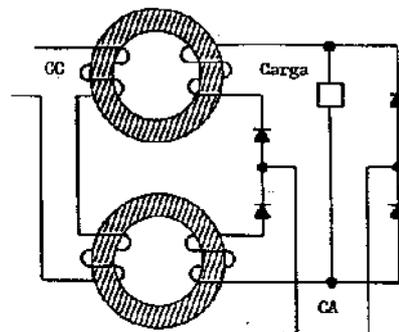


Figura 8-215 Amplificador magnético de auto-saturação e de onda completa.

Na figura 8-216 é presumido que o enrolamento de controle de C.C. é alimentado por uma fonte variável.

A fim de controlar tal fonte e usar suas variações para controlar a saída de C.A., é necessário acrescentar um outro enrolamento de c.c. que tenha um valor constante. Este enrolamento, conhecido como um enrolamento de referência, magnetiza o núcleo em uma direção.

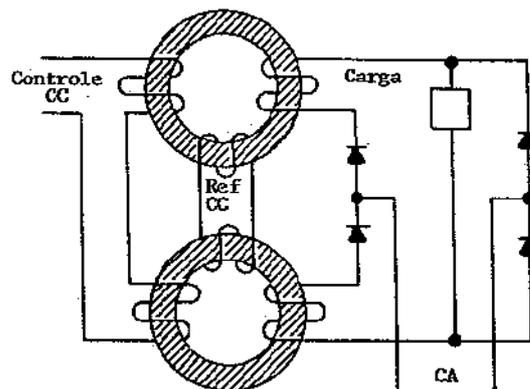


Figura 8-216 Circuito básico pré-amplificador.

VÁLVULAS ELETRÔNICAS

O uso de válvulas nos sistemas eletrônicos e elétricos de aeronaves declinou rapidamente por causa das inúmeras vantagens do uso de transistores. Entretanto, alguns sistemas em

aplicações especiais podem ainda utilizar válvulas em aparelhos equipando aeronaves muito antigas.

Por esta razão, e ainda, porque este assunto tem valor ilustrativo para dar idéia do que ocorreu antes do transmissor, o estudo das válvulas será mantido, aqui, como parte do programa de manutenção de aeronaves.

Originalmente, as válvulas foram desenvolvidas para equipamentos de rádio. Elas eram usadas em rádio-transmissores, como amplificadores, para controlar voltagem e corrente; como osciladores para gerar sinais de áudio e rádio-freqüência e, como retificadores, para converter corrente alternada em corrente contínua.

Válvulas de rádio foram usadas com propósitos semelhantes em muitos dispositivos elétricos de aeronaves, tais como: piloto automático e regulador de “turbocharger”.

Quando um pedaço de metal é aquecido, a velocidade dos elétrons no metal é aumentada. Se o metal for aquecido a temperatura suficientemente elevada, os elétrons são acelerados a um ponto em que alguns deles realmente abandonam a superfície do metal, conforme mostrado na figura 8-217.

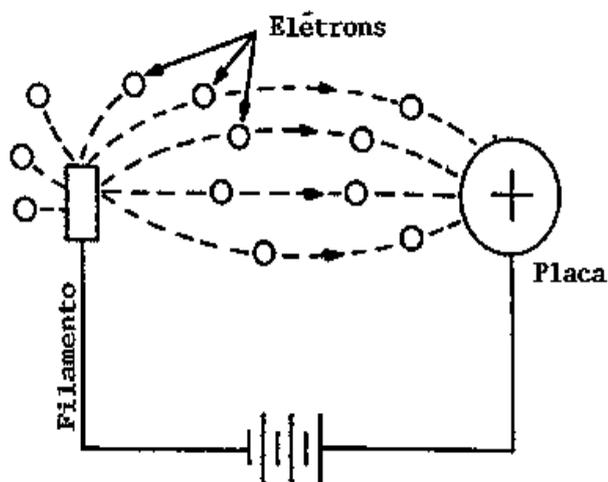


Figura 8-217 Princípio de operação de uma válvula a vácuo.

Numa válvula, os elétrons são fornecidos por um pedaço de metal chamado catodo, que é aquecido por uma corrente elétrica.

Observados determinados limites, quanto mais quente o catodo maior o número de elétrons que serão cedidos ou emitidos. Para aumentar o número de elétrons emitidos, o catodo

é revestido com componentes químicos especiais. Se os elétrons emitidos não são sugados por um campo externo, eles formam uma “nuvem” negativamente carregada ao redor do catodo, chamada carga espacial.

O acúmulo de elétrons perto do emissor repele outros que venham do próprio emissor. O emissor, se isolado, torna-se positivo por causa da perda de elétrons. Isto estabelece um campo eletrostático entre a “nuvem” de elétrons e o catodo agora positivo.

Um equilíbrio é atingido quando apenas elétrons suficientes fluem do catodo para a área em redor dele, para suprir a perda causada pela difusão da carga espacial.

Tipos de válvulas

Existem muitos tipos diferentes de válvulas, das quais a maioria classifica-se em quatro tipos: (1) diodo, (2) triodo, (3) tetrodo e (4) pentodo.

Destas o diodo é usado quase que exclusivamente para transformar corrente alternada em corrente contínua.

Em algumas válvulas, o catodo é aquecido por C.C. e é tanto emissor de elétrons quanto membro condutor de corrente, enquanto em outras o catodo é aquecido por corrente alternada.

Válvulas que se destinam ao funcionamento com C.A. usam um elemento de aquecimento especial que aquece indiretamente o emissor de elétrons (catodo).

Quando um potencial C.C. é aplicado entre o catodo e um outro elemento da válvula chamado de placa, com o lado positivo de voltagem ligado à placa, os elétrons emitidos pelo catodo são atraídos pela placa.

Estes dois elementos constituem a forma mais simples de válvula, que é o diodo. No diodo os elétrons são atraídos pela placa, quando ela é mais positiva do que o catodo, e são repelidos, quando a placa é menos positiva.

A corrente flui através da válvula quando ela é instalada num circuito, somente quando é positiva em relação ao catodo.

A corrente não flui quando a placa é negativa (menos positiva), em relação ao catodo, conforme ilustrado na figura 8-218. Esta característica confere ao diodo seu tipo de uso, seja de retificação ou de transformação de corrente alternada em contínua.

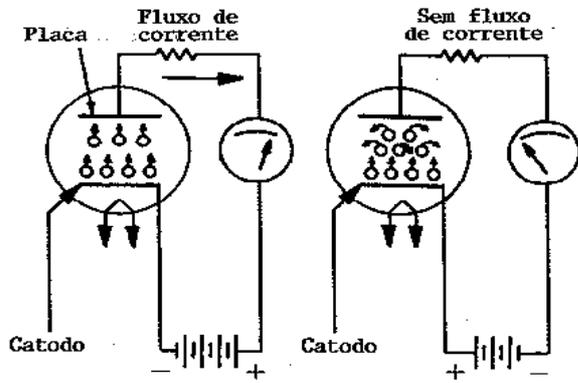


Figura 8-218 Operação de uma válvula diodo.

Diodos retificadores são usados em sistemas elétricos de aeronaves, especialmente quando alta voltagem C.C. é desejada para lâmpadas.

Podem ser usados tanto como retificadores de meia onda ou de onda completa; podem ser usados unitariamente, em paralelo, ou em circuitos-ponte.

Conforme mostrado na figura 8-219, um retificador de meia onda possui válvula de dois elementos (placa e cátodo). Uma retificadora de onda completa possui três elementos (duas placas e um cátodo).

Num circuito de meia-onda, a corrente flui somente durante a metade positiva do ciclo da voltagem aplicada (placa positiva e cátodo negativo, para haver fluxo de elétrons).

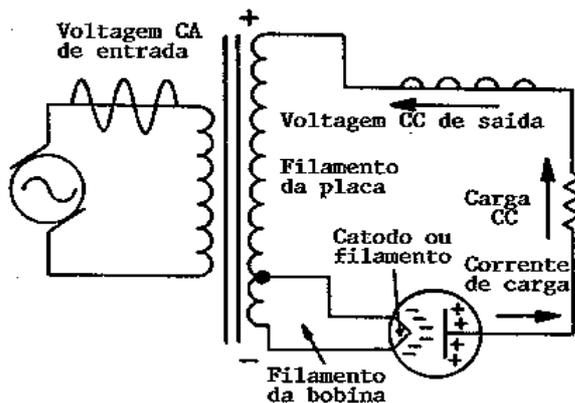


Figura 8-219 Circuito retificador de válvula de meia onda.

Fluem do cátodo para a placa e daí através da carga, de volta para o cátodo. No ciclo negativo da voltagem aplicada, não há fluxo de corrente através da válvula. Isto resulta em saída

de voltagem retificada (C.C.), mas consiste em pulsos de corrente de meio ciclo.

Numa válvula ligada como retificadora de onda completa, a corrente flui para a carga em ambos os meios ciclos da corrente alternada. A corrente flui da placa superior, através da carga de C.C. numa alternância, e na seguinte a corrente flui para a placa inferior e através da carga na mesma direção.

Válvulas retificadoras foram largamente substituídas em sistemas de aeronaves por discos secos ou diodos semicondutores. No estudo de dispositivos ou aparelhos "solid state", o processo de retificação é tratado detalhadamente.

O triodo é uma válvula de três elementos. Adicionalmente à placa e ao cátodo existe um terceiro elemento, chamado grade, localizado entre o cátodo e a placa, conforme mostrado na figura 8-220.

A grade é uma malha de fio fino ou tela. Ela serve para controlar o fluxo de elétrons entre o cátodo e a placa. Sempre que a grade se torna mais positiva do que o cátodo, ocorre um aumento no número de elétrons atraídos pela placa, resultando no aumento do fluxo de corrente de placa. Se a grade se torna negativa em relação ao cátodo o movimento de elétrons para a placa é retardado, e o fluxo de corrente de placa diminui.

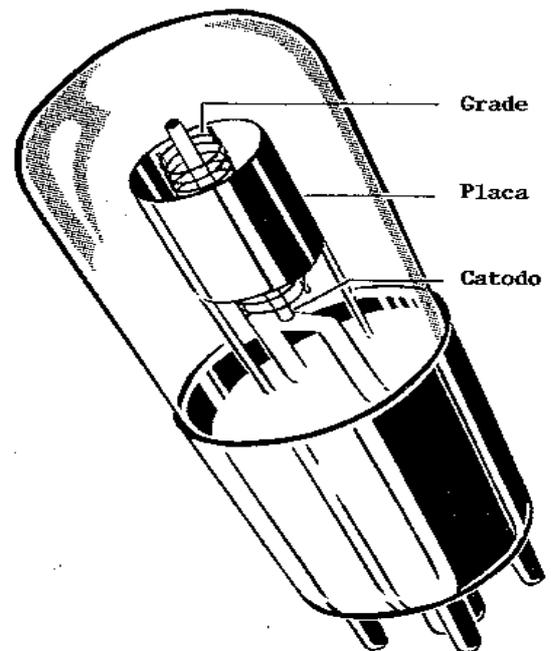


Figura 8-220 Válvula triodo.

Normalmente, a grade é negativa com referência ao catodo. Uma maneira de tornar a grade negativa é usar uma pequena bateria ligada em série com o circuito de grade. Esta voltagem negativa aplicada à grade é chamada de *bias*. O uso mais importante de um triodo é como válvula amplificadora.

Quando uma resistência ou impedância é ligada em série no circuito de placa, a queda de voltagem através dela, que depende da corrente fluindo por ela, pode ser modificada pela variação da corrente de grade.

Uma diminuta mudança na voltagem de grade provocará uma grande mudança na queda de voltagem, através da impedância de placa. Então, a voltagem aplicada à grade é amplificada no circuito de placa da válvula.

Uma válvula tetrodo é uma válvula de quatro elementos, sendo o elemento adicional em relação ao triodo, mais uma grade (*screen grid*) (figura 8-221).

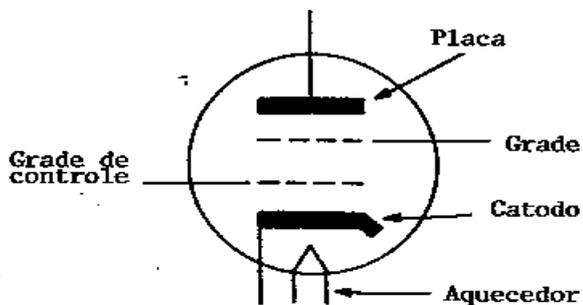


Figura 8-221 Esquema de um triodo.

Esta grade está localizada entre a grade de controle e a placa, e é operada com uma voltagem positiva um pouco mais baixa do que a voltagem de placa.

Ela reduz os efeitos às vezes indesejáveis no funcionamento da válvula, causados pelo retorno de alimentação de energia da saída da válvula para o circuito de entrada (grade).

Sob certas condições de funcionamento esta ação de retorno é muito pronunciada num triodo, e faz com que a válvula haja como um oscilador e não como amplificador. As principais vantagens de tetrodos sobre triodos são: maior amplificação para menores voltagens de entrada; e menos retorno da placa para o circuito de grade.

Uma característica indesejável da válvula tetrodo é a emissão secundária, que é o termo aplicado à condição em que os elétrons são lançados da placa no espaço entre os elementos da

válvula, por seu movimento rápido de colisão com a placa.

Em válvulas triodo, sendo a grade negativa em relação ao catodo, ela repele os elétrons secundários e o funcionamento da válvula não é afetado.

No tetrodo, o efeito da emissão secundária é especialmente perceptível, já que a “*screen grid*”, que é positiva em relação ao catodo, atrai os elétrons secundários e provoca uma corrente reversa entre a “*screen grid*” e a placa.

Os efeitos da emissão secundária são evitados quando se acrescenta uma terceira grade, chamada grade supressora, entre a “*screen grid*” e a placa. Esta grade repele os elétrons secundários que se direcionam para a placa.

Uma válvula com três grades é chamada de pentodo, o qual possui um elevado fator de amplificação e é usado para amplificar sinais fracos. O esquema de um pentodo é mostrado na figura 8-222.

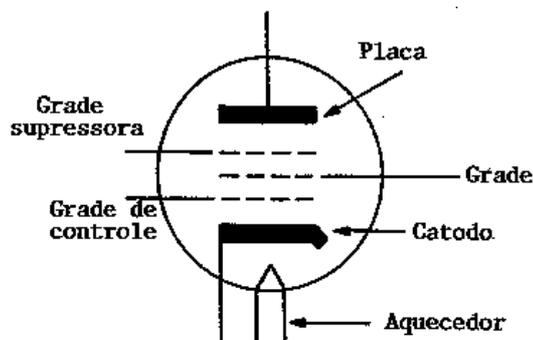


Figura 8-222 Esquema de um pentodo.

Quando um elétron encontra uma molécula de gás, a energia transferida pelo impacto causa à molécula (ou átomo) perda ou ganho de um ou mais elétrons. Conseqüentemente, a ionização ocorre.

Qualquer gás ou vapor não tendo ions é praticamente um isolante perfeito. Se dois eletrodos forem colocados num meio semelhante, nenhuma corrente fluirá entre eles. Entretanto, os gases sempre têm alguma ionização residual por causa dos raios cósmicos, materiais radioativos nas paredes dos recipientes, ou ação da luz.

Se um potencial for aplicado entre dois elementos entre os quais exista um gás, os ions migram entre eles e proporcionam o efeito de fluxo de corrente. Isto é chamado de corrente escura porque nenhuma luz visível é associada a corrente.

Se a voltagem entre os eletrodos for aumentada, a corrente começa a subir. A determinado ponto, conhecido como limiar, a corrente repentinamente começa a subir sem que a voltagem aplicada seja aumentada. Se houver resistência suficiente no circuito externo, para prevenir que a corrente aumente rapidamente, a voltagem cai imediatamente para um nível menor e ocorre a interrupção. Esta mudança abrupta acontece como um resultado da ionização do gás por choque de elétrons.

Os elétrons liberados pelo gás ionizado formam o fluxo e liberam outros elétrons. O processo é, então, cumulativo. A voltagem de interrupção é determinada basicamente pelo tipo de gás, o material usado como eletrodos e seu tamanho e espaçamento. Uma vez ocorrendo a ionização, a corrente pode aumentar para 50 miliampères ou mais, com pequena mudança na voltagem aplicada.

Se a voltagem for aumentada, a corrente aumentará e o catodo será aquecido pelo bombardeamento de íons que o golpeiam. Quando a válvula torna-se bastante quente, resulta em emissão termoiônica.

Esta emissão reduz a perda de voltagem na válvula, o que, causando mais corrente fluindo, aumenta a taxa de emissão e a ionização. Esta ação cumulativa provoca uma repentina diminuição na queda de voltagem através da válvula e um aumento muito grande no fluxo de corrente; a não ser que a válvula se destine a funcionar desta maneira, ela pode sofrer dano pelo aumento excessivo do fluxo de corrente.

O que é fundamental para a formação de um centelhamento; as válvulas que funcionam com estas correntes elevadas são chamadas de “arc tube”.

Para corrente acima de 50 miliampères, a unidade é normalmente pequena e é denominada válvula incandescente por causa da luz colorida que ela emite. Um exemplo de uma válvula assim é a familiar luz neon.

O princípio do controle de grade pode ser aplicado a quase todas as válvulas a gás, mas é usado especialmente com catodo frio, catodo quente e do tipo “arc tube” de triodos e tetrodos. As do tipo catodo quente, de três elementos, recebem em geral o nome *THYRATRON*.

Um outro tipo especial de válvula a vácuo é a fotoelétrica, que é basicamente a mesma coisa que o diodo simples comentado anteriormente. Ela tem um bulbo vazio de vidro, um

catodo que emite elétrons, quando a luz atravessa a válvula, e uma placa que atrai elétrons, quando uma voltagem é aplicada.

A sensibilidade da válvula depende da frequência ou cor da luz usada para excitá-la e é especificada nesses termos.

Por exemplo, algumas válvulas são sensíveis à luz vermelha, outras a luz azul. Na maioria das válvulas fotoelétricas, o catodo parece um meio cilindro e é revestido com múltiplas camadas de metal raro, césio, cobertas por óxido de césio, que por sua vez, repousa sobre uma camada de prata. A placa tem o formato de um pequeno bastão, e localiza-se no centro do catodo. Outros tipos de válvulas a vácuo incluem aquelas com as características de diversas válvulas incorporadas numa só, conforme mostrado na figura 8-223.

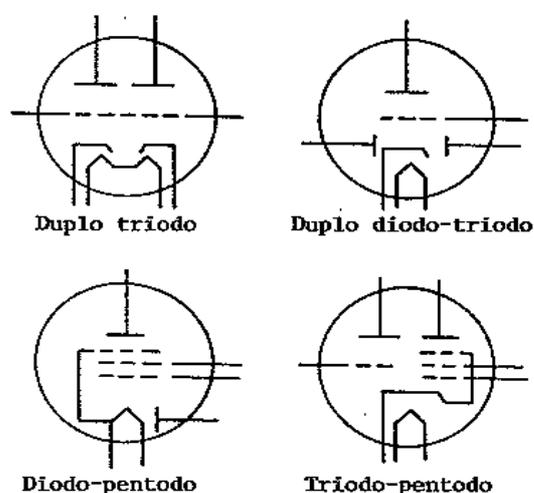


Figura 8-223 Combinações de válvulas.

TRANSISTORES

O transistor é um componente eletrônico que tem a mesma performance de uma válvula a vácuo. Ele é muito pequeno, leve no peso e não requer aquecimento; é também mecanicamente marcado e não acelera a extração de sinal.

Os transistores vêm sendo no geral usados por mais de uma década, mas comparado a alguns dos componentes, eles são relativamente novos.

Um transistor é um semicondutor que pode ser de dois tipos de materiais, cada qual com propriedades elétricas. Os semicondutores são materiais cujas características de resistência encontram-se classificadas entre os bons condutores e isolantes. As interfaces entre as partes do transistor são chamadas de junção. Diodos de

selênio e germânio (retificadores) são exemplos de componentes semelhantes e são chamados diodos de junção.

A maioria dos transistores é feita de germânio, aos quais certas impurezas são acrescentadas para passarem certas características. As impurezas geralmente usadas são arsênio ou "indium".

O tipo de transistor que pode ser usado em algumas aplicações no lugar da válvula triodo é o transistor de função, o qual atualmente possui duas funções.

Ele possui um emissor, base e coletor que correspondem ao catodo, grade e placa respectivamente, na válvula triodo. Os transistores de função são de dois tipos, o NPN e o PNP. (Olhar figura 8-224).

Teoria de operação de transistor

Antes que a operação de transistor e que o sentido de P e N, possa ser explanado é necessário considerar a teoria de ação do transistor.

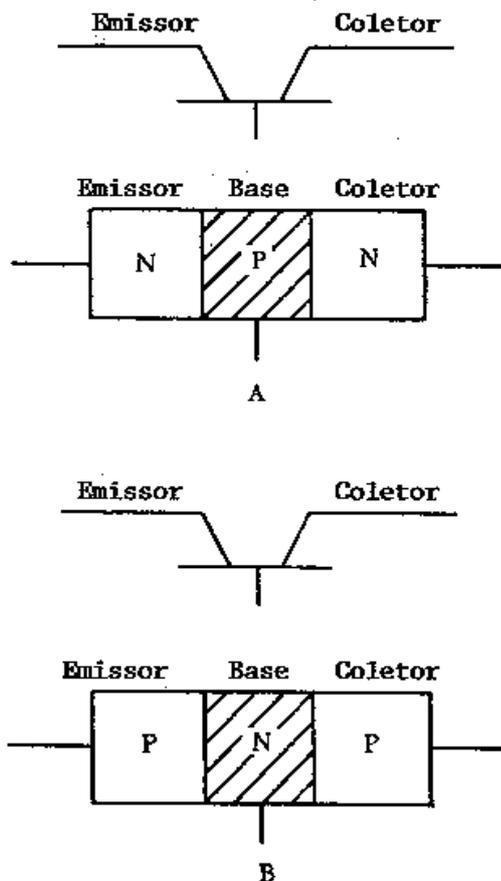


Figura 8-224 Transistores NPN e PNP.

A lacuna é considerada uma carga positiva. Se um elétron de um átomo vizinho move-se, a lacuna não se move realmente; ela é ocupada por outro elétron, e uma outra lacuna é formada. Em "A" da figura 8-225, os elétrons

são representados por pontos pretos, e as lacunas por círculos pontilhados.

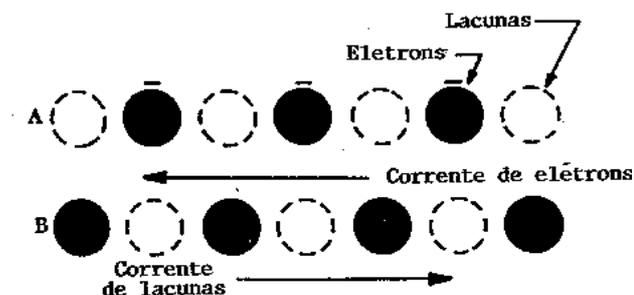


Figura 8-225 Elétrons e lacunas em transistores.

Em "B" da figura 8-225, os elétrons moveram-se de sua posição ocupada em "A", para o espaço à esquerda em "A" da Figura 8-225. Efetivamente, as lacunas foram movidas um espaço para a direita.

O movimento dos elétrons é uma corrente. Ao mesmo modo, o movimento das lacunas também é corrente. A corrente de elétrons move-se em uma direção; a corrente de lacunas percorre a direção oposta. O movimento da carga é uma corrente. Nos transistores, tanto os elétrons como as lacunas representam a corrente.

Em transistores, os materiais referidos usados são: o material N e o material P. O material N é rico em elétrons e, portanto, funciona como corrente de elétrons. O material P é escasso com relação a elétrons, portanto, funciona como lacunas.

Um transistor NPN não é intercambiável com um transistor PNP e vice-versa. Entretanto, se a fonte de força for revertida, eles podem ser intercambiáveis. Visto que a temperatura é crítica, em um circuito transistorizado deve existir refrigeração para os transistores. Outra precaução que precisa ser tomada para todo circuito transistorizado é: nunca se deve energizar deliberadamente um circuito aberto.

Diodos

A figura 8-226 ilustra um diodo de germânio que consiste de dois diferentes tipos de materiais semicondutores.

Com a bateria conectada, como mostrado, lacunas positivas e elétrons são repelidos pela bateria para a junção, causando uma interação entre as lacunas e elétrons. Isto resulta em um fluxo de elétrons através da junção para as lacunas e para o terminal positivo da bateria.

As lacunas se movem em direção ao terminal negativo da bateria. Isso é chamado de direção avançada, e é uma alta corrente.

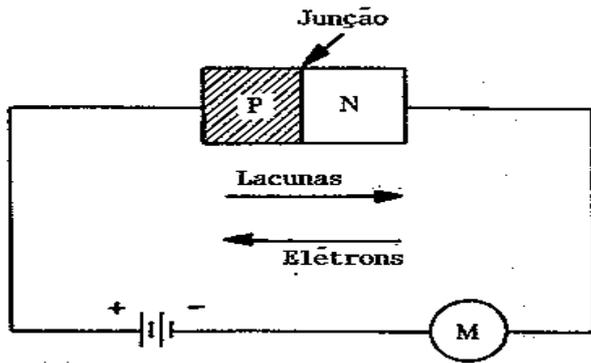


Figura 8-226 Fluxo de elétrons e de lacunas em um diodo com direção avançada.

Conectando a bateria, como mostrado na figura 8-227, causará às lacunas e aos elétrons uma atração no caminho da junção, e pequena interação entre elétrons e lacunas ocorre (na junção). Isto resultará em um muito pequeno fluxo de corrente, chamado corrente reversa.

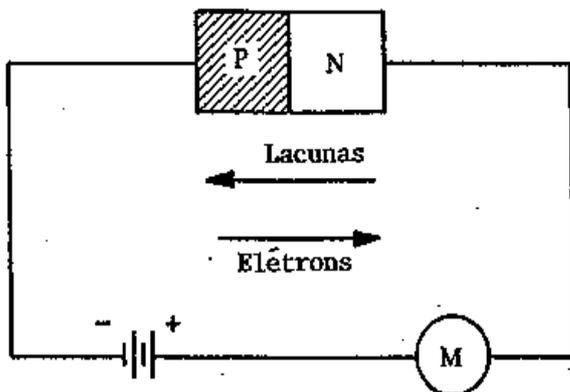


Figura 8-227 Fluxo de elétrons e de lacunas em um diodo com corrente reversa.

O potencial nos eletrodos do diodo transistor, vindo da bateria é chamado "Bias". Este movimento pode ser *bias* direto ou reverso, isto é, em direção de uma corrente alta ou na de uma corrente baixa. O elemento N-germânio é fabricado com uma impureza, semelhante ao arsênico contribuindo para ceder o excesso de elétrons.

O arsênico libera os elétrons imediatamente, e pode ser usado como um carregador. O elemento P-germânio tem uma impureza acrescentada como o "indium". Isso leva os elétrons germânios e deixa as lacunas, ou cargas positivas.

Diodo "Zener"

Diodo "Zener" (algumas vezes chamado de diodo separador) é usado primariamente para regulagem de voltagem. Eles são designados assim, por abrirem (permitir passar corrente) quando o potencial do circuito é igual ou acima da voltagem desejada.

Abaixo da voltagem desejada, o "Zener" paralisa o circuito do mesmo modo, como qualquer outro diodo polarizado reversamente. Por causa do diodo "Zener", é admitido livre fluxo em uma direção. Quando este é usado em um circuito de corrente alternada devem ser usados dois diodos em posições opostas. Presta-se atenção nas correntes alternadas.

O "Zener" pode ser usado em muitos lugares onde uma válvula não pode ser usada, por ser este de pequeno tamanho e pode ser usado em circuito de baixa voltagem.

A válvula é usada nos circuitos acima de 75 volts, porém o diodo "Zener" pode ser usado em regulagens de voltagens tão baixas quanto 3,5 volts.

Transistor PNP

A figura 8-228 mostra um circuito de transistor, energizado por baterias. O circuito emissor é polarizado pela bateria e, diretamente, com alto fluxo de corrente.

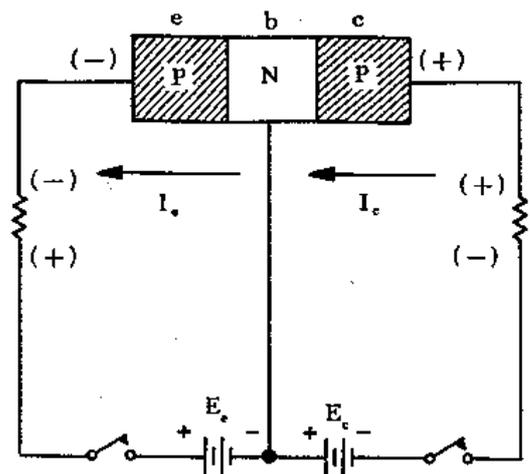


Figura 8-228 Transistor com fluxo de elétrons.

O circuito coletor é polarizado pela bateria e baixo fluxo de corrente.

Se o circuito emissor for fechado (do coletor aberto), uma alta corrente do emissor irá fluir, uma vez que este é polarizado diretamente.

Se o coletor for fechado (do emissor aberto), uma baixa corrente irá fluir, uma vez que este é polarizado na direção reversa.

Ao mesmo tempo, uma corrente de lacunas está fluindo na direção oposta no mesmo circuito, como mostra a figura 8-229. A corrente de lacunas flui do terminal positivo da bateria, ao passo que a corrente de elétrons flui do terminal negativo.

A operação com ambas as chaves fechadas é a mesma como no transistor PNP, exceto que, o emissor agora libera elétrons ao invés de lacunas na base, e o coletor, sendo positivo, irá coletar os elétrons.

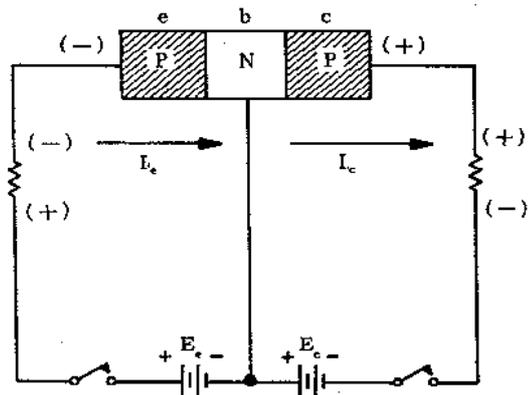


Figura 8-229 Fluxo de corrente de lacunas.

Haverá outra vez um grande aumento na corrente do coletor com a chave do emissor fechada.

Com a chave do emissor aberta, a corrente de coletor será pequena, desde que esteja polarizada inversamente. No primeiro instante deve parecer que o transmissor não pode amplificar, desde que haja menos corrente no coletor do que no emissor. Lembramos, no entanto, que o emissor, é polarizado positivamente, e uma pequena voltagem causa uma grande corrente, equivalendo a um circuito de baixa resistência.

O coletor é polarizado inversamente e uma grande voltagem causa uma pequena corrente, equivalendo a um circuito de alta resistência. Quando ambas as chaves são fechadas, um fenômeno conhecido como ação de transistor ocorre.

O emissor, polarizado diretamente, tem suas lacunas ejetadas através da junção "N" na região de base (o terminal positivo da bateria repele as lacunas através da junção). O coletor, sendo polarizado negativamente, agora atrairá essas lacunas através da junção base para o coletor.

Esta atração de lacunas pelo coletor causaria uma grande corrente reversa se a chave do emissor estivesse aberta. Um grande aumento da corrente reversa do coletor é causada pela então chamada ação do transistor, pelas lacunas do emissor que passam para o coletor. Ao invés das lacunas fluírem através da base e retornarem para o emissor, elas fluirão através do coletor, E_c e E_e para o emissor; a corrente da base é muito pequena.

A soma da corrente do coletor e da base é igual a corrente do emissor. Num transistor típico a corrente do coletor pode ser 80% ou 99% da corrente do emissor, com o restante fluindo através da base.

Transistor NPN

Na figura 8-230, um transistor NPN está conectado no circuito. Nota-se que as polaridades da bateria estão invertidas em relação ao circuito do transistor PNP. Mas com os tipos de materiais do transistor invertidos, o emissor é ainda polarizado diretamente, e o coletor é ainda polarizado reversamente.

Neste circuito, um pequeno sinal aplicado na entrada causa uma pequena mudança nas correntes do emissor e coletor; porém, o coletor sendo uma alta resistência requer somente uma pequena mudança de corrente para voltagem. Por esta razão, um sinal amplificado aparece no terminal de saída.

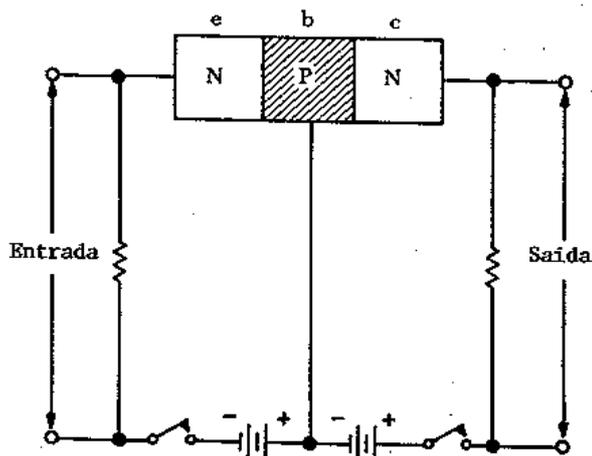


Figura 8-230 Circuito de transistor NPN.

O circuito da ilustração é chamado de amplificador de base comum, porque a base é

comum aos circuitos de entrada e de saída (emissor e coletor).

A figura 8-231 mostra um tipo diferente de circuito de conexão. Este é chamado de amplificador de emissor comum, e é similar ao amplificador triodo convencional. O emissor é como um catodo, a base é como uma grade, e o coletor como uma placa.

O coletor é polarizado por uma corrente reversa.

Se o sinal de entrada estiver no ciclo positivo, como mostra a figura 8-231, isto auxiliará a polaridade, e aumentará a corrente de base e emissor. Isso aumenta a corrente de coletor, tornando o terminal de saída mais negativo.

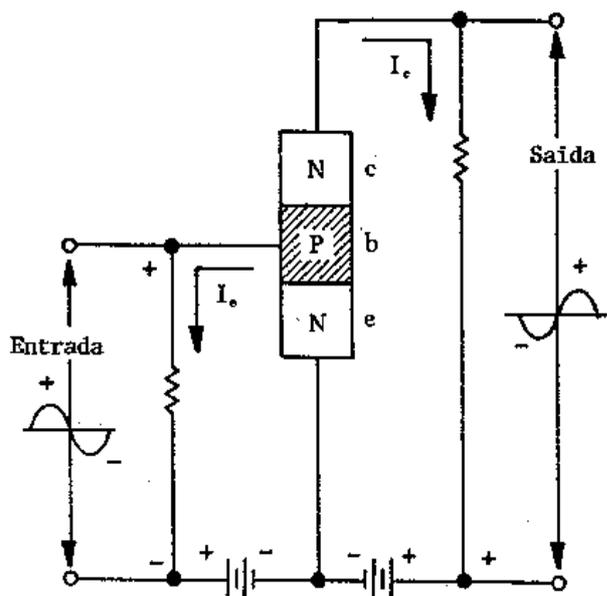


Figura 8-231 Amplificador de emissor comum.

No próximo meio ciclo, o sinal será oposto a polarização e diminuirá a corrente do emissor e do coletor. No entanto, a saída ainda será positiva.

Este estará 180° fora de fase com a entrada, como numa válvula triodo amplificadora.

A corrente de base é uma pequena parte da corrente total do emissor, baseado nisto, somente uma pequena mudança na sua corrente de base causa uma grande mudança na corrente do coletor. No entanto, ele novamente amplifica o sinal.

Este circuito tem maior ganho (relação saída/entrada) entre circuitos amplificadores transistorizados.

Um transistor PNP poderia também ser usado se as polaridades da bateria fossem invertidas.

Uso dos transistores

Os transistores podem ser usados em todas as aplicações onde as válvulas são usadas, dentro de certas limitações impostas pelas suas características físicas.

A principal desvantagem do transistor é sua baixa potência de saída e sua faixa de frequência limitada. No entanto, como eles têm aproximadamente um milésimo do tamanho físico da válvula, eles podem ser usados em equipamentos compactos.

Seu peso é aproximadamente um centésimo da válvula, tornando o equipamento muito leve. Sua vida é aproximadamente três vezes maior do que a de uma válvula, e sua potência requerida é somente cerca de um décimo que de uma válvula.

O transistor pode ser permanentemente danificado pelo calor ou pela polaridade inversa da fonte de alimentação. Por esta razão, cuidados devem ser tomados quando instalados num circuito que tenha estas condições.

Transistores podem ser instalados em soquete de válvula miniatura, ou podem ser soldados diretamente nos circuitos.

Quando se traça o primeiro circuito transistorizado, o problema pode ser a compreensão no esquema, se um transistor é um NPN ou PNP - referência figura. 8-232, que mostra o símbolo esquemático dos dois tipos de transistores. Nota-se uma seta na linha de emissor.

Quando a seta é posicionada fora da base, ele é um NPN, se a seta esta posicionada na direção da base, ele é um transistor PNP.

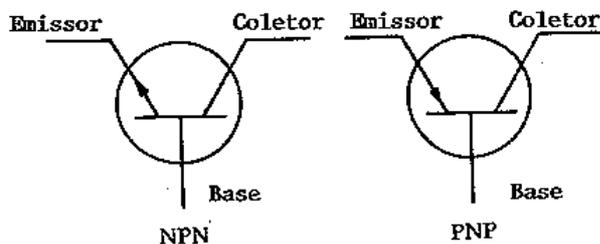


Figura 8-232 Esquema de um transistor.

Uma regra simples para determinar se o transistor é PNP ou NPN é a seguinte: ele é um PNP, se a letra do centro N indicar uma base negativa, ou em outras palavras, que a base conduzirá mais livremente mudanças negativas. Se um transistor é um NPN, o P indica base positiva e o transistor conduzirá mais livremente uma

uma mudança positiva. Como existem diferentes tipos de transistores baseados no método de sua fabricação, existem diversos meios de identificar se o transistor no circuito é NPN ou PNP.

Um método usado para identificar o tipo de transistor, chamado de transistor de junção, está ilustrado na figura 8-233.

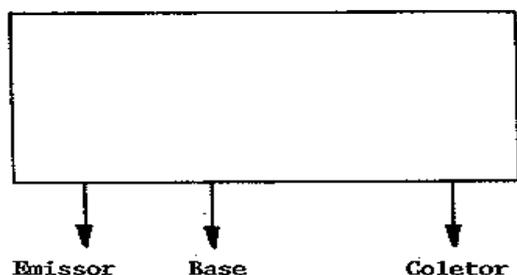


Figura 8-233 Conexão de um transistor de junção.

Neste caso, o método usado para determinar qual dos três terminais conectados ao transistor é a base, qual é o coletor e qual é o emissor, está baseado no espaço físico dos terminais. Existem dois terminais próximos e um terminal mais afastado.

O terminal do centro é sempre a base, e o mais próximo da base é o terminal do emissor; o terminal mais afastado é o coletor.

O diagrama mostrado nesta ilustração é certo para todos os transistores de junção. Para informações detalhadas sobre os transistores, devem ser consultadas as publicações dos fabricantes.

RETIFICADORES

Muitos serviços nas aeronaves requerem altas amperagens e baixa voltagem C.C. para operação.

Esta força pode ser fornecida pelo gerador C.C. do motor, equipamentos moto-geradores, retificadores à vácuo ou retificadores disco-seco ou estado sólido.

Nas aeronaves com sistemas C.A., um gerador C.C. especial não é obrigatório se não houver necessidade da seção de acessórios do motor ter uma peça adicional de conjunto.

Equipamentos de moto-geradores consistindo de motores C.A. refrigerados, que movimentam geradores C.C., eliminam este problema porque eles operam diretamente fora do sistema C.A.

Válvulas a vácuo ou vários tipos de retificadores em estado sólido provêem um simples e eficiente método de obter alta voltagem C.A. a baixa amperagem.

Retificadores a disco de estado sólido são excelentes fontes de alta amperagem e baixa voltagem.

Um retificador é um dispositivo que transforma corrente alternada em corrente contínua, pela limitação de regulação da direção do fluxo de corrente. Os principais tipos de retificadores são os de discos, estado sólido e a válvula a vácuo.

Os retificadores em estado sólido ou semicondutores são rapidamente substituídos por outros tipos, e os retificadores a válvula à vácuo e moto-geradores são limitados aos modelos antigos de aeronaves, a maior parte dos estudos de retificadores são desenvolvidos para os serviços de estado-sólido usados para retificação.

Moto-gerador

Um moto-gerador é um motor C.A. e um gerador de C.C. combinado em uma unidade. Esta combinação é freqüentemente chamada de conversor. Os conversores operam diretamente com voltagem monofásica ou trifásica. Os conversores usados em grandes aeronaves são normalmente operados na trifase, 208 volt do sistema C.A., fornecendo uma corrente contínua de 200 ampères a 30 volts, com uma drenagem de corrente de 28 ampères do sistema C.A.. Unidades similares a aquelas usadas em aeronaves com sistemas C.C. são providas de regulador de voltagem e equipamentos de moto-gerador.

Um motor gerador oferece um número de vantagens como uma fonte de força C.C., na aeronave. Com um moto-gerador, uma interrupção momentânea da força C.A. não corta a força C.C. completamente, devido a inércia da armadura durante a interrupção da força C.A.. Altas trocas de temperaturas afetam o moto-gerador levemente.

Falhas devido ao sobreaquecimento são insignificantes comparadas com aquela do retificador de válvula a vácuo, quando é operado acima da temperatura de segurança. Em adição, um moto-gerador pode ser operado em temperaturas abaixo daquelas requeridas pelos retificadores a disco ou estado sólido.

O grande problema para o moto-gerador é igual ao de todos os equipamentos sujeitos a rotação regular, - uma manutenção considerável, e geram ruídos desagradáveis, especialmente se estiverem na cabine da aeronave.

Por esta razão e por causa do peso, espaço e custo, o moto-gerador é rapidamente trocado por diversas fontes de força em estado sólido.

Retificadores a disco

Os retificadores a disco operam pelo princípio do fluxo da corrente elétrica através da junção de dois materiais condutores não semelhantes, mais rapidamente em uma direção do que na direção oposta.

Isso é verdadeiro porque a resistência ao fluxo de corrente em uma direção é baixa, enquanto na outra direção é alta.

Dependendo do material usado, alguns ampères podem fluir na direção da baixa resistência, porém uns poucos miliampères na direção da alta resistência.

Três tipos de retificadores a disco podem ser encontrados nas aeronaves. O retificador de óxido de cobre, retificador a selenium e o de sulfito de cobre magnésio.

O retificador de óxido de cobre (figura 8-234) consiste de um disco de cobre sobre o qual uma demão de óxido de cobre foi aplicada por aquecimento.

Isto também pode ser feito jateando-se um preparado químico de óxido de cobre sobre a superfície de cobre. Placas de metal, normalmente placas de chumbo, são prensadas contra as duas faces opostas do disco para dar um bom contato.

O fluxo de corrente vai do cobre para o óxido de cobre.

O retificador a selenium consiste de um disco de ferro similar a uma arruela, com um dos lados coberto com selenium. Esta operação é similar a do retificador de óxido de cobre. O fluxo de corrente se dá do selenium para o ferro.

O retificador de sulfito de cobre magnésio é feito de um disco de magnésio em forma de arruela coberto, com uma camada de sulfito (ou sulfato) de cobre. Os discos são colocados de modo semelhante aos dos outros tipos. A corrente flui do magnésio para o sulfito de cobre.

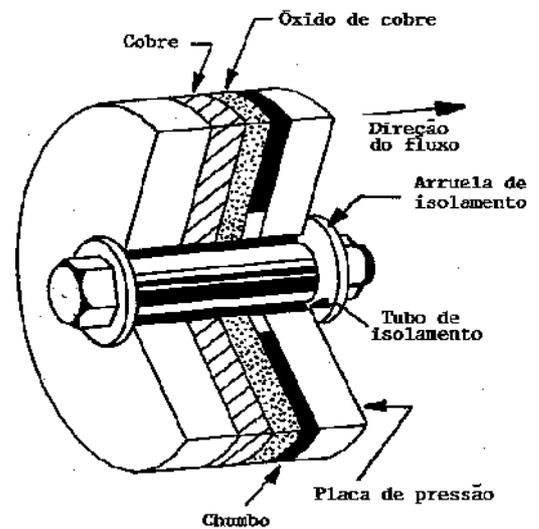


Figura 8-234 Retificador de disco seco de óxido de cobre.

Retificadores de estado-sólido

No estudo dos transistores foi apontado que o diodo de estado-sólido é fabricado de material semiconductor. Ele consiste de material tipo-N e tipo-P unidos a um cristal único. O ponto, ou junção, onde os dois materiais estão em contato é chamado uma junção P-N. Este tipo de semiconductor independentemente de classificação ou tamanho é chamado um diodo junção.

O primeiro tipo de semiconductor usado era chamado de diodo ponto-contato. Ele utilizava um tipo único de material semiconductor, contra o qual um fio de bronze fosfórico ou tungstênio chamado "BIGODE DE GATO" era prensado ou fundido. O diodo ponto-contato tem sido largamente substituído por diodo junção por causa de sua capacidade de corrente de carga limitada. Uns dos mais comuns materiais semicondutores são: o germânio e o silicone. Um típico diodo de junção é mostrado na figura 8-235.

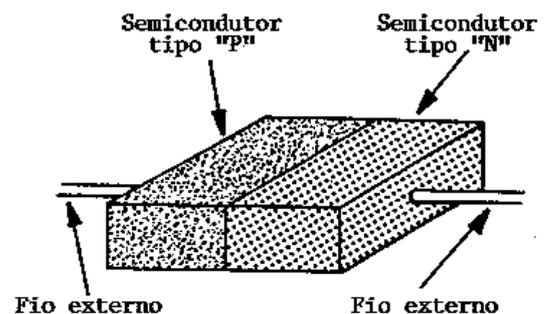


Figura 8-235 Diodo de junção.

Na figura 8-236, o terminal positivo da bateria é conectado para o material semicondutor tipo-P, e o terminal negativo é conectado no tipo-N, este arranjo constitui a polarização direta. As lacunas no material tipo-P são repelidas pelo terminal positivo e se movimentam em direção a junção.

Os elétrons no material tipo-N são repelidos pelo terminal, e igualmente se movimentam em direção a junção. Isto diminui o espaço de carga existente na junção, e o fluxo corrente de elétrons é mantido através do circuito externo.

A corrente no material tipo-P está na forma de lacunas, e no material tipo-N ela é na forma de elétrons.

Se a polarização direta é aumentada, o fluxo de corrente aumentará. Se a polarização direta é aumentada excessivamente, ela causará excessiva corrente. A corrente excessiva aumentará a agitação térmica e a estrutura do cristal quebrará. Um importante fato, vale a pena lembrar, é que todos os mecanismos de estado sólido são sensíveis a temperatura, e serão destruídos se a temperatura for muito intensa.

Se as conexões da bateria mostradas na figura 8-236 são invertidas, o diodo junção é polarizado inversamente. Agora as lacunas são atraídas no sentido do terminal negativo, afastando-se da junção. Os elétrons são atraídos no sentido do terminal positivo, também se afastando da junção.

Isto alarga a região de barreira (ou região de deflexão), aumenta o espaço de carga, e reduz a corrente para uma condição mínima.

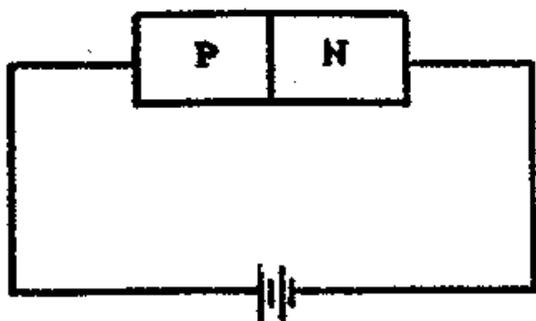


Figura 8-236 Diodo de junção.

Isto possibilita aplicar também uma alta polaridade reversa. Quando isto acontece a estrutura do cristal se quebra.

O símbolo do diodo semicondutor é mostrado na figura 8-237. Nota-se que este é o

mesmo símbolo usado para outros tipos de diodo, como óxido de cobre e retificadores de disco seco de selênio. A polaridade direta, ou alta corrente, é sempre contrária a indicação da seta no símbolo.

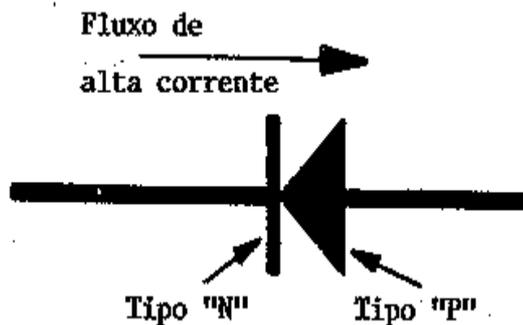


Figura 8-237 Símbolo de diodo semicondutor.

Figura 8-238 mostra uma típica característica de curva para um diodo junção. Como a polaridade direta é aumentada a uma quantidade pequena, o fluxo de corrente aumenta consideravelmente. Por esta razão é dito que dispositivos de estado-sólido são dispositivos operados por corrente, desde que seja fácil medir a grande relatividade de mudança no fluxo de corrente quando comparado a uma pequena mudança na voltagem.

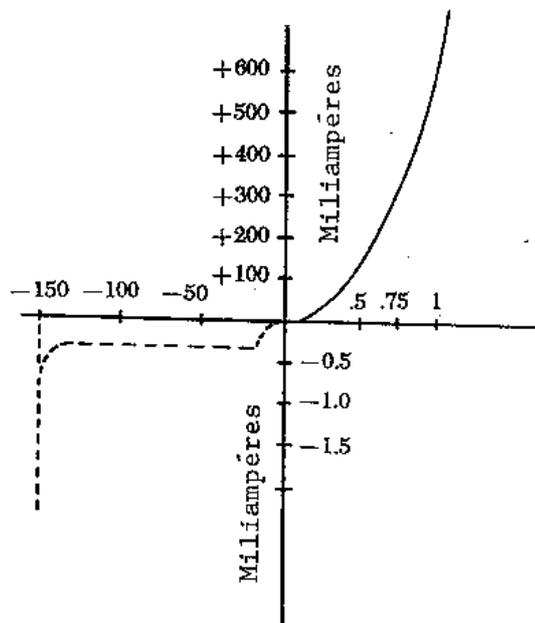


Figura 8-238 Curva característica de um diodo típico de junção.

Com polarização direta aplicada, o diodo mostra uma característica de baixa resistência. De outra forma, com a polarização invertida

aplicada, uma alta resistência passa a existir. A característica mais importante de um diodo é que ele permite fluxo de corrente em uma só direção. Isto permite aos dispositivos de estado sólido serem usados em circuitos retificadores.

Retificação

Retificação é o processo de mudança de corrente alternada para corrente contínua. Quando um semicondutor retificador, semelhante a um diodo junção, é conectado em uma fonte de voltagem de corrente alternada, ele é alternadamente polarizado direto e inverso, em alternância com a voltagem de corrente alternada, como mostrado na figura 8-239.



Figura 8-239 Processo de retificação.

Na figura 8-240 um diodo é colocado em série com uma fonte de força de corrente alternada e um resistor carga. Isto é chamado de circuito retificador de meia-onda.

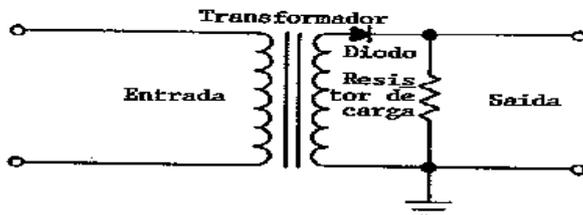


Figura 8-240 Circuito retificador de meia onda.

O transformador provê a corrente alternada de entrada para o circuito; o diodo provê a retificação da corrente alternada; e o resistor-carga serve com os dois propósitos:

- (1) Ele limita a quantidade do fluxo de corrente no circuito para um nível de segurança, e
- (2) Ele desenvolve um sinal de saída para o fluxo de corrente através do mesmo.

Suponhamos que na figura 8-241, o topo secundário do transformador é positivo e o fundo negativo. Desta forma, o diodo é polarizado direto; a resistência do diodo é muito baixa e

flui corrente através do circuito na direção da seta.

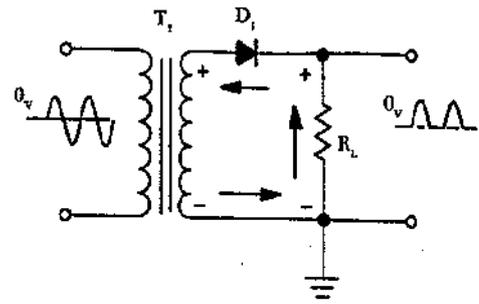


Figura 8-241 Saída de um retificador de meia onda.

A saída através do resistor carga (queda de voltagem) segue a forma de onda da metade positiva da corrente alternada de entrada.

Quando a corrente alternada de entrada segue na direção negativa, o topo do secundário do transformador torna-se negativo e o diodo fica com a polaridade invertida.

Com a polaridade invertida aplicada ao diodo a resistência ao diodo, torna-se muito grande, e o fluxo de corrente através do diodo e do resistor-carga torna-se zero (lembraremos que uma pequeníssima corrente fluirá através do diodo). À saída, a tomada através do resistor, será zero. Se a posição do diodo for invertida, a potencia de saída será de pulsos negativos.

Em um retificador de meia-onda, meio ciclo de potência é produzido através do resistor de carga para cada ciclo completo de potência de entrada. Para aumentar a potência de saída, um retificador de onda completa pode ser utilizado.

A figura 8-242 mostra um retificador de onda completa, o qual é, com efeito, a combinação de dois retificadores de meia-onda combinados em um circuito.

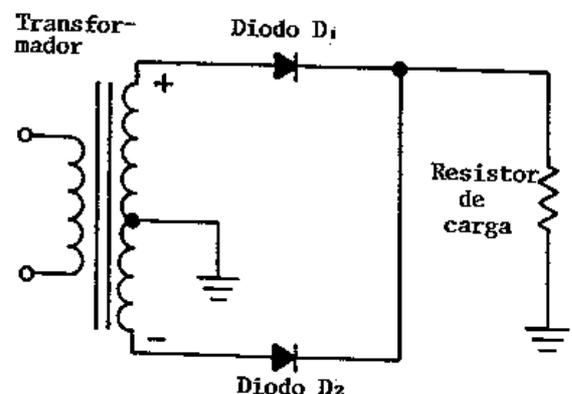


Figura 8-242 Retificador de onda completa.

Nesse circuito, um resistor de carga é utilizado para limitar o fluxo de corrente e desenvolver uma voltagem de saída; dois diodos para proporcionar retificação, e um transformador para fornecer corrente alternada para o circuito.

O transformador, utilizado em circuitos retificadores de onda completa, deve ter derivação central para completar o caminho para o fluxo de corrente através do resistor de carga.

Assumindo as polaridade mostradas no transformador, o diodo D_1 estará polarizado negativamente para adiante, e a corrente irá fluir do “terra” através do resistor de carga, através do diodo D_2 para o topo do transformador.

Quando a corrente alternada muda de direção, o transformador secundário assume uma polaridade oposta.

O diodo D_2 agora terá tendência para frente e a corrente fluirá na direção oposta, a partir do “terra” para o resistor carga, através do D_2 para a metade inferior do transformador.

Quando um diodo está com tendência para frente, o outro está com tendência para traz.

Não importa qual o diodo que esteja com tendência para frente, a corrente fluirá através do resistor de carga na mesma direção; dessa maneira, a saída será uma série de pulsos de mesma polaridade. Revertendo ambos os diodos, a polaridade também será revertida.

A voltagem que é sentida através do retificador quando a tendência reversa está sendo aplicada é sempre referida como “o pico inverso de voltagem”.

Por definição, este é o valor do pico da voltagem instantânea através do retificador durante o meio-ciclo, no qual a corrente não flui ou que está com tendência reversa aplicada.

Se uma voltagem inversa é aplicada, e se ela for muito grande, o retificador será destruído.

O termo “voltagem de quebra” é sempre utilizado ao invés do termo “taxa de voltagem inversa de pico”, mas ambos os termos têm os mesmos significados.

A voltagem de quebra é a voltagem máxima que o retificador pode agüentar enquanto ele não estiver conduzindo (com tendência-reversa); a voltagem de pico inverso é a voltagem que realmente está sendo aplicada ao retificador. Como a voltagem de pico inverso é mais baixa que a voltagem de quebra, não haverá o problema de destruição do retificador.

Ponte de diodos de um circuito retificador

Uma modificação vantajosa do retificador de diodo de onda-completa é o retificador tipo ponte.

O retificador tipo ponte difere do retificador de onda-completa, porque não requer um transformador com derivação central (*center tap*), mas sim dois diodos adicionais.

Para ilustrar como o retificador tipo ponte opera, considera-se uma onda senoidal de entrada que na sua alternção positiva está demonstrada na figura 8-243.

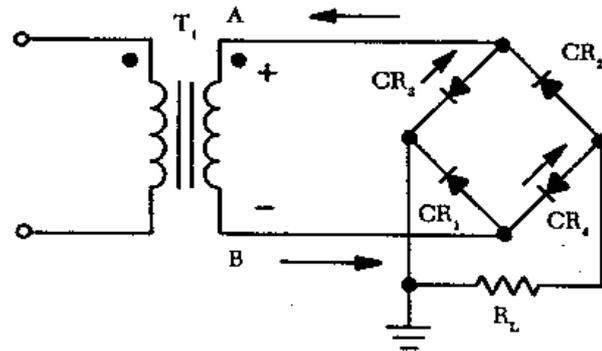


Figura 8-243 Retificador de ponte de diodos.

Com o secundário de T_1 funcionando como a fonte de força do tipo retificador tipo ponte, o ponto “A” é o ponto mais positivo da ponte, enquanto o ponto “B” é o mais negativo. O fluxo de corrente será formado de “B” para “A” através dos diodos que estão com tendência para frente.

Como uma ajuda em descobrir o caminho do fluxo de elétrons, considera-se o circuito tipo ponte redesenhado na figura 8-244.

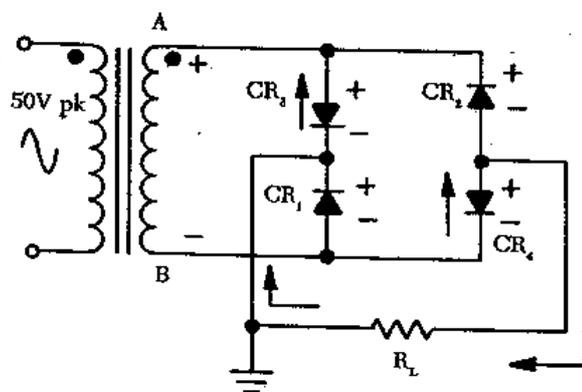


Figura 8-244 Circuito retificador tipo ponte redesenhado.

Os diodos com tendência para frente, CR_2 e CR_4 , são facilmente reconhecidos. A voltagem vai caindo através de cada curva de voltagem conforme indicado. Ainda, na entrada de meio ciclo-positivo CR_3 e CR_4 , ambos estão com tendência para frente, e CR_1 e CR_2 estão com tendência-reversa.

Uma vez que a quebra de voltagem no diodo não foi excedido, a corrente irá fluir a partir do ponto "B" para cima através do CR_4 , fechando o circuito através de R_L . Após a corrente cruzar R_L , ela fluirá para o ponto "A" através do CR_3 .

Nota-se que o fluxo de corrente através de R_L é da direita para a esquerda, ou em relação a polaridade, uma saída de meio-ciclo negativo para uma entrada de meio-ciclo positivo.

Lembre-se que, quando traçando o fluxo de corrente para o meio-ciclo negativo, o fluxo de elétrons através do diodo está contra a flecha simbólica, a partir do negativo para um menos negativo ou ponto positivo. Ainda não se deve confundir quando ao traço do fluxo eletrônico para cima e para fora do ponto comum entre CR_3 e CR_1 . Embora possa parecer, CR_1 e também CR_4 , estão voltados para frente, este não é o caso. O coletor CR_1 é mais negativo que o seu emissor, logo, ele está com tendência para trás.

Desde que, o meio-ciclo negativo, CR_1 e CR_2 , está com tendência para frente, o sinal de saída no meio-ciclo negativo é negativo.

Uma vez que ambos os meios-ciclos, no sinal de entrada, resultem impulsos de saída negativo, o retificador de ponte alcançou o mesmo objetivo que um diodo retificador de onda-completa.

FILTRAGEM

Esta parte do processo de retificação que envolve a conversão de voltagem A.C. em impulso C.C. foi tratada e discutida para válvula, disco-seco e diodos semicondutores.

Para o processo de retificação, de maneira que os pulsos de voltagem são mudados para uma aproximação aceitável de suavidade da DC, envolve um processo chamado filtragem.

Qualquer reatância contrária a mudança na voltagem (ou corrente) armazenando energia e soltando essa energia de volta para o circuito pode ser usado como filtro.

No estudo dos capacitores, foi demonstrado que a capacitância opõem-se a mudança

da voltagem através de seu terminal, armazenando energia no seu campo eletro-estático.

Sempre que a voltagem tende a aumentar, o capacitor converte esta voltagem e a muda para energia armazenada.

Quando a voltagem tende a cair, o capacitor converte essa energia armazenada de volta em voltagem.

O uso de capacitor para filtragem da saída do retificador é ilustrado na figura 8-245.

O retificador é mostrado como um bloco, e o capacitor C_1 é conectado em paralelo com a carga R_1 .

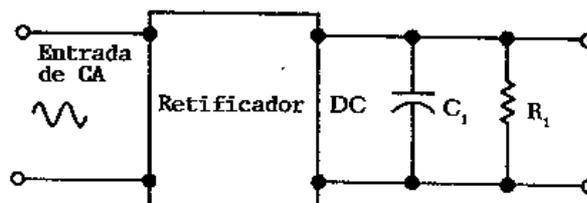


Figura 8-245 Um capacitor usado como filtro.

O capacitor C_1 é escolhido para oferecer impedância muito baixa para a frequência de ondulação da C.A., e uma impedância muito alta para o componente da C.C.

A ondulação de voltagem é desviada para a terra através do caminho de baixa impedância, enquanto a voltagem C.C. é aplicada sem mudança para carga.

O efeito do capacitor na saída do retificador pode ser visto nas formas de onda, mostradas na figura 8-246.

As linhas pontilhadas mostram a saída do retificador, e as linhas sólidas mostram o efeito do capacitor. A saída do retificador de onda completa é mostrada.

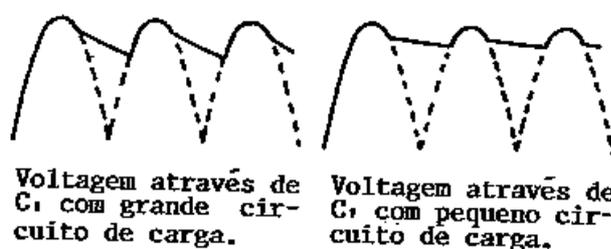


Figura 8-246 Saídas de retificador de meia onda e de onda completa usando um capacitor como filtro.

O capacitor C_1 se carrega quando a voltagem de saída do capacitor tende a aumentar, e

descarrega quando a voltagem através da carga R_1 é mantida quase que constante.

Uma indutância pode ser usada como filtro, uma vez que se opõem à mudança na corrente através dela, armazenando energia no seu campo eletromagnético, quando toda corrente a aumentar.

Quando a corrente através do indutor tende a diminuir, o indutor supre a energia para manter o fluxo da corrente.

O uso de um indutor para filtragem da saída de um retificador é apresentado na figura 8-247.

Nota-se que o indutor L_1 está em série com a carga R_1 .

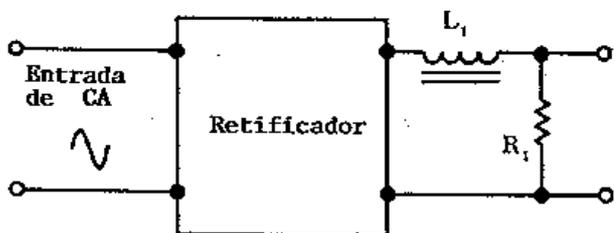


Figura 8-247 Um indutor usado como filtro.

A indutância L_1 é selecionada para oferecer alta impedância para uma ondulação (“*ripple*”) de voltagem C.A. e baixa impedância para a componente de C.C.

Conseqüentemente, para uma (“*ripple*”) ondulação de C.A., uma alta queda de voltagem ocorre através do indutor e uma pequena queda de voltagem ocorre através da carga C_1 para a componente de C.C., de modo que, uma pequena queda ocorre através do indutor e uma muito alta queda de voltagem ocorre através da carga.

O efeito de um indutor na saída do retificador de uma onda completa na forma da onda de saída é mostrado na figura 8-248.



Figura 8-248 Saída de um indutor como filtro de retificador.

Nota-se que a oscilação foi atenuada (reduzida) na saída de voltagem.

Capacitores e indutores são combinados de vários modos para prover uma filtragem mais satisfatória que possa ser obtida com um simples capacitor ou indutor. Estes são chamados comumente como “filtros LC”.

Muitas combinações são mostradas esquematicamente na figura 8-249. Nota-se que o tipo “L” ou o “L” invertido, e o filtro tipo T, assemelham-se esquematicamente as letras correspondentes do alfabeto.

O tipo π assemelha-se a letra grega pi (π), esquematicamente.

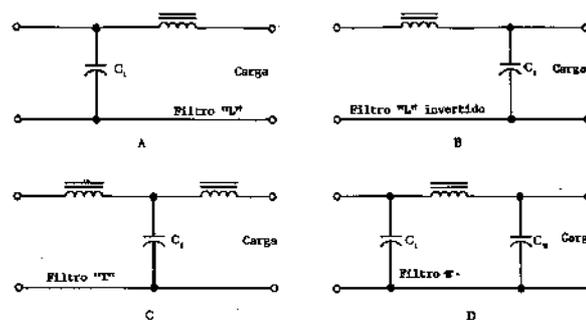


Figura 8-249 Filtros “LC”.

Todas as seções filtro mostradas são similares; as indutâncias estão em série e as capacitâncias estão em paralelo com a carga. A indutância precisa, conseqüentemente, oferecer uma impedância muito alta, e os capacitores uma impedância muito baixa para a frequência de oscilação. Desde que a frequência de oscilação é comparativamente baixa, as indutâncias nas bobinas de núcleo de ferro são de altos valores de indutância (muitos Henry).

Como eles oferecem alta impedância para uma oscilação de frequência, estas bobinas são chamadas **CHOKES**. Os capacitores precisam também ser de valores altos (muitos micro farads), para oferecer pouca oposição para oscilações de frequências. A voltagem através do capacitor é C.C. Os capacitores eletrolíticos são frequentemente usados como filtros a capacitores. A polaridade correta em conexão de capacitores eletrolíticos precisa sempre ser observada.

Adicionalmente, os filtros podem estar combinados para melhorar a ação de filtragem.

Filtros L.C. também são classificados de acordo com a posição do capacitor e indutor. Um filtro de capacitor de entrada é um, em que, o capacitor está conectado diretamente através dos terminais de saída do retificador. Um filtro de **CHOKES** de entrada é um, em que, um **CHOKES** precede o capacitor filtro.

Se for necessário aumentar a voltagem aplicada para mais do que um simples retificador pode tolerar, a solução usual é empilhá-los. Estes retificadores são similares aos resistores acrescentados em série.

Em cada resistor cairá uma porção da voltagem aplicada, menor que a voltagem total. A mesma teoria aplica-se aos retificadores acrescentados em série, ou empilhados. Empilhamentos em série aumentam a razão da voltagem.

Se, por exemplo, um retificador for destruído por uma aplicação de voltagem excessiva de 50 volts, e para ser usado num circuito com uma aplicação de voltagem de 150 volts, o empilhamento de diodos pode ser usado. O resultado é mostrado na figura 8-250.

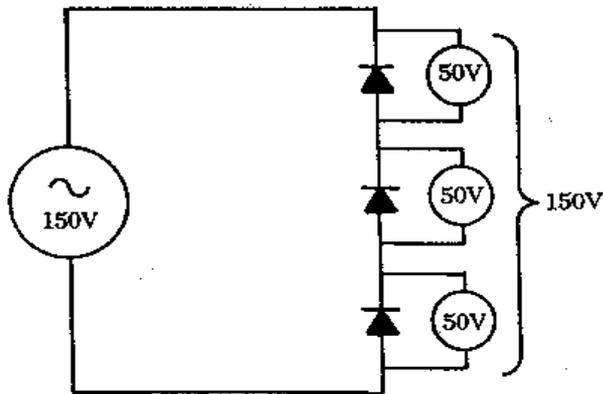


Figura 8-250 Empilhamento de diodos em um circuito.

Identificação de diodos semicondutores

Existem muitos tipos de diodos semicondutores em uso hoje em dia, e muitos métodos são usados para identificar o emissor e o coletor. Os três seguintes métodos mais comuns são usados para identificar o emissor e o coletor:

O primeiro é colocar um pequeno ponto próximo ao terminal emissor ("A" da figura 8-251). O segundo método é estampar o símbolo do retificador na capa do diodo ("B" da figura 8-251).

Um terceiro método usado muito frequentemente é colocar o código de cores ("C" da figura 8-251). Frequentemente, o código de cores usado é o mesmo código de cores para os resistores.

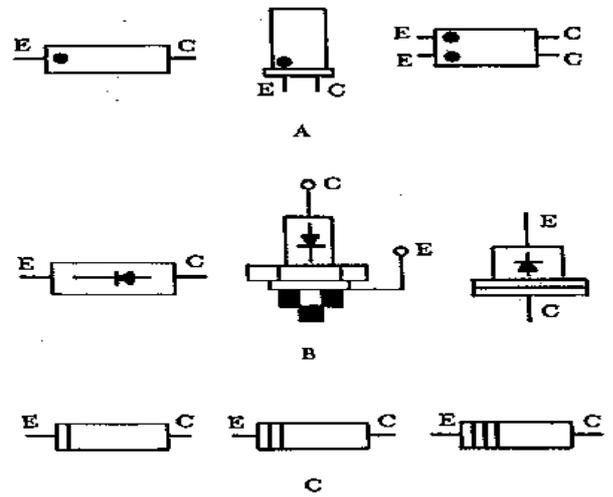


Figura 8-251 Identificação de diodos.

Um diodo muito comum é o 1N 538. O "1N" indica que existe somente uma junção PN, ou que este dispositivo é um diodo.

O número que se segue, normalmente indica a sequência de fabricação. Isto é: o 1N 537 foi desenvolvido antes do 1N 538, que pode ser um modelo melhorado de um 1N 537, ou pode ser um diodo totalmente diferente como um todo.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO C.A.

Um medidor C.C, como um ohmímetro, conectado num circuito C.A. indicará zero, porque a bobina móvel do ohmímetro que transporta corrente para ser medida está localizada num campo magnético permanente.

Como o campo magnético permanece constante e na mesma direção todo o tempo, o movimento da bobina segue a polaridade da corrente. A bobina tenta mover-se numa direção durante a mesma do ciclo C.A., e na direção contrária durante a outra metade, quando a corrente inverte.

A inversão da direção da corrente é meio rápida para a bobina seguir uma posição média. Desde que a corrente seja igual e oposta durante cada metade de um ciclo C.A., a direção da corrente medida indica zero, cujo valor é a média; deste modo, um medidor com um magnetismo permanente não pode ser usado para medir voltagem e corrente alternada.

De qualquer modo, o medidor de magnetismo permanente D'Arsonval pode ser usado para medir corrente alternada e voltagem, se a corrente que passa através do medidor é primei-

ramente retificada, isto é, modificada de corrente alternada para corrente contínua.

Retificador C.A. medidor

Os retificadores de óxido de cobre são geralmente usados com o medidor de C.C. D'Arsonval, movimentando para medir correntes e tensões alternadas; desta forma, existem muitos tipos de retificadores que podem ser usados, alguns dos quais estão incluídos na discussão de sistemas alternadores.

Um retificador de óxido de cobre permite que a corrente flua através do medidor em somente uma direção.

Como mostrado na figura 8-252, o retificador de óxido de cobre consiste de discos de óxido de cobre separados, alternadamente, por discos de cobre, e apertados juntos como uma simples unidade.

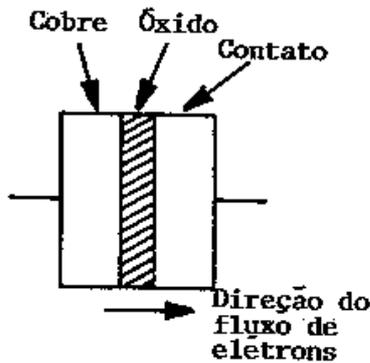


Figura 8-252 Retificador de óxido de cobre.

A corrente flui mais prontamente do cobre para o óxido de cobre que do óxido de cobre para o cobre.

Quando a C.A. é aplicada, conseqüentemente a corrente flui em uma única direção, produzindo uma pulsação de C.C. de saída, como mostrado pela forma da onda de saída, na figura 8-253. Esta corrente pode, neste caso, ser medida como fluxo através do movimento do medidor.

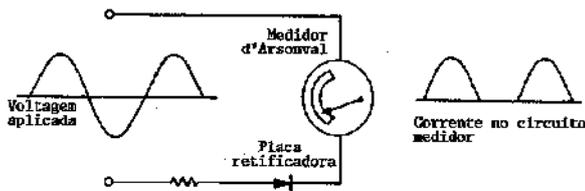


Figura 8-253 Circuito de retificador de meia onda.

Em alguns medidores C.A., válvulas retificadoras ou retificadores de selênio, são usados no lugar do retificador de óxido de cobre. O princípio de operação, desta forma, é sempre o mesmo em todos os medidores que usam retificadores.

Movimento do medidor eletrodinamômetro

O medidor eletrodinamômetro pode ser usado para medir tensão e corrente contínua ou alternada.

Ele opera com os mesmos princípios do medidor de bobina móvel de magnetismo permanente, exceto quando o magnetismo permanece, e é trocado por um eletromagneto de núcleo a ar.

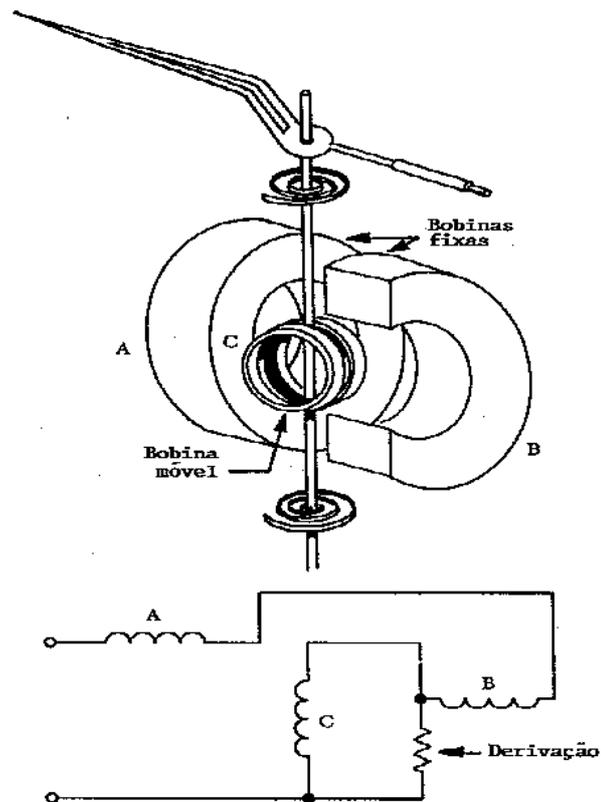


Figura 8-254 Diagrama simplificado do movimento de um eletrodinamômetro.

O campo do medidor eletrodinamômetro é desenvolvido pela mesma corrente que flui através da bobina móvel (veja a figura 8-254).

Num medidor eletrodinamômetro, duas bobinas de campo estacionário são conectadas em série com a bobina móvel. A bobina móvel é unida como eixo central e gira dentro do campo estacionário das bobinas.

Uma mola espiral fornece a força restauradora para o medidor, e também introduz corrente para a bobina móvel.

Quando a corrente flui através do campo das bobinas "A" e "B" e da bobina móvel "C", a bobina "C" gira em oposição a mola e posiciona-se paralela ao campo da bobina.

Quanto mais corrente flui através das bobinas, mais se movimenta a bobina que supera a oposição da mola e move para o ponto mais distante através da escala.

Se a escala é propriamente calibrada e um adequado "SHUNT" ou multiplicador é usado, o movimento do dinamômetro indicará corrente ou voltagem.

Embora os eletrodinômetros sejam muito precisos, eles não têm a sensibilidade do medidor D'Arsonval e, por esta razão, não são largamente usados fora do laboratório.

Amperímetro eletrodinômetero

No amperímetro eletrodinômetero, a baixa resistência da bobina produz somente uma pequena queda de voltagem no circuito medido. Um "shunt" indutivo é conectado em série com a bobina de campo. Este "shunt"; similar a resistência "shunt" usada em amperímetros de C.C., permite, somente parte da corrente sendo medida, fluir através das bobinas.

Como no amperímetro de corrente contínua, a maior parte da corrente do circuito flui através do "shunt"; mas a escala está calibrada de acordo, e o medidor lê a corrente total.

Um amperímetro C.A. igual ao amperímetro C.C., é conectado em série com o circuito no qual a corrente é medida.

Os valores efetivos são indicados pelo medidor. Um diagrama esquemático de um circuito do amperímetro eletrodinômetero é mostrado na figura 8-255.

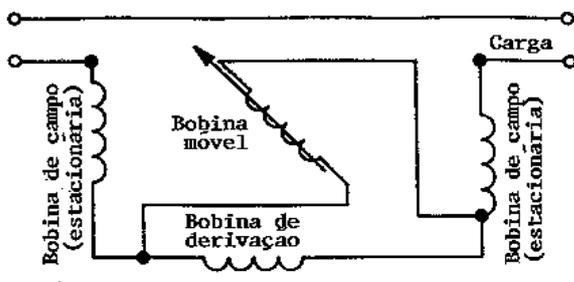


Figura 8-255 Circuito de um amperímetro eletrodinômetero.

Voltímetro eletrodinômetero

No volímetro eletrodinômetero bobinas de campo são enroladas com várias voltas de fio fino. Aproximadamente 0.01 ampère de corrente flui através de ambas as bobinas e é requerido para operar o medidor.

Resistores de um material não indutivo, conectado em série com as bobinas, são usados em diferentes faixas de voltagem. Os volímetros são conectados em paralelo através da unidade na qual a voltagem deve ser medida. Os valores das voltagens indicadas são valores efetivos. Um diagrama esquemático de um volímetro eletrodinômetero é indicado na figura 8-256.

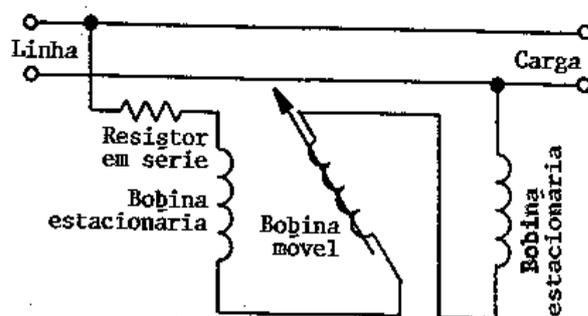


Figura 8-256 Circuito de um volímetro eletrodinômetero.

Medidor de aleta de ferro móvel

O medidor de aleta de ferro é outro tipo básico de medidor, que pode ser usado tanto para medir C.A. ou C.C., diferente do medidor D'Arsonval, o qual emprega magnetos permanentes, e depende do magnetismo induzido para sua operação.

Utiliza-se o princípio da repulsão entre duas aletas concêntricas de ferro, uma fixa e outra móvel, colocadas dentro de um solenóide conforme mostrado na figura 8-257. O ponteiro está fixado à aleta móvel.

Quando a corrente flui através da bobina, as duas aletas de ferro ficam magnetizadas com os pólos norte na sua extremidade superior e os pólos sul na sua extremidade inferior para uma direção de corrente através da bobina. Uma vez que os pólos iguais se repelem a componente desbalanceada de força, tangente ao elemento móvel, faz com que ela gire contra a força exercida pelas molas.

A aleta móvel é de forma retangular, e a aleta fixa é afilada. Este desenho permite o uso de uma escala relativamente uniforme.

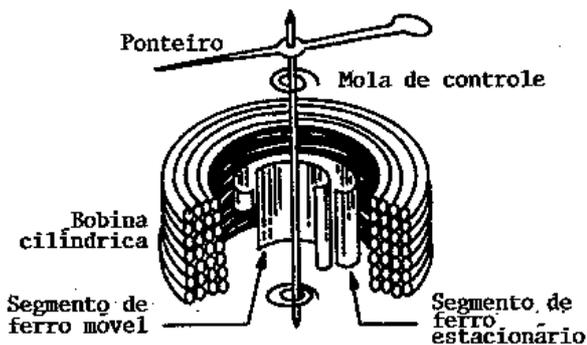


Figura 8-257 Medidor de aletas móveis de ferro.

Quando nenhuma corrente flui através da bobina, a aleta móvel é posicionada de maneira que esteja oposta à porção maior da aleta fixa afilada, e a escala chegará a zero.

A quantidade de magnetização das aletas depende do campo de força, que por sua vez, depende da quantidade de corrente fluindo através da bobina. A força de repulsão é maior quando oposta a extremidade maior da aleta fixa, do que a da extremidade menor que está mais perto.

Ainda, as aletas móveis seguem na direção da extremidade menor através de um ângulo que é proporcional a magnitude da corrente da bobina. O movimento cessa quando a força de repulsão está equilibrada pela força de retração da mola.

Uma vez que a repulsão está sempre na mesma direção (através da extremidade menor da aleta fixa) não importando a direção do fluxo da corrente através da bobina, o instrumento de medição de aletas móveis de ferro opera tanto em correntes contínuas (C.C.) como em correntes alternadas (C.A.).

Um mecanismo de amortecimento, neste tipo de instrumento, pode ser obtido pelo uso de uma aleta de alumínio presa ao eixo, de maneira que, quando o eixo se move, a aleta se move num espaço de ar restrito.

Quando um medidor de aletas de ferro móvel é projetado para ser usado como um amperímetro, a mola é enrolada relativamente com poucas voltas de um fio mais grosso, para que carregue a corrente especificada.

Quando este medidor de aletas de ferro móvel é projetado para atuar como voltímetro, o

solenóide é enrolado com mais voltas de fio fino.

Voltímetros portáteis são fabricados com resistência em série auto contidas que variam até 750V. Maiores faixas são obtidas pelo uso de multiplicadores externos adicionais.

O instrumento de aleta de ferro móvel pode ser usado para medir corrente contínua, mas tem um erro devido ao magnetismo residual nas aletas. O erro pode ser minimizado revestindo-se as conexões do medidor, e fazendo uma média das leituras.

Quando usados em circuitos de correntes alternadas, ou seja, circuitos C.A., o instrumento tem uma precisão de 0,5 por cento.

Por causa de sua simplicidade, ele tem um custo relativamente baixo, e o fato de que nenhuma corrente é conduzida no elemento móvel, faz com que este tipo de movimento seja usado extensivamente para medir corrente e voltagem em circuito C.A. de potência.

Entretanto, por causa da reatância magnética do circuito ser alta, o medidor de aletas de ferro móvel requer muito mais potência para produzir deflexão completa de escala, do que é requerida pelo medidor D'Arsonval da mesma faixa. O medidor de aletas de ferro móvel é raramente usado em circuitos de alta resistência e baixa potência.

Medidor de aletas de ferro com bobina inclinada

O princípio do mecanismo de aletas de ferro móvel é aplicado ao tipo de medidor de mola inclinada, que pode ser usado tanto para medir C.A. ou C.C.

A mola inclinada com medidor de aleta de ferro tem uma bobina montada em ângulo com o eixo. Fixada obliquamente ao eixo, e localizada dentro da bobina, existem duas aletas de ferro doce. Quando nenhuma corrente flui através da bobina, uma mola de controle segura o falso ponteiro para zero, e as aletas de ferro permanecem em planos paralelos ao plano da bobina.

Quando uma corrente flui através da bobina, as aletas tendem a alinhar-se com as linhas magnéticas que passam através do centro da bobina, em ângulos retos com o plano da própria bobina. As aletas giram contra a ação da mola para mover o ponteiro sobre a escala.

As aletas de ferro tendem a se alinhar com as linhas magnéticas, não importando a direção do fluxo da corrente através da bobina. No entanto, o medidor de aleta de ferro de bobina inclinada, pode ser usado para medir, corrente alternada e corrente contínua.

O disco de alumínio e o freio magnético proporcionam amortecimento (“*damping*”) eletromagnético.

Como o medidor de aleta de ferro móvel, o tipo bobina inclinada requer, relativamente, uma grande quantidade de corrente para deflexionar completamente a escala, e é raramente usado em circuitos de alta resistência e baixa potência.

Quando em instrumento de aleta móvel, a bobina inclinada do instrumento é enrolada com poucas voltas de fio grosso, quando usado como medidor de corrente (amperímetro); e com muitas voltas de fio fino, quando usado como medidor de voltagem (voltímetro).

Medidor de par termoeletrico

Se os terminais ligados a dois metais diferentes são soldados juntos, e esta junção é aquecida, surgirá uma voltagem C.C. entre os dois terminais.

Esta voltagem depende do tipo de material que os terminais são fabricados e da diferença de temperatura entre a junção e os referidos terminais.

Em alguns instrumentos, esta junção é aquecida eletricamente por um fluxo de corrente através do elemento aquecedor. Não há problema se a corrente for contínua ou alternada, porque o efeito de aquecimento independe da direção da mesma.

A corrente máxima que pode ser medida depende da razão de corrente do aquecimento, o calor que o par térmico pode operar sem ser danificado, e da faixa de corrente do medidor usado com o par térmico. A voltagem também pode ser modificada se um resistor de carga for colocado em série com os terminais aquecidos.

Para aplicação desses medidores D’Arsonval, ele é usado com um fio resistivo que emana calor, como mostra a figura 8-258.

Um fluxo de corrente através da resistência produz um calor que é transferido para o ponto de contato gerando uma c.m.f., que causa um fluxo de corrente através do medidor.

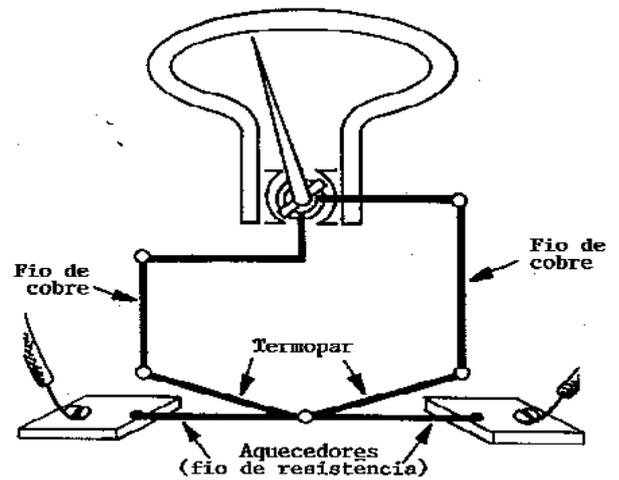


Figura 8-258 Diagrama simplificado de um medidor de termopares (thermo-couple).

A bobina do instrumento roda, e faz com que o ponteiro indicador se mova numa escala inclinada. A quantidade de movimento é proporcional a quantidade de calor, que varia de acordo com a corrente. Os pares-térmicos são usados extensivamente para medições de C.A.

Medidores de variação

Multiplicando-se voltagem por amperagem num circuito de corrente alternada, temos uma potência aparente: a combinação dessa potência verdadeira, que é a realização de trabalho com a potência reativa, que não realiza trabalho, retorna para a linha.

A potência reativa é medida em unidades de VARS (volt-ampères reative, abreviado KVAR).

Quando apropriadamente conectado, medem a potência reativa. Tais instrumentos são chamados de variômetros. A ilustração da figura 8-259 mostra um variômetro conectado num circuito C.A.

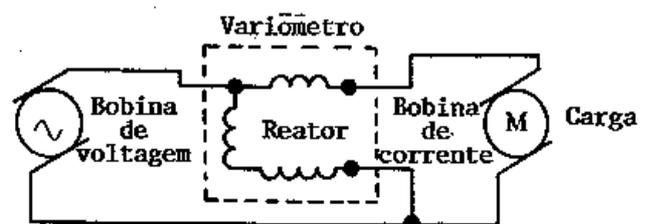


Figura 8-259 Variômetro conectado em um circuito de CA.

Medidores de potência (watímetros)

A potência elétrica é medida por um watímetro. Devido a potência elétrica ser o produto da corrente com a voltagem, um watímetro precisa ter dois elementos, um para a corrente e outro para a voltagem como mostrado na figura 8-260.

Por esta razão os watímetros são normalmente do tipo eletrodinamômetro.

A bobina móvel, com uma resistência em série, forma o elemento de voltagem; e a bobina fixa constitui o elemento de corrente. A intensidade do campo, ao redor da bobina de potencial, depende da quantidade de corrente que flui através dela.

A corrente ao redor depende da voltagem aplicada a carga através da bobina e da alta resistência em série com ela. A intensidade do campo ao redor da bobina de corrente, depende da quantidade de corrente fluindo através da carga.

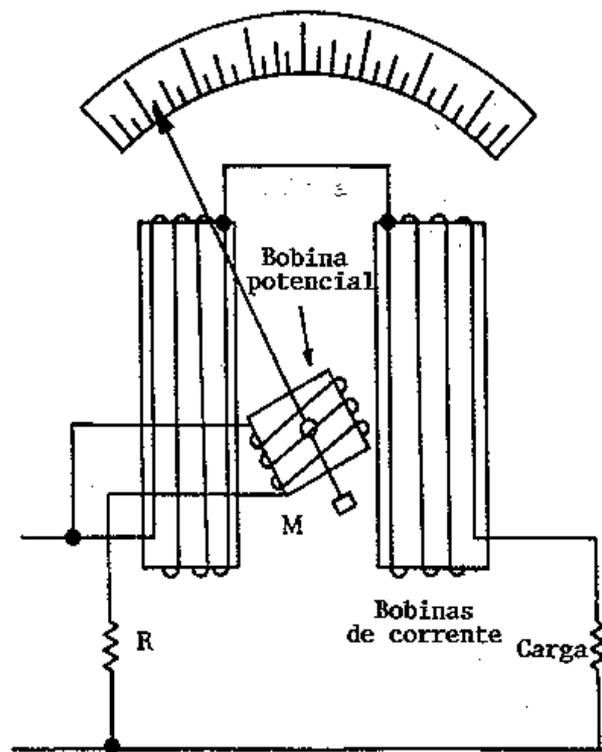


Figura 8-260 Circuito de watímetro eletrodinamômetro simplificado.

Então, a deflexão do medidor é proporcional ao produto da voltagem através da bobina de potencial e da corrente através da bobina de corrente. Este efeito é quase igual (se a escala estiver devidamente calibrada) como se a voltagem e a corrente aplicadas a carga fossem multiplicados juntos.

Se a corrente da linha for revertida, a direção da corrente em ambas as bobinas e a bobina de potencial são revertidas, o resultado é que o ponteiro continuará a marcar a leitura no alto da escala. Então, este tipo de watímetro pode ser usado para medir potência tanto C.A. quanto C.C.

MEDIDORES DE FREQUÊNCIA

Os equipamentos de corrente elétrica alternada são destinados a operar em uma dada faixa de frequência.

Em alguns casos, o equipamento é destinado a operar somente em uma frequência em particular, como é o caso dos relógios elétricos ou chaves temporizadoras. Por exemplo, relógios elétricos são comumente destinados a operar em 60 CPS. Se a frequência cair a 59 CPS, o relógio perderá um minuto a cada hora.

Transformadores e máquinas C.A. são destinados a operar em uma frequência específica. Se o suprimento de frequência falhar em mais do que 10 por cento do valor da frequência, o equipamento pode drenar corrente em excesso e poderá resultar dano devido a superaquecimento. Portanto, faz-se necessário um controle de frequência dos sistemas de potência elétrica.

Os medidores são usados para indicar a frequência, bem como medidas corretivas, que podem ser tomados, se a frequência variar além dos limites previstos.

Os medidores de frequência são projetados de tal forma que não são afetados pela variação da voltagem.

Devido aos sistemas C.A. serem projetados para operar normalmente em uma frequência em particular, a faixa de operação do frequencímetro pode ser reduzida para poucos ciclos de variação, em ambos os lados da frequência de operação dos sistemas.

Existem diversos tipos de medidores de frequência, incluindo os tipos "vibrating-reed", bobina fixa, com bobina móvel, bobina fixa e disco móvel e circuito ressonante.

Desses apresentados, o do tipo "vibrating-reed" é o frequentemente mais usado nos sistemas de aeronaves, e é discutido em alguns detalhes mais adiante.

Medidor de frequência tipo “vibrating-reed”

Este tipo de medidor de frequência é o mais simples indicador de frequência de uma fonte C.A. Um diagrama simplificado de um deles é mostrado na figura 8-261.

O fluxo da corrente, cuja frequência será medida através da bobina, exerce máxima atração na armadura de ferro doce duas vezes em cada ciclo (“A” da figura 8-261).

A armadura é conectada a barra, que é montada num suporte flexível. Palhetas de dimensões adequadas, para ter uma frequência natural de vibração de 110, 112, 114 e assim por diante até 130 CPS, são mostradas na barra (“B” da figura 8-261).

O fluxo da corrente, cuja frequência será medida através da bobina, exerce máxima atração na armadura de ferro doce duas vezes em cada ciclo (“A” da figura 8-261). A armadura é conectada a barra, que é montada num suporte flexível.

Palhetas de dimensões adequadas, para ter uma frequência natural de vibração de 110, 112, 114 e assim por diante até 130 CPS, são mostradas na barra (“B” da figura 8-261).

A palheta que tem a frequência de 110 CPS é marcada “55” ciclos. A que tem a frequência de 130 CPS é marcada “65” CPS. A que tem a frequência de 120 CPS é marcada “60” CPS, e assim por diante.

Em alguns instrumentos as palhetas são iguais no comprimento, porém, possuem quantidades diferentes de peso no topo, tanto que elas terão uma razão natural de vibração diferente.

Quando a bobina é energizada com uma corrente tendo uma frequência entre 55 e 65 CPS, todas as palhetas são vibradas levemente, porém, a palheta que tem a frequência natural para esta faixa, a qual a corrente energizou (cuja frequência é para ser medida) vibrará em grande amplitude.

A frequência é lida no valor da escala oposta a palheta que tem a maior amplitude de vibração.

Uma vista final das palhetas é mostrada no painel indicador (“C” da figura 8-261). Se uma corrente energizadora tem uma frequência de 60 CPS, a palheta marcada “60” CPS vibrará mais do que as outras, como mostrado.

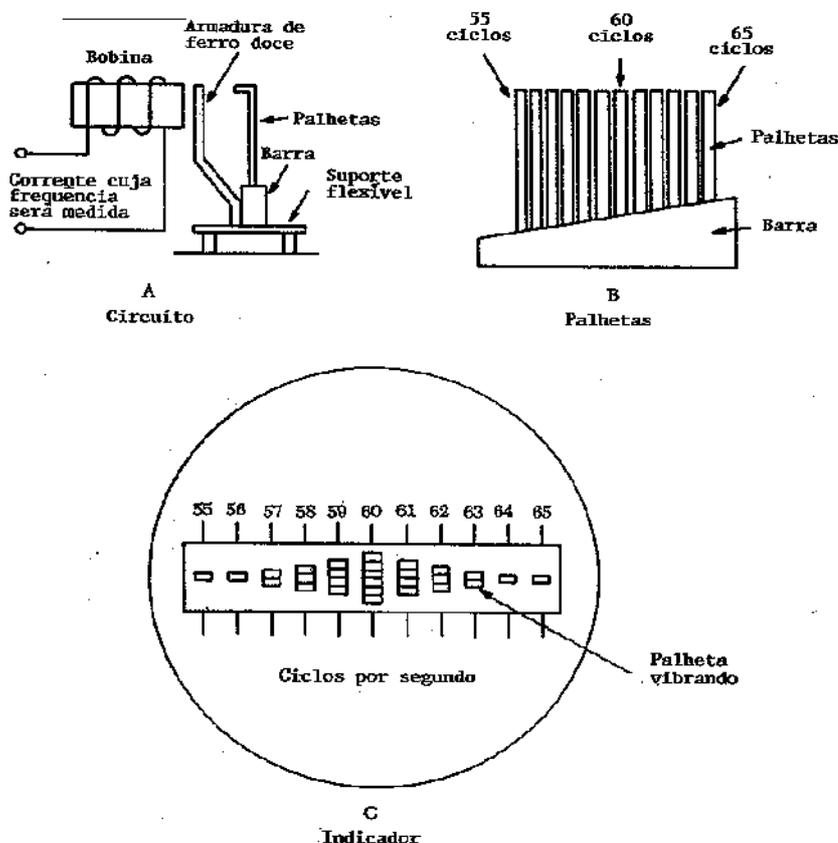


Figura 8-261 Diagrama simplificado de um medidor de frequência tipo “palhetas de vibração”.

GERADORES E MOTORES ELÉTRICOS DE AVIAÇÃO

INTRODUÇÃO

A energia para a operação de muitos equipamentos elétricos de uma aeronave depende da energia elétrica fornecida por um gerador. Gerador é qualquer máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica, pela indução eletromagnética.

O gerador que produz corrente alternada é chamado de gerador CA, ou alternador. O gerador que produz corrente contínua é chamado de gerador CC ou dínamo.

Ambos os tipos operam pela indução de uma voltagem CA em bobinas, pela variação da quantidade e sentido do fluxo magnético que as cortam.

GERADORES

Para aeronaves equipadas com sistemas elétricos de corrente contínua, o gerador CC é a fonte regular de energia elétrica.

Um ou mais geradores CC acionados pelos motores da aeronave, fornece energia elétrica para a operação de todas as unidades do sistema elétrico, assim como energia para carregar a bateria.

A aeronave equipada com sistemas de corrente alternada utiliza energia elétrica fornecida por geradores CA ou simplesmente alternadores.

Teoria de operação

No estudo de corrente alternada, os princípios do gerador básico foram introduzidos para explicar a geração de uma voltagem CA pela rotação de uma bobina num campo magnético. Sendo esta a teoria de operação de todos os geradores, é necessário revisar os princípios de geração de energia elétrica.

Quando linhas de força magnética são cortadas por um condutor, uma voltagem é induzida no condutor.

A intensidade da voltagem induzida depende da velocidade do condutor e da intensidade do campo magnético. Se os terminais do condutor forem ligados para formar um circuito completo, uma corrente é induzida no condutor.

O campo magnético e o condutor formam um gerador elementar. Este tipo de gerador está ilustrado na figura 9-1, junto com os componentes do circuito externo do gerador, que coleta e usa energia gerada pelo gerador simples. A espira do fio ("A" e "B" da figura 9-1) é ajustada para girar num campo magnético. Quando o plano da espira estiver em paralelo com as linhas de força magnética, a voltagem induzida na espira faz com que a corrente circule no sentido indicado pelas setas da figura 9-1.

A voltagem induzida nesta posição é máxima, visto que os fios estão cortando as linhas de força em ângulos retos, e estão, ainda, cortando mais linhas de força por segundo do que em qualquer outra posição relativa ao campo magnético.

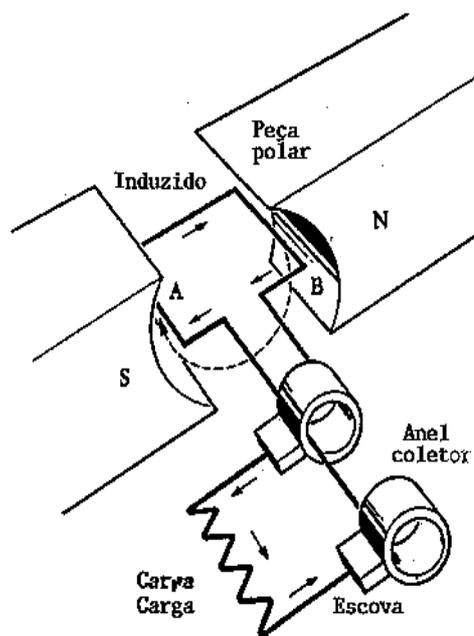


Figura 9-1 Indução de voltagem máxima num gerador elementar.

À medida que a espira se aproxima da posição vertical mostrada na figura 9-2, a voltagem induzida diminui, pois ambos os lados da espira ("A" e "B") estão aproximadamente em paralelo com as linhas de força, e a razão de corte é reduzida.

Quando a espira estiver na vertical, as linhas de força não serão cortadas, visto que os fios estão se movimentando momentaneamente

em paralelo com as linhas de força magnética (e não há voltagem induzida).

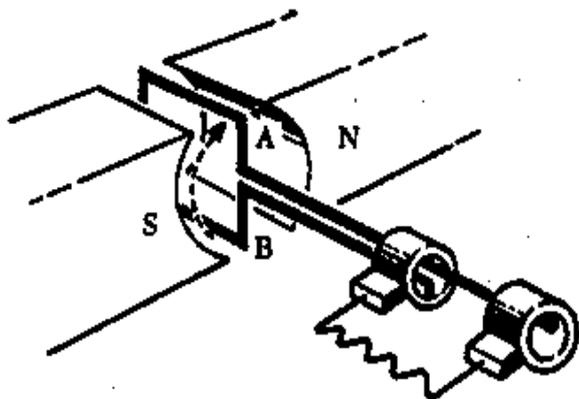


Figura 9-2 Indução de voltagem mínima num gerador elementar.

Enquanto continuar a rotação da espira, o número de linhas de força cortadas aumentará até que a espira tenha girado outros 90° para um plano horizontal.

Como mostrado na figura 9-3, o número de linhas de força cortadas e a voltagem induzida, mais uma vez são máximas.

O sentido do corte, entretanto, está em sentido oposto àqueles apresentados nas figuras 9-1 e 9-2, de modo que o sentido (polaridade) da voltagem induzida é invertida.

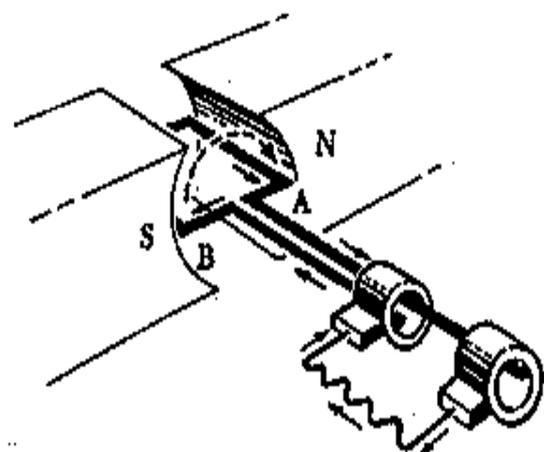


Figura 9-3 Indução de voltagem máxima no sentido oposto.

Enquanto a rotação da espira continuar, o número de linhas de força que estão sendo cortadas diminui, e a voltagem induzida torna-

se zero quando na posição mostrada na figura 9-4, posto que os fios A e B estão novamente em paralelo com as linhas de força magnética.

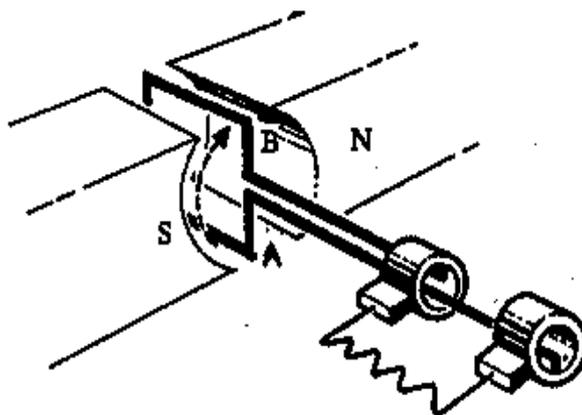


Figura 9-4 Indução de voltagem mínima no sentido oposto.

Se a voltagem induzida ao longo dos 360° de rotação for plotada num gráfico, resultará a curva mostrada na figura 9-5. - Esta voltagem é chamada de voltagem alternada devido à inversão dos valores positivos e negativos, primeiro num sentido e depois no outro.

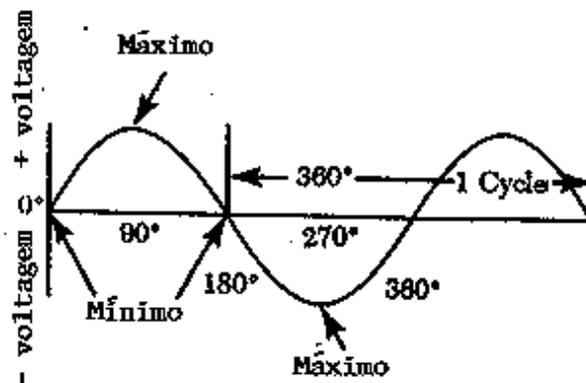


Figura 9-5 Geração de um gerador elementar.

Para usar a voltagem gerada na espira, a fim de produzir fluxo de corrente num circuito externo, alguns meios devem ser fornecidos para ligar a espira em série com o circuito externo.

Esta ligação elétrica pode ser efetuada interrompendo-se a espira do fio, e ligando seus terminais a dois anéis metálicos, chamados anéis coletores, contra os quais duas escovas de carvão ou metal estão sobrepostos. As escovas estão ligadas ao circuito externo.

Pela substituição dos anéis coletores do gerador básico por dois semicilindros, chamados segmentos coletores, obtém-se um gerador CC básico (figura 9-6). Nesta ilustração, o lado preto da bobina é ligado ao segmento preto; e o lado branco ao segmento branco. Os segmentos estão isolados um do outro.

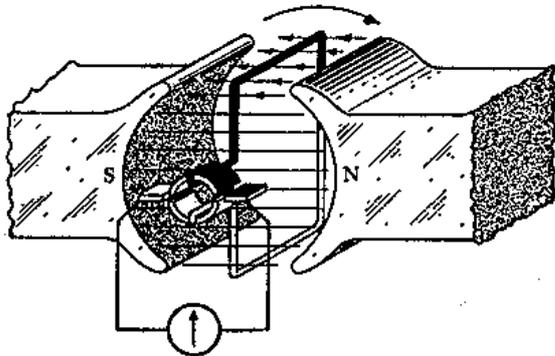


Figura 9-6 Gerador básico de C.C.

As duas escovas estacionárias estão instaladas nos lados opostos do coletor e, de tal modo, que cada escova entre em contato com cada elemento do coletor, quando este estiver girando simultaneamente com a espira. As partes móveis de um gerador CC (bobina e coletor) são chamadas de induzido.

A geração de uma força eletromotriz (FEM) pela espira móvel num campo magnético é igual para ambos os geradores (CA e CC), mas a ação dos segmentos coletores produz uma voltagem CC. Esta geração de voltagem CC é descrita para as diversas posições da espira móvel num campo magnético, em relação à figura 9-7.

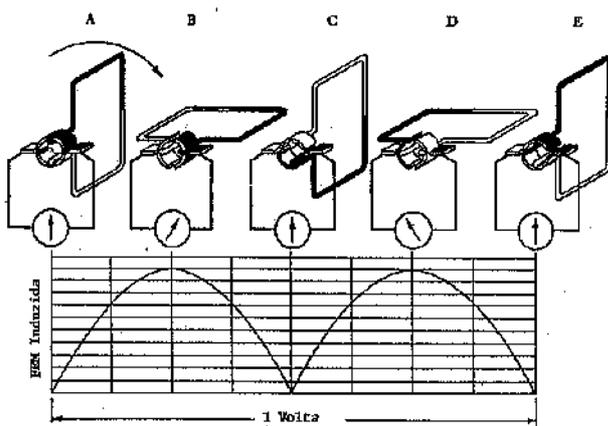


Figura 9-7 Funcionamento de um gerador C.C. básico.

A espira na posição "A" da figura 9-7 está girando no sentido horário, mas as linhas de

força não são cortadas pelos lados da bobina, e nenhuma FEM é gerada.

A escova preta é mostrada entrando em contato com o segmento preto do coletor, e a escova branca está entrando em contato com o segmento branco.

Em "B" da figura 9-7, o fluxo está sendo cortado por uma razão máxima, e a força eletromotriz induzida é máxima. Neste momento, a escova preta está em contato com o segmento preto, e a escova branca com o segmento branco. A deflexão do medidor está para a direita, indicando a polaridade da voltagem de saída.

Em "C" da figura 9-7, a espira completou uma rotação de 180°. Mais uma vez as linhas de fluxo não são cortadas, e a voltagem de saída é zero.

A condição importante a se observar na posição "C" é a ação dos segmentos e das escovas.

A escova preta nesta posição da espira (180°) entra em contato com o segmento preto e com o segmento branco num dos lados do coletor, e a escova branca entra em contato com os dois segmentos do outro lado do coletor.

Após passar a espira ligeiramente, pelo ponto de 180°, a escova preta estará em contato somente com o segmento branco, e a escova branca em contato com o segmento preto.

Devido a esta transferência dos elementos do coletor, a escova preta está sempre em contato com o lado da bobina que se move para baixo, e a escova branca está em contato com o lado da bobina que se move para cima.

Embora a corrente inverta o seu sentido na espira, exatamente do mesmo modo como no gerador CA, a ação do coletor faz com que a corrente circule sempre no mesmo sentido, através do circuito externo ou medidor.

Um gráfico de um ciclo de operação é mostrado na figura 9-7. A geração da FEM nas posições "A", "B" e "C" é igual no gerador CA básico, mas na posição "D" a ação do coletor inverte a corrente no circuito externo, e o segundo semiciclo tem a mesma forma de onda do primeiro. O processo de comutação é, às vezes, chamado de retificação, porque no processo de retificação a voltagem CA é transformada em voltagem CC.

No momento em que cada escova estiver em contato com os dois segmentos do coletor (posições "A", "C" e "E" da figura 9-7) é produzido um curto-circuito contínuo. Se uma FEM

fosse gerada na espira neste instante, uma corrente alta fluiria no circuito, causando um centelhamento, e danificando o coletor. Por esta razão, as escovas devem ser instaladas na posição exata, onde o curto-circuito ocorrerá quando a FEM gerada for zero. Esta posição é chamada de plano neutro.

A voltagem gerada pelo gerador CC básico na figura 9-7 varia de zero para o seu máximo, duas vezes para cada volta da espira. Esta variação da voltagem CC é chamada de “ondulação” (RIPPLE), e pode ser reduzida usando-se mais espiras ou bobinas; como mostrado em “A” da figura 9-8.

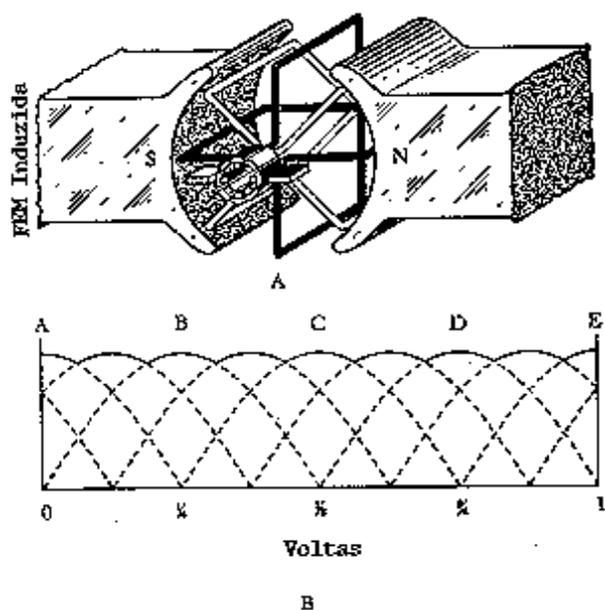


Figura 9-8 Aumento do número de espiras reduz a ondulação (Ripple) na voltagem.

À medida que o número de espiras aumenta, as variações entre os valores máximo e mínimo de voltagem serão reduzidas (“B” da figura 9-8), e a voltagem de saída do gerador se aproxima de um valor estável CC. Em “A” da figura 9-8, o número de segmentos do coletor é aumentado em proporção direta ao número de espiras, isto é, existem dois segmentos para uma espira, quatro segmentos para duas espiras e oito segmentos para quatro espiras.

A voltagem induzida numa espira com apenas uma volta é pequena. Aumentando o número de espiras não aumenta o valor máximo da voltagem gerada, mas aumentando o número de voltas em cada espira aumentará este valor máximo.

Dentro de certo limite, a voltagem de saída de um gerador CC é determinada pelo produto do número de voltas por espira, o fluxo total por cada par de pólos na máquina e a velocidade da rotação do induzido.

Um gerador CA, ou alternador, e um gerador CC são idênticos em relação ao método de voltagem gerada na espira móvel.

Entretanto, se a corrente for retirada da espira pelos anéis coletores, ela será uma corrente alternada e o gerador é CA; se ela for coletada por segmentos coletores, ela será uma corrente contínua, e o gerador é denominado de gerador CC.

Características da construção dos geradores CC

Os geradores usados nas aeronaves diferem no tipo, visto que eles são construídos por vários fabricantes. Todos, entretanto, possuem a mesma característica e operam de maneira similar.

As partes principais, ou conjuntos de um gerador CC, são a carcaça, o induzido e um conjunto de escovas. As partes de um gerador típico de avião são mostradas na figura 9-9.

Carcaça

A carcaça ou estrutura do campo é o alicerce ou a moldura do gerador. A carcaça tem duas funções: ela completa o circuito magnético entre os pólos, e atua como um suporte mecânico para as outras partes do gerador.

Em “A” da figura 9-10, a carcaça de um gerador de dois pólos é mostrada em corte transversal. A carcaça de um gerador de quatro pólos é mostrada em “B” da figura 9-10.

Nos geradores menores, a carcaça é constituída de uma peça única de ferro, mas nos geradores maiores geralmente é constituída por duas partes aparafusadas juntas.

A carcaça tem propriedades magnéticas elevadas e, junto com as peças polares, forma a parte principal do circuito magnético.

Os pólos do campo, mostrados na figura 9-10, são aparafusados no interior da moldura, e formam um núcleo pelo qual os enrolamentos da bobina do campo são efetuados.

Os pólos são geralmente laminados para reduzir as perdas devido às correntes parasitas, e

têm a mesma finalidade de um núcleo de ferro de um eletroímã, isto é, eles concentram as linhas de força produzidas pela bobina de cam-

po. A carcaça completa, incluindo as peças polares, é fabricada de ferro magnético de alta qualidade ou folha de aço.

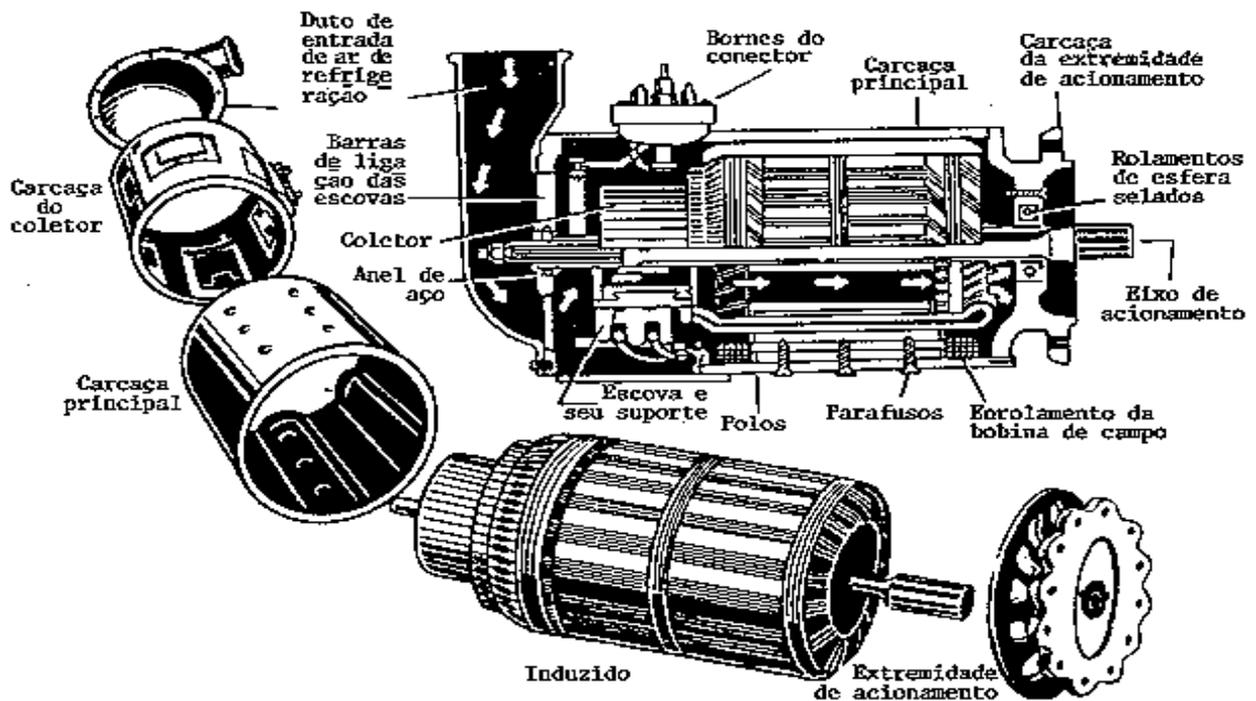


Figura 9-9 Gerador típico de 24 volts de aeronaves.

Um gerador CC usa eletroímãs ao invés de ímãs permanentes. A produção de um campo com intensidade magnética necessária, usando ímãs permanentes, aumentaria grandemente as dimensões físicas do gerador.

As bobinas de campo são constituídas de diversas voltas de fio isolado, e são enroladas para se amoldarem ao núcleo de ferro do pólo ao qual ela está segura firmemente (figura 9-11).

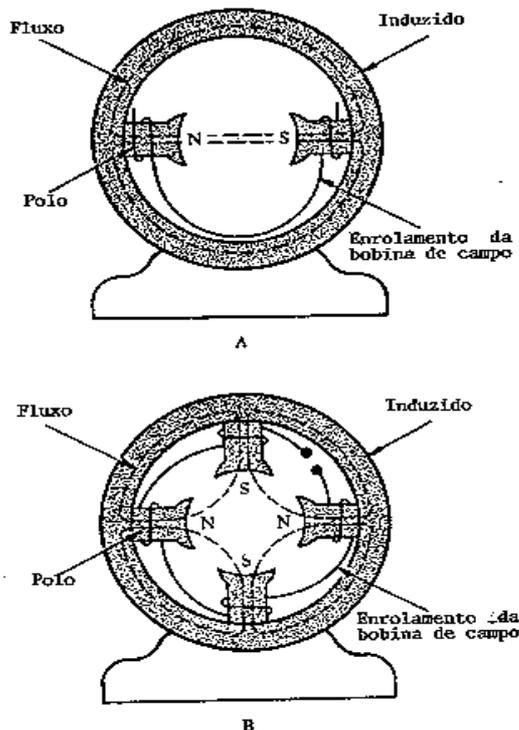


Figura 9-10 Carcaça de dois e de quatro pólos.

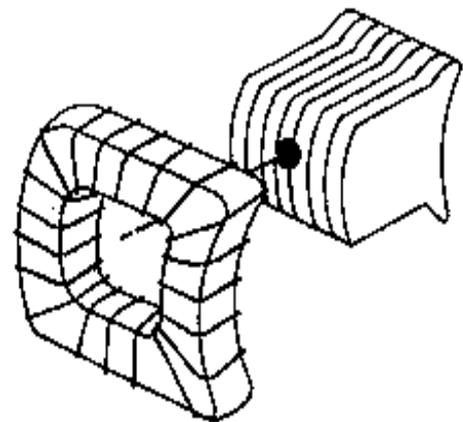


Figura 9-11 Bobina de campo removida de um pólo.

A corrente de excitação, que é usada para produzir o campo magnético e que flui através das bobinas de campo, é obtida de uma fonte externa ou de uma máquina geradora CC. Não existe ligação elétrica entre os enrolamentos das bobinas de campo e as peças polares.

A maioria das bobinas de campo são ligadas de maneira que os pólos mostrem polaridade alternada. Visto que sempre existe um pólo norte para cada pólo sul, sempre existirá um número par de pólos em qualquer gerador.

As peças polares na figura 9-11 são projetadas da carcaça. Como o ar oferece uma grande resistência ao campo magnético, esta montagem reduz o espaço do ar entre os pólos e o induzido rotativo, aumentando a eficiência do gerador. Quando as peças polares são projetadas como a figura apresenta, seus pólos são denominados de pólos salientes.

Induzido

O conjunto do induzido consiste de bobinas enroladas em um núcleo de ferro, um coletor e as partes mecânicas associadas. Montado sobre um eixo, ele gira através do campo magnético produzido pelas bobinas de campo. O núcleo do induzido age como um condutor de ferro no campo magnético e, sendo assim, é laminado para evitar a circulação de correntes parasitas.

Há, em geral, dois tipos de induzido: do tipo anel e do tipo tambor. A figura 9-12 mostra um induzido do tipo anel feito de núcleo de ferro, um enrolamento de oito seções e um coletor de oito segmentos. Este tipo de induzido não é muito usado; a maioria dos geradores usa induzido do tipo tambor.

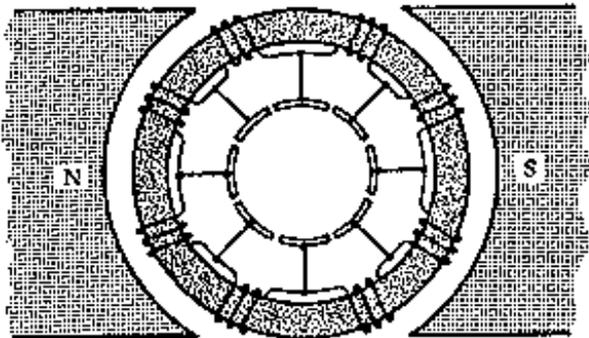


Figura 9-12 Induzido do tipo anel com enrolamento de oito seções.

Um induzido do tipo tambor (figura 9-13) tem bobinas instaladas nas fendas do núcleo. O uso das fendas aumenta a segurança mecânica do induzido. Geralmente, as bobinas são mantidas e instaladas nas fendas por meio de calços de madeira ou de fibra. As ligações

das bobinas individuais, chamadas extremidades da bobina, são ligadas aos segmentos correspondentes do coletor.

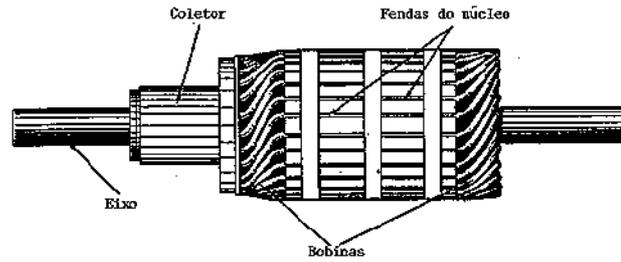


Figura 9-13 Induzido do tipo tambor.

Coletores

A figura 9-14 mostra o corte transversal de um coletor. O coletor está instalado na extremidade do induzido e consiste de segmentos uniformes de cobre estirado, isolados por folhas finas de mica.

Os segmentos são mantidos no lugar por anéis de aço tipo "V" ou flanges de aperto com parafusos. Os anéis de mica isolam os segmentos dos flanges. A parte alta de cada segmento é chamada espelho, e os fios das bobinas do induzido são soldados aos espelhos. Quando os segmentos não possuem espelhos, os fios são soldados a uma pequena fenda nas extremidades dos segmentos.

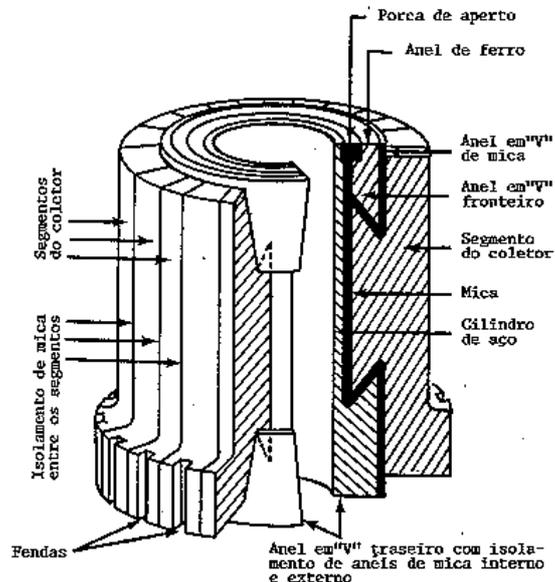


Figura 9-14 Coletor com uma parte removida para mostrar a sua construção.

As escovas estão sobrepostas na superfície do coletor, formando contato elétrico entre as bobinas do coletor e o circuito externo.

Um fio flexível trançado, de cobre, geralmente chamado de “rabicho”, liga cada escova ao circuito externo.

As escovas, geralmente feitas de carvão de boa qualidade, são mantidas no lugar por ação de suportes, isolados da carcaça, podendo deslizar livremente para cima e para baixo para acompanhar qualquer anormalidade na superfície do coletor. As escovas são geralmente ajustáveis, de modo que sua pressão sobre os coletores possa ser variada e a posição das escovas em relação aos segmentos possa ser ajustada.

As interrupções constantes do contato das bobinas, nas quais as voltagens estão sendo induzidas, necessitam da utilização de material nas escovas que possuam ótima resistência de contato. Além disso, este material deve ser do tipo que o atrito entre o coletor e a escova seja pequeno para evitar desgaste excessivo. Sendo assim, o material mais usado pelas escovas é o carvão de boa qualidade. Este carvão deve ser suficientemente macio para evitar o desgaste do coletor e, ainda, resistente o bastante para fornecer à escova uma duração maior.

Visto que a resistência de contato do carvão é razoavelmente alta, a escova deve ser bastante grande para proporcionar uma área de contato maior. A superfície do coletor é altamente polida para reduzir o atrito quanto possível. Óleo ou graxa nunca devem ser usados no coletor e todo cuidado deve ser tomado ao limpá-lo, para evitar que a superfície seja danificada.

TIPOS DE GERADORES CC

Há três tipos de geradores CC: série, paralelo, série-paralelo ou misto. A diferença entre eles depende de como a bobina de campo é ligada em relação ao circuito externo.

Geradores CC de excitação em série

O enrolamento do campo de um gerador em série é ligado em série com o circuito externo, chamado de carga (figura 9-15). As bobinas de campo são compostas de poucas voltas de fio grosso.

A intensidade do campo magnético depende muito mais do fluxo de corrente do que do número de voltas da bobina.

Os geradores em série têm má regulação de voltagem na variação de carga, posto que, quanto maior a corrente através das bobinas do campo para evitar o circuito externo, maior será a força eletromotriz induzida e também a voltagem terminal ou de saída. Portanto, quando a carga aumenta, a voltagem também aumenta; entretanto, quando a carga é reduzida, a voltagem também é reduzida.

A voltagem de saída de um gerador enrolado em série pode ser controlada por um reostato, em paralelo com os enrolamentos do campo, como mostrado em “A” da figura 9-15. Visto que o gerador enrolado em série tem má regulação, ele nunca é usado como gerador de aeronaves. Os geradores das aeronaves são do tipo paralelo, série ou misto.

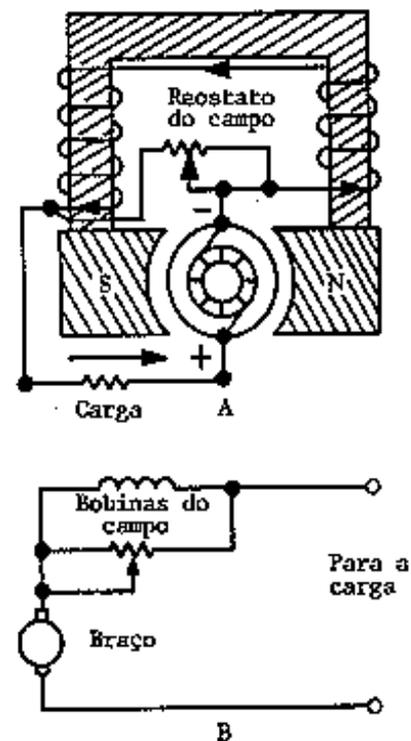


Figura 9-15 Diagrama e circuito esquemático de um gerador de excitação em série.

Geradores CC de excitação em paralelo

O gerador que possui um enrolamento de campo ligado em paralelo com o circuito externo é chamado de gerador em paralelo (como mostra a figura 9-16 em “A” e “B”). As bobinas de campo de um gerador em paralelo contêm muitas voltas de fio fino: a intensidade magnética é proveniente mais do grande número de voltas do que da intensidade da corrente através das bobinas. Se for desejada uma voltagem constan-

te, o gerador de excitação em paralelo não será adequado para as cargas de oscilação rápida.

Qualquer aumento na carga provoca uma redução na voltagem terminal ou de saída, e qualquer redução na carga provoca o aumento na voltagem de saída; considerando que, o induzido e a carga estão ligadas em série, toda a corrente que flui no circuito externo passa pelo enrolamento do induzido.

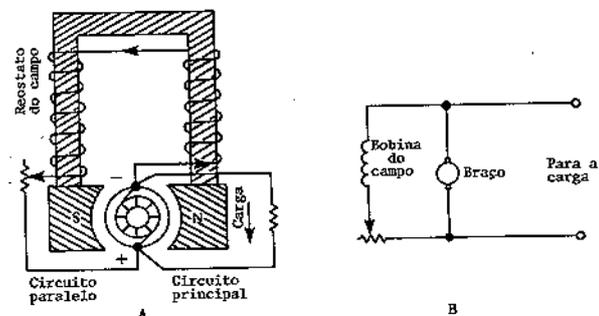


Figura 9-16 Gerador de excitação em paralelo.

Devido à resistência no enrolamento do induzido, há uma queda de voltagem (queda de $IR = \text{corrente} \times \text{resistência}$). À medida que a carga aumenta, a corrente do induzido e a queda de IR no induzido aumentam.

A voltagem de saída é a diferença entre a voltagem induzida e a queda de voltagem; portanto, há uma redução na voltagem de saída. Esta redução provoca uma queda na intensidade do campo porque a corrente das bobinas de campo diminui em proporção à redução na voltagem de saída: com um campo mais fraco, a voltagem é conseqüentemente reduzida.

Quando a carga diminui, a voltagem de saída aumenta na mesma proporção, e uma corrente mais elevada flui nos enrolamentos. Esta ação é cumulativa, pois a voltagem de saída continua a aumentar até um ponto chamado "ponto de saturação", após o qual não há aumento de voltagem.

A voltagem de saída de um gerador em paralelo pode ser controlada por um reostato instalado em série com os enrolamentos do campo, como mostrado em "A" da figura 9-16. À medida que a resistência é aumentada, a corrente do campo é reduzida; conseqüentemente, a voltagem gerada também se reduz.

Para um determinado ajuste do reostato de campo, a voltagem de saída nas escovas do induzido será aproximadamente igual à voltagem gerada, menos a queda de IR produzida pela corrente de carga no induzido; sendo assim,

a voltagem de saída do gerador diminuirá à medida que a carga for aplicada.

Alguns aparelhos sensíveis à voltagem são utilizados para ajustar automaticamente o reostato de campo, para compensar as variações de carga. Quando estes aparelhos são usados, a voltagem de saída permanece essencialmente constante.

Geradores CC de excitação mista

Um gerador de excitação mista é constituído pela combinação de um enrolamento em série e um enrolamento em paralelo, de tal modo que de suas características se obtenha um bom rendimento.

As bobinas do campo em série são feitas de um número de voltas relativamente pequeno de condutor de cobre grosso de seção transversal, circular ou retangular, e são ligadas em série com o circuito do induzido. Estas bobinas estão instaladas nos mesmos pólos do campo em paralelo e, por isso, auxiliam a força magnetomotriz, a qual influencia o fluxo do campo principal do gerador. A ilustração esquemática e o diagrama são apresentados em "A" e "B" da figura 9-17.

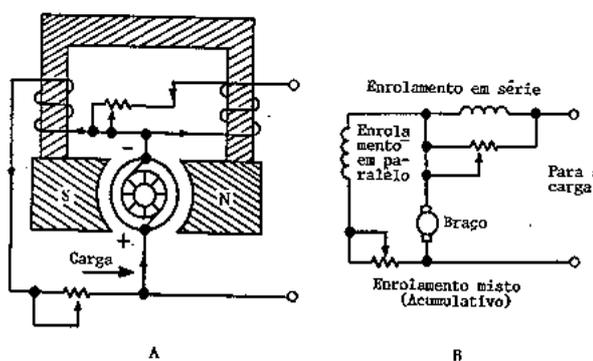


Figura 9-17 Gerador de excitação mista.

Se os ampères-voltas do campo em série atuam no mesmo sentido daqueles do campo em paralelo, a força magnetomotriz combinada será igual à soma dos componentes dos campos em série e em paralelo.

A carga é acrescentada a um gerador misto da mesma maneira que é adicionada a um gerador em paralelo, pelo aumento dos circuitos em paralelo com os terminais de saída do gerador.

Sendo assim, a redução da resistência da carga total com a carga adicionada é acompanhada pelo aumento da corrente nos circuitos do induzido e no do campo em série.

O efeito do campo em série aditivo é aquele pelo qual o fluxo do campo é aumentado quando a carga aumenta. A extensão do aumento do fluxo do campo, depende do grau de saturação do campo determinado pela corrente do campo em paralelo. Sendo assim, a voltagem de saída do gerador pode aumentar ou diminuir com a carga, dependendo da influência das bobinas do campo em série. Esta influência é conhecida como o grau de série-parallelismo.

Um gerador simples-misto é aquele onde as voltagens sem carga e com carga total possuem o mesmo valor; ao passo que um gerador sub-misto possui o valor da voltagem de carga total menor do que a voltagem sem carga, e um gerador super-misto possui a voltagem de carga total maior do que a carga nula. As variações na voltagem de saída com o aumento da carga dependem do grau de série-parallelismo.

Se o campo em série auxilia o campo em paralelo, o gerador é chamado misto-acumulativo ("B" da figura 9-17).

Se o campo em série se opõe ao campo em paralelo, diz-se que a máquina é diferencialmente mista, ou é chamada de gerador diferencial.

Os geradores mistos são geralmente projetados como supermistos. Isto permite graus variados de composição, pela ligação de um campo em paralelo variável com o campo em série. Este campo paralelo é algumas vezes chamado "DIVERTER". Os geradores mistos são usados onde a regulagem de voltagem é um fator importante.

Os geradores diferenciais têm, de certo modo, a mesma característica dos geradores em série, na qual eles são essencialmente de corrente constante. Entretanto, embora gerem uma voltagem nominal sem carga, a voltagem cai efetivamente à medida que a corrente de carga aumenta. Os geradores de corrente constante são perfeitamente adaptados como fonte de energia para soldadores de arco elétrico.

Se o campo em paralelo de um gerador misto estiver ligado, abrangendo o induzido e o campo em série, ele será conhecido como de ligação de longo parallelismo; mas se o campo em paralelo estiver ligado somente com o induzido, ele será chamado de ligação de curto parallelismo. Estas ligações produzem essencialmente as mesmas características do gerador correspondente.

A figura 9-18 mostra graficamente um sumário da característica dos vários tipos de geradores.

Geradores de três fios

Alguns geradores CC, chamados geradores de três fios, são projetados para fornecer 240 volts, ou 120 volts em relação a um fio neutro (Ver figura 9-19).

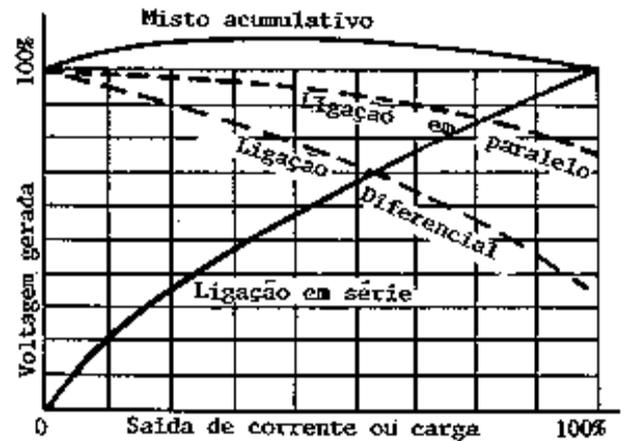


Figura 9-18 Características dos geradores.

Isto é conseguido pela ligação de uma bobina de reatância, aos lados opostos do coletor, com o neutro ligado ao ponto central da bobina de reatância. Esta bobina de reatância atua como um divisor de voltagem de baixa perda.

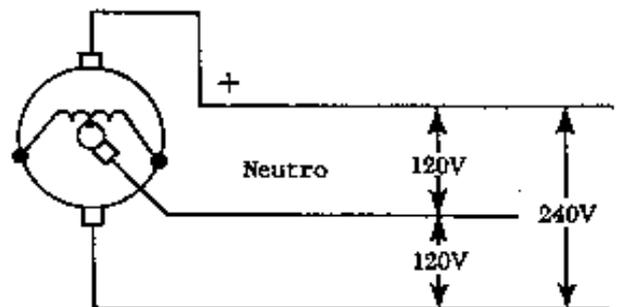


Figura 9-19 Gerador de três fios.

Se fossem usados resistores, a perda "IR" seria demasiada, a menos que as duas cargas fossem casadas perfeitamente. A bobina está inserida no interior de alguns geradores como parte do induzido, com o ponto central ligado a um único anel coletor que entra em contato com o neutro por meio de uma escova. Em outros geradores, as duas ligações com o coletor, por sua vez, são ligadas a dois anéis coletores; e o

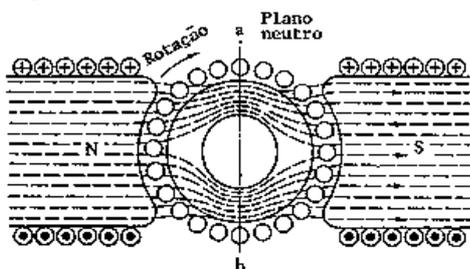
reator está localizado na parte externa do gerador.

Em qualquer caso, o desequilíbrio de carga em qualquer dos lados do neutro não deve ser maior do que 25% da corrente nominal de saída do gerador.

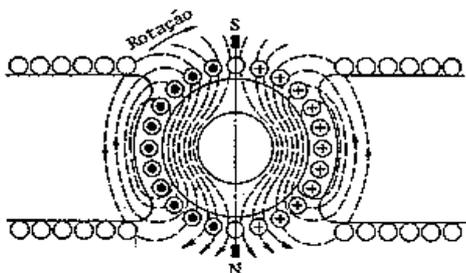
O gerador de três fios permite uma operação simultânea de 120 volts para circuitos de iluminação e de 240 volts para motores.

Reação do induzido

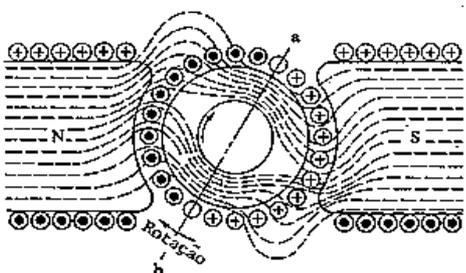
A corrente que flui através do induzido cria campos eletromagnéticos nos enrolamentos. Estes novos campos tendem a distorcer ou inclinar o fluxo magnético entre os pólos do gerador do plano neutro. Visto que a corrente do induzido aumenta com a carga, a distorção também se torna maior. Esta distorção do campo magnético é chamada de reação do induzido, e está ilustrada na figura 9-20.



A - Campo excitado, induzido sem excitação



B - Induzido excitado, campo sem excitação



C - Campo e induzido excitados

Figura 9-20 Reação do induzido.

Os enrolamentos do induzido de um gerador estão espaçados de tal modo que, durante

a rotação do induzido, existem certas posições em que as escovas fazem contato com dois segmentos adjacentes e, portanto, curto-circuitando os enrolamentos do induzido com estes segmentos.

Geralmente, quando o campo magnético não está distorcido, nenhuma voltagem é induzida nos enrolamentos em curto e, conseqüentemente, nenhum resultado prejudicial ocorre no curto dos enrolamentos. Por outro lado, quando o campo está distorcido, uma voltagem é induzida nestes enrolamentos em curto, gerando faíscas entre as escovas e os segmentos do coletor. Conseqüentemente, o coletor é picotado e o desgaste das escovas é excessivo, reduzindo a saída do gerador.

Para corrigir esta condição, as escovas são adaptadas de modo que o plano das bobinas, que são curto-circuitadas pelas escovas, seja perpendicular ao campo magnético distorcido, o qual é obtido pelo movimento frontal das escovas no sentido da rotação. Esta operação é chamada de deslocamento das escovas para plano neutro, ou plano de comutação. O plano neutro é a posição onde o plano das duas bobinas opostas é perpendicular ao campo magnético do gerador.

Em alguns geradores, as escovas podem ser deslocadas manualmente além do plano normal neutro para o plano neutro provocado pela distorção do campo. Nos geradores de escovas não ajustáveis, o fabricante ajusta as mesmas para que seja obtido o mínimo de faísca.

Interpolos podem ser usados para diminuir alguns efeitos de distorção do campo, visto que o deslocamento das escovas é inconveniente e insatisfatório, especialmente quando a velocidade e a carga do gerador variam constantemente.

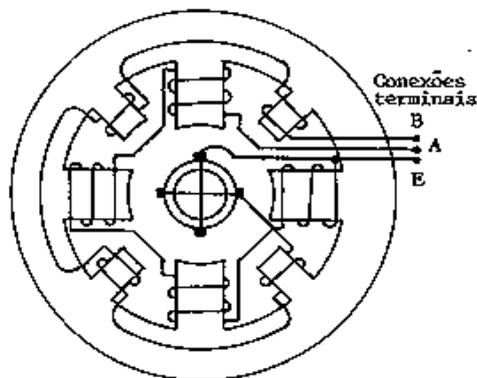


Figura 9-21 Gerador com interpolos.

O interpólo está localizado entre os pólos principais de um gerador. Por exemplo, um gerador de 4 pólos tem 4 interpólos, os quais se encontram nos pólos norte e sul, alternadamente, como são os pólos principais. Um gerador de 4 pólos com interpólos é mostrado na figura 9-21.

Um interpólo tem a mesma polaridade que o pólo principal adjacente no sentido da rotação. O fluxo magnético produzido por um interpólo faz com que a corrente no induzido mude de sentido quando o enrolamento passa sob ele. Isto anula os campos eletromagnéticos ao redor dos enrolamentos do induzido. A intensidade dos interpólos varia com a carga do gerador, e, visto que a distorção do campo varia com a carga, o campo magnético dos interpólos reduz os efeitos do campo ao redor dos enrolamentos do induzido, e diminui a distorção do campo.

Assim sendo, o interpólo tende a manter o plano neutro na mesma posição, independentemente da carga do gerador; portanto, a distorção do campo é reduzida pelos interpólos; e a eficiência, a saída e o tempo de duração das escovas são melhorados.

Capacidade do gerador

Um gerador é classificado pela sua potência de saída.

Como o gerador é projetado para operar uma voltagem especificada, a classificação geralmente é fornecida como sendo o número de ampères que o gerador pode fornecer na sua voltagem especificada ou nominal.

As especificações do gerador estão gravadas na placa de identificação fixada no mesmo. Quando um gerador for substituído, é importante optar por um com os valores apropriados.

A rotação dos geradores pode ser chamada de rotação horária ou anti-horária, observando-se a extremidade de acionamento. Geralmente o sentido da rotação acha-se gravado na placa de identificação.

Se a placa não indicar o sentido, a rotação pode ser marcada por uma seta na capa da placa do alojamento da escova. É importante que o gerador a ser usado possua o sentido da rotação correto; caso contrário, a voltagem será invertida.

A velocidade do motor da aeronave varia da RPM de marcha-lenta até a RPM de decolagem; entretanto, durante a maior parte de um vôo, ele está em velocidade de cruzeiro constante. A transmissão do gerador é geralmente acionada para girar o gerador entre $1 \frac{1}{8}$ e $1 \frac{1}{2}$ vezes a velocidade do eixo de manivelas do motor.

A maioria dos geradores de aeronave tem uma velocidade na qual começam a produzir sua voltagem normal. Conhecida como "COMING-IN", esta velocidade é de 1.500 RPM.

Terminais do gerador

Na maioria dos geradores de 24 volts, as conexões elétricas são feitas nos terminais marcados com as letras "B", "A" e "E" (ver a figura 9-22). O fio positivo do induzido do gerador liga no terminal "B". O fio negativo do induzido liga no terminal "E". A extremidade positiva do enrolamento do campo em paralelo liga no terminal "A", e a extremidade oposta é ligada ao terminal negativo da escova.

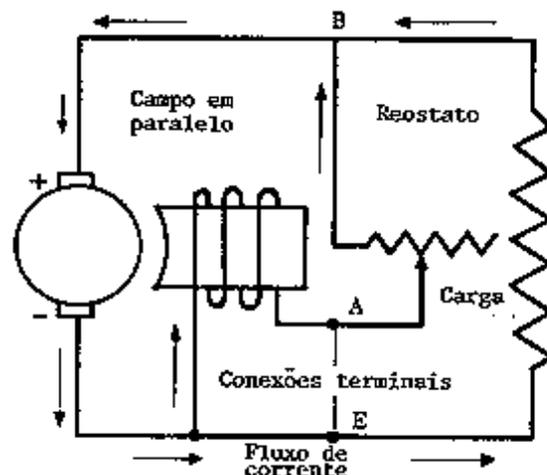


Figura 9-22 Regulagem da voltagem do gerador pelo reostato do campo.

O terminal "A" recebe corrente da escova negativa do gerador através do enrolamento do campo em paralelo.

Esta corrente passa através do regulador de voltagem, e retorna ao induzido através da escova positiva.

A corrente de carga, que sai do induzido através das escovas negativas, sai do fio "E" e passa através da carga antes de retornar ao induzido pelas escovas positivas.

REGULAGEM DA VOLTAGEM DO GERADOR

A operação eficiente do equipamento elétrico numa aeronave depende do fornecimento de voltagem constante do gerador. Entre os fatores que determinam a voltagem de saída de um gerador, apenas um, a intensidade da corrente do campo, pode ser convenientemente controlada. Para ilustrar este controle, é utilizado o diagrama da figura 9-22, que mostra um gerador simples com um reostato no circuito de campo.

Se o reostato for instalado para aumentar a resistência no circuito de campo, menos corrente fluirá através do enrolamento, e a intensidade do campo magnético na qual o induzido gira diminuirá. Consequentemente, a voltagem de saída do gerador diminuirá. Se a resistência no circuito de campo for diminuída com o reostato, mais corrente fluirá através dos enrolamentos do campo; o campo magnético se tornará mais forte e o gerador produzirá uma voltagem maior.

Com o gerador funcionando na velocidade normal, e o interruptor "K" aberto (figura 9-23), o reostato do campo é ajustado de modo que a voltagem de saída seja de aproximadamente 60% da normal. O solenóide "S" está inoperante e o contato "B" é mantido fechado pela mola. Quando o interruptor "K" estiver fechado, um curto-circuito estará formado através do reostato de campo. Esta ação faz com que a corrente do campo aumente e a voltagem de saída suba.

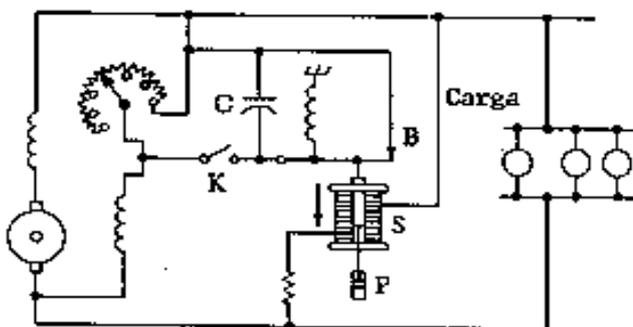


Figura 9-23 Regulador de voltagem do tipo vibrador.

Quando a voltagem de saída exceder um determinado valor crítico, a atração do solenóide "S" excederá a tensão da mola, abrindo o contato "B", reinstalando o reostato no circuito

de campo e reduzindo a corrente do campo e a voltagem de saída.

Quando a voltagem de saída estiver abaixo de uma voltagem crítica, o contato "B" do solenóide do induzido fechar-se-á novamente pela ação da mola, o reostato de campo neste momento será curto-circuitado, e a voltagem de saída começará a subir. O ciclo se repete como uma ação rápida e contínua. Sendo assim, é mantida uma voltagem média com ou sem variação na carga.

O pistão "P" provê uma operação mais suave, atuando como um amortecedor para evitar oscilação. O capacitor "C" em paralelo com o contato "B" elimina as centelhas. Uma carga adicional provoca um curto mais demorado no reostato do campo e, sendo assim, o solenóide do induzido vibra mais lentamente. Se a carga for reduzida e a voltagem de saída aumentar, o induzido vibrará mais rapidamente e o regulador manterá a voltagem de saída num valor constante para qualquer variação na carga, desde a carga nula até a carga máxima no gerador.

Os reguladores do tipo vibradores não podem ser usados com geradores que necessitam de alta corrente de campo, posto que os contatos furarão ou queimarão. Os sistemas de gerador de grande carga necessitam de um tipo diferente de regulador, semelhante ao regulador de pilha de carvão.

Regulador de voltagem à pilha de carvão

O regulador de voltagem à pilha de carvão depende da resistência de diversos discos de carvão sobrepostos.

A resistência da pilha de carvão varia inversamente com a pressão aplicada. Quando a pilha for comprimida sob considerável pressão, a resistência na pilha será menor. Quando a pressão for reduzida, a resistência da pilha de carvão aumentará, porque há mais espaço de ar entre os discos, e o ar tem alta resistência.

A pressão na pilha de carvão depende de duas forças opostas: uma mola e um eletroímã. A mola comprime a pilha de carvão, e o eletroímã exerce uma força que reduz a pressão. A bobina do eletroímã, como apresentada na figura 9-24, está ligada através do terminal "B" do gerador, através de um reostato (botão ajustável) e de um resistor (discos de carvão) para a terra (massa).

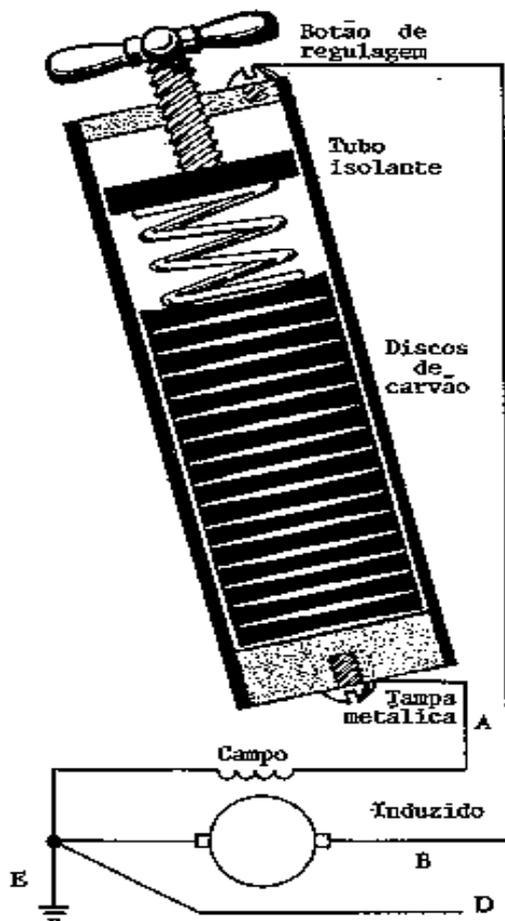


Figura 9-24 Ilustração do efeito controlador de um regulador de voltagem.

Quando a voltagem do gerador variar, a força do eletroímã variará.

Se a voltagem do gerador exceder um valor específico, a força do eletroímã aumentará, diminuindo a pressão exercida na pilha de carvão e aumentando sua resistência. Visto que esta resistência está em série com o campo, menos corrente fluirá através do enrolamento do campo, haverá uma redução correspondente na intensidade do campo, e a voltagem do gerador diminuirá.

Por outro lado, se a saída do gerador for inferior ao valor da voltagem especificada, a força do eletroímã é diminuída, e a pilha de carvão oferece uma resistência menor ao circuito de enrolamento do campo. Além disso, a intensidade do campo aumenta e a saída do gerador também.

Um reostato pequeno oferece meios de ajustagem do fluxo de corrente através da bobina do eletroímã.

A figura 9-25 mostra um regulador de voltagem típico de 24 volts com seus circuitos internos.

Regulador de três unidades

Muitas aeronaves de pequeno porte utilizam um regulador de três unidades em seus sistemas de gerador.

Este tipo de regulador consiste em um limitador e um interruptor de corrente reversa, além de um regulador de voltagem.

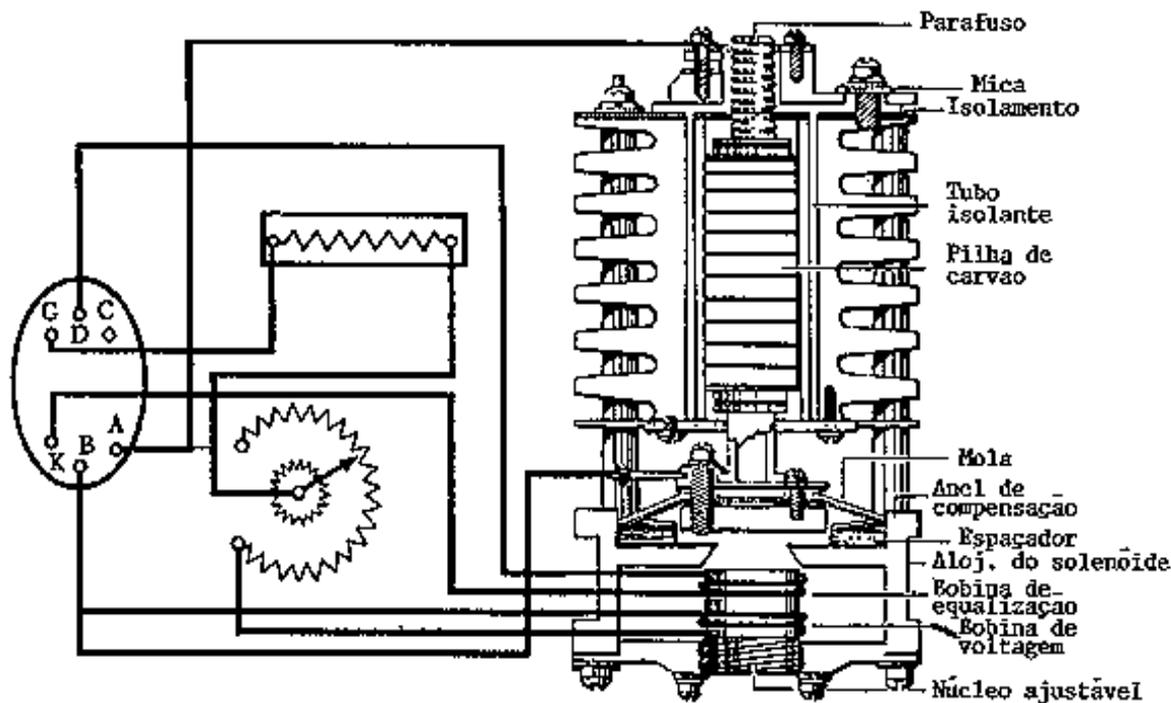


Figura 9-25 Circuitos internos de um regulador de voltagem.

A ação da unidade reguladora de voltagem é similar ao regulador do tipo vibratório, descrito anteriormente.

A segunda das três unidades é um regulador de corrente para limitar a corrente de saída do gerador. A terceira unidade é um interruptor de corrente reversa, que desliga a bateria do gerador.

Se a bateria não for desligada, ela descarregar-se-á através do induzido do gerador quando a voltagem dele for inferior à voltagem da bateria, acionando o gerador como um motor.

Esta ação é denominada de “motorização” do gerador e, se ela não for evitada, descarregará a bateria num curto espaço de tempo.

A operação de um regulador de três unidades está descrita nos parágrafos seguintes (veja a figura 9-26).

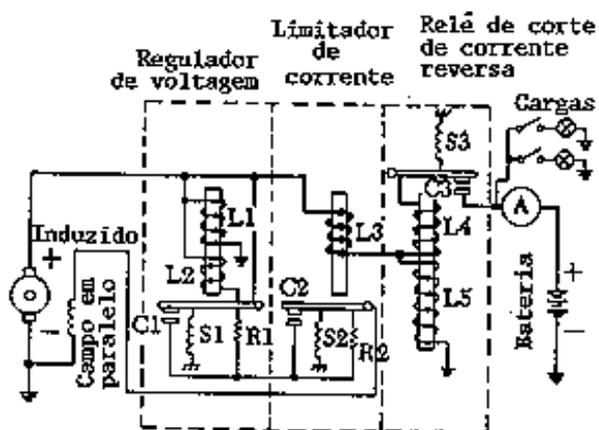


Figura 9-26 Regulador de três unidades para geradores de velocidade variável.

A ação de vibração do contato C1 na unidade reguladora de voltagem provoca um curto-circuito intermitente entre os pontos R1 e L2. Quando o gerador não estiver operando, a mola S1 manterá o contato C1 fechado; C2 também será fechado pela mola S2. O campo em paralelo está ligado diretamente ao induzido.

Quando o gerador for ligado, sua voltagem de saída aumentará à medida que a velocidade do gerador aumentar, e o induzido suprirá o campo com corrente através dos contatos C2 e C1 fechados.

À medida que a voltagem de saída aumenta, o fluxo de corrente através de L1 aumenta, e o núcleo de ferro torna-se mais fortemente magnetizado. Numa certa velocidade e voltagem, quando a atração magnética no braço móvel for suficientemente forte para sobrepujar a tensão da mola S1, os contatos C1 estarão sepa-

rados. A corrente do campo agora flui através de R1 e L2. Visto que a resistência é adicionada ao circuito do campo, este é enfraquecido momentaneamente, e o aumento na voltagem de saída é paralisado. Além disso, estando o enrolamento L2 em oposição a L1, o esforço magnético de L1 sobre S1 é neutralizado parcialmente, e a mola S1 fecha o contato C1. Portanto, R1 e L2 estão novamente em curto, fora do circuito, e a corrente do campo aumenta mais uma vez; a voltagem de saída aumenta e C1 abre, comandado por L1. O ciclo é rápido e ocorre muitas vezes por segundo.

A voltagem de saída do gerador varia pouco, porém rapidamente acima ou abaixo de um valor médio determinado pela tensão da mola S1, que pode ser ajustada.

A finalidade do limitador de corrente tipo vibratório é limitar a corrente de saída do gerador, automaticamente no seu valor nominal, a fim de proteger o gerador.

Como mostra a figura 9-26, L3 está em série com a linha principal e a carga. Sendo assim, a quantidade de corrente que flui na linha determina quando C2 será aberto e quando R2 estará em série com o campo do gerador.

Ao contrário do regulador de voltagem, que é atuado pela voltagem da linha, o limitador de corrente é atuado pela corrente da linha. A mola S2 mantém o contato C2 fechado até que a corrente, através da linha principal e de L3, exceda um certo valor determinado pela tensão da mola S2, e provoque a abertura de C2.

A corrente aumenta quando a carga aumenta. Este fato introduz R2 no circuito do campo do gerador, e diminui sua corrente e a voltagem gerada.

Quando a voltagem gerada diminuir, a corrente do gerador também diminuirá. O núcleo de S3 é desmagnetizado parcialmente, e a mola fecha os contatos de C2. Isto provoca um aumento na voltagem e na corrente do gerador, até que a corrente atinja um valor suficiente para recomençar o ciclo. Um determinado valor mínimo da corrente de carga é suficiente para provocar a vibração no limitador de corrente.

A finalidade do relé de corte da corrente reversa é desligar automaticamente a bateria do gerador, quando a voltagem do gerador for menor que a voltagem da bateria. Se este dispositivo não fosse usado no circuito do gerador, a bateria descarregar-se-ia através do gerador. Isto tenderia a fazer com que o gerador operasse

como um motor. Estando, porém, o gerador acoplado ao motor da aeronave, não poderia operar com uma carga tão pesada. Nesta condição, os enrolamentos do gerador podem ser danificados seriamente pela corrente excessiva.

No núcleo de ferro doce há dois enrolamentos: L4 e L5. O primeiro é o enrolamento da corrente, consiste em poucas voltas de fio grosso, está em série com a linha, e conduz toda a sua corrente. O segundo é o enrolamento da voltagem, consiste em um grande número de voltas de fio fino e está em paralelo com os terminais do gerador.

Quando o gerador não está funcionando, os contatos C3 são mantidos abertos pela mola S3. À medida que a voltagem do gerador aumenta, o enrolamento L5 magnetiza o núcleo de ferro. Quando a corrente (resultante da voltagem gerada) produz magnetismo suficiente no núcleo de ferro, o contato C3 é fechado. A bateria então recebe uma corrente de carga.

A mola da bobina S3 é ajustada, de modo que o enrolamento da voltagem não feche os contatos C3 até que a voltagem do gerador exceda a voltagem normal da bateria.

A corrente de carga através do enrolamento L4 auxilia a corrente de L5 para manter os contatos bem fechados.

O contato C3 se diferencia de C1 e C2 porque nele não há vibração.

Quando o gerador gira em marcha-lenta, ou por qualquer outro motivo, a voltagem do gerador diminui até um valor inferior ao da bateria, a corrente reverte através de L4, e as ampères-voltas de L4 se opõem às de L5.

Assim sendo, uma descarga de corrente momentânea da bateria reduz o magnetismo do núcleo, e C3 é aberto evitando o descarregamento da mesma e a motorização do gerador. C3 só fechará outra vez caso a voltagem de saída do gerador ultrapasse a voltagem da bateria de um valor pré-determinado.

INTERRUPTOR/RELÉ DIFERENCIAL

Os sistemas elétricos de aeronaves normalmente usam alguns tipos de interruptores/relés de corrente reversa, que atuam não somente como interruptor de corrente, como também interruptor de controle remoto, pelo qual o gerador pode ser desconectado do sistema elétrico a qualquer momento.

Um tipo de interruptor/relé de corrente reversa opera a nível da voltagem do gerador, mas o tipo mais comumente usado nas aeronaves de grande porte é interruptor/relé diferencial, cujo controle é feito pela diferença entre a voltagem da barra da bateria e o gerador.

O interruptor/relé diferencial liga o gerador à barra principal dos sistemas elétricos, quando a voltagem de saída do gerador excede a voltagem da barra de 0,35 a 0,56 volts. Ele desligará o gerador quando uma corrente reversa nominal fluir da barra para o gerador.

Os relés diferenciais em todos os geradores de aviões multimotores não fecham quando a carga elétrica é pequena. Por exemplo, num avião com uma carga de 50 ampères, somente dois ou três relés talvez fechem.

Se for aplicada uma carga maior, o circuito de equalização reduzirá a voltagem dos geradores já na barra e, ao mesmo tempo, aumentará a voltagem dos geradores restantes, permitindo que seus relés se fechem. Se os geradores estiverem devidamente em paralelo, todos os relés permanecerão fechados até que o interruptor de controle do gerador seja desligado, ou até que a velocidade do motor seja reduzida abaixo do mínimo necessário para manter a voltagem de saída do gerador.

O relé de controle diferencial do gerador mostrado na figura 9-27 é constituído de dois relés, e um contactor operado por bobina. Um dos relés é o de voltagem e o outro é o diferencial.

Ambos os relés são constituídos de ímãs permanentes, os quais são pivotados entre as peças polares dos ímãs temporários, enrolados com a bobina dos relés.

As voltagens de uma polaridade criam campos ao redor dos ímãs temporários, com polaridades que provocam o movimento do ímã permanente no sentido correto, para fechar os contatos do relé; as voltagens de polaridade oposta criam campos que induzem a abertura dos contatos do relé.

O relé diferencial possui duas bobinas enroladas sobre o mesmo núcleo. O contactor operado por bobina, chamado de contactor principal, consiste em contatos móveis que são operados por uma bobina com um núcleo de ferro móvel.

Fechando o interruptor do gerador no painel de controle, a saída do gerador é ligada à bobina do relé de voltagem.

Quando a voltagem do gerador atingir 22 volts, a corrente fluirá através da bobina, e fechará os contatos do relé de voltagem. Isto completa o circuito do gerador para a bateria através da bobina diferencial.

Quando a voltagem do gerador exceder a voltagem da barra de 0,35 volts, a corrente fluirá através da bobina diferencial, o contato do relé fechará e, sendo assim, completar-se-á o circuito da bobina do contactor principal. Os contatos do contactor principal fecham, ligando

o gerador à barra. Quando a voltagem do gerador for inferior à voltagem da barra (ou da bateria), uma corrente reversa enfraquecerá o campo magnético ao redor do ímã temporário do relé diferencial

O campo enfraquecido permite que uma mola abra os contatos do relé diferencial, interrompendo o circuito com a bobina do relé do contactor principal, abrindo seus contatos e desligando o gerador da barra.

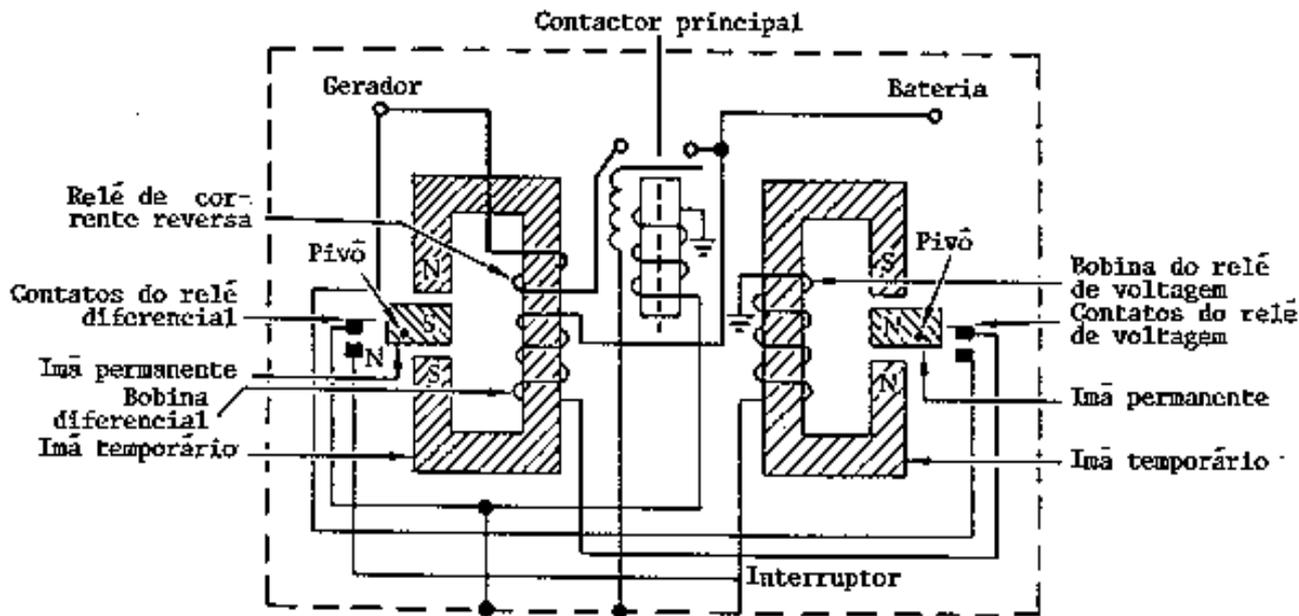


Figura 9-27 Relé de controle diferencial do gerador.

O circuito gerador-bateria pode também ser cortado (desativado) abrindo-se o interruptor de controle na cabine de comando, o qual abrirá os contatos do relé de voltagem, provocando ainda a desenergização da bobina do relé diferencial.

Relés de controle de sobrevoltagem e do campo

Dois outros itens usados com os circuitos de controle do gerador são os relés de controle de sobrevoltagem e o de controle do campo. Como seu nome diz, o controle de sobrevoltagem protege o sistema caso exista voltagem excessiva.

O relé de sobrevoltagem é fechado quando a saída do gerador atinge 32 volts, além de completar um circuito para desarmar a bobina do relé de controle do campo.

O fechamento do circuito de desarme do relé de controle abre o circuito do campo em paralelo, e o completa através de um resistor, provocando uma queda de voltagem no gerador; além disso, o circuito do interruptor do gerador e o circuito de equalização (avião multimotor) são abertos.

Um circuito de luz indicadora é completado, avisando que existe uma condição de sobrevoltagem. O interruptor da cabine de comando é usado na posição RESET para completar o rearme do circuito da bobina no relé de controle de campo, retornando o relé à sua posição normal.

GERADORES EM PARALELO

Quando dois ou mais geradores operam ao mesmo tempo com a finalidade de fornecer energia para uma carga, diz-se que eles estão em

paralelo, isto é, cada gerador fornece uma parte proporcional da amperagem total de carga.

Desta forma, a operação com multigerador requer que a carga seja distribuída por igual para cada gerador, visto que, havendo um pequeno aumento na saída de voltagem de um gerador, este fornecerá a maior parte da energia utilizada pela carga.

A potência fornecida por um gerador geralmente é chamada de ampères-carga.

Embora a potência seja medida em WATTS, produto da voltagem e da corrente - o termo "ampère-carga" é aplicável porque a saída de voltagem de um gerador é considerada constante; portanto, a potência é diretamente proporcional à saída de ampères do gerador.

Paralelismo com ligação negativa

Para distribuir a carga igualmente entre os geradores operando em paralelo, uma bobina é enrolada no mesmo núcleo da bobina de voltagem do regulador. Isto é parte do sistema de equalização mostrado na figura 9-28. Um resistor calibrado está localizado na ligação do terminal negativo "E", do gerador para a massa. O valor desta resistência é tanto, que, quando o gerador está operando com saída máxima de corrente, há uma queda de 0,5 volt através do resistor. Este resistor pode ser de tipo especial, pode ser um fio-massa suficientemente comprido para possuir a resistência necessária, ou um enrolamento em série do gerador.

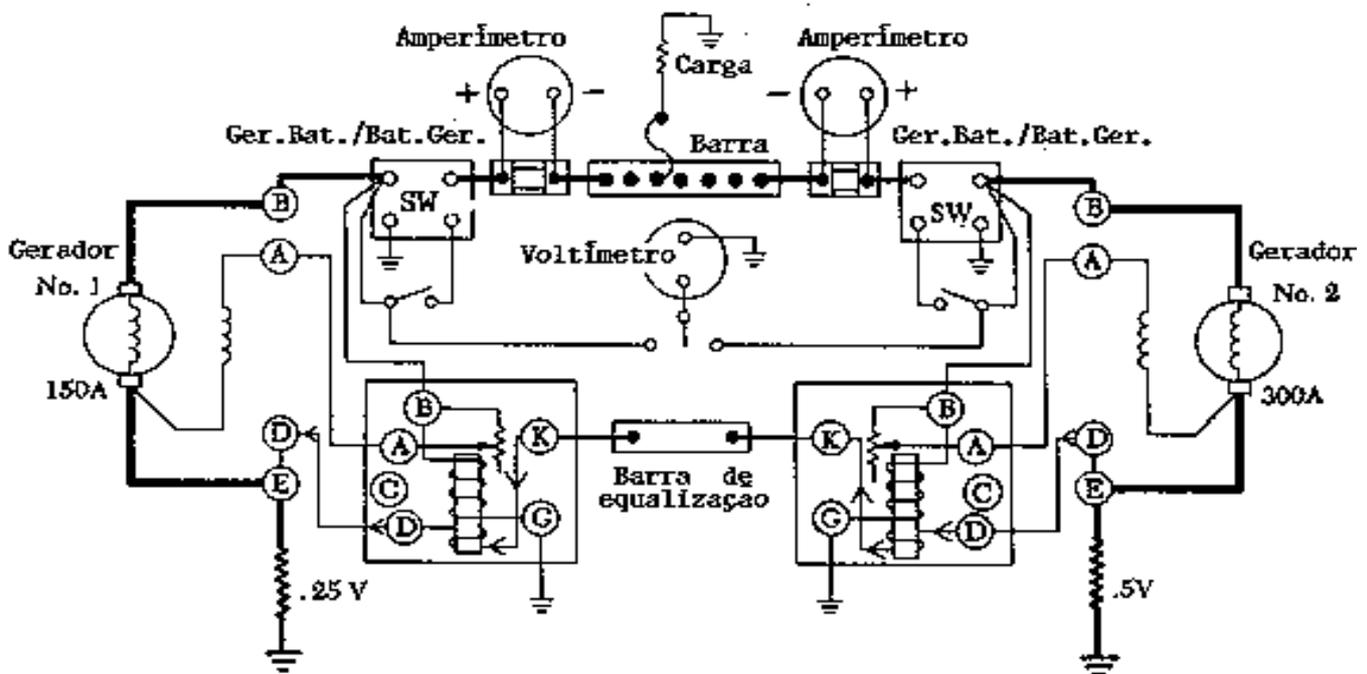


Figura 9-28 Circuitos de equalização de geradores.

O sistema de equalização depende da queda de voltagem nos resistores calibrados individualmente.

Se todos os geradores estiverem fornecendo a mesma corrente, a queda de voltagem em todas as ligações massa será a mesma. Se a corrente fornecida pelos geradores for diferente, haverá uma queda de voltagem maior na ligação do gerador que estiver fornecendo mais corrente. Sendo assim, quando o gerador 1 estiver fornecendo 150 ampères, e o gerador 2 estiver fornecendo 300 ampères, a queda de voltagem na

ligação negativa do gerador 1 será 0,25 volt; e na negativa do gerador 2 será de 0,5 volt.

Com isto o ponto "E" do gerador 1 possui uma voltagem menor do que o ponto "E" do gerador 2, e a corrente fluirá no circuito de equalização do ponto "E" do gerador 2 para o ponto "E" do gerador 1.

A bobina de equalização auxiliará a bobina de voltagem no regulador 2, e se oporá à bobina de voltagem no regulador 1. Desta maneira, a voltagem no gerador 2 será reduzida e a do gerador 1 será aumentada.

Paralelismo com ligação positiva

O diagrama na figura 9-29 mostra dois geradores fornecendo uma corrente total de 300 ampères. Se os geradores estivessem distribuindo esta carga igualmente, os amperímetros indicariam 150 ampères cada um.

Os geradores estariam em paralelo e nenhuma corrente fluiria nas bobinas de equalização entre os terminais “K” e “D” dos reguladores.

Observa-se, entretanto, que o amperímetro do gerador 1 indica somente 100 ampères, mas o amperímetro 2 indica 200 ampères. Com isto, há desequilíbrio da carga, provocando o fluxo da corrente através do circuito de equalização (linhas pontilhadas) no sentido indicado pelas setas.

O motivo é o seguinte: com 200 ampères de corrente fluindo através do resistor de equalização nº 2 (pela lei de Ohm, $E = I \times R$), haverá uma queda de 0,5 volt através do resistor nº 2. Visto que há somente 100 ampères fluindo através do resistor de equalização nº 1, haverá uma queda de $\frac{1}{4}$ volt (0,25 volt) neste resistor, e uma diferença de 0,25 volt existirá entre os dois resistores.

Sabendo-se que a corrente flui de uma pressão (potencial) mais alta para uma pressão mais baixa e do negativo para o positivo, ela estará no sentido indicado pelas setas. Quando a carga for igual, não haverá diferença entre a voltagem nos dois resistores.

A corrente pode ser seguida pelo circuito de equalização e pelas bobinas do regulador de voltagem para mostrar os efeitos nos eletroímãs. Com a corrente no sentido mostrado, a bobina de equalização e a bobina de voltagem do regulador nº 1 criam campos magnéticos que se opõem entre si, enfraquecendo o eletroímã do regulador de voltagem nº 1.

Isto permite a compressão dos discos de carvão pela mola, diminuindo suas resistências, e permitindo ainda um fluxo de corrente maior no circuito de campo do gerador nº 1.

Conseqüentemente, a voltagem de saída do gerador aumenta, mas ao mesmo tempo a corrente pela bobina de equalização e pela bobina de voltagem do regulador de voltagem nº 2 criam campos magnéticos que se auxiliam mutuamente, aumentando a força do eletroímã. Com isto, há uma redução na pressão da mola nos discos de carvão, aumentando suas resistên-

cias e permitindo que menos corrente flua no circuito do campo do gerador nº 2.

Sendo assim, a voltagem de saída deste gerador diminuirá.

Com a voltagem de saída do gerador nº 1 aumentada, a queda de voltagem através do resistor de equalização nº 1 aumenta; e com uma redução na voltagem de saída do gerador nº 2, a queda de voltagem através do resistor de equalização nº 2 diminui. Quando a voltagem de saída dos dois geradores for igual, a queda de voltagem através dos resistores de equalização também será igual.

Nenhuma corrente fluirá no circuito de equalização, a carga estará equilibrada e a leitura nos amperímetros será aproximadamente a mesma. Os geradores, estão, portanto, em paralelo.

A finalidade do circuito de equalização é auxiliar os reguladores de voltagem automaticamente, reduzindo a voltagem do gerador com voltagem elevada, e aumentando a voltagem do gerador com baixa voltagem, de maneira que a carga total seja dividida igualmente pelos geradores.

MANUTENÇÃO DO GERADOR CC

Inspeção

A informação seguinte sobre a inspeção e manutenção dos sistemas de gerador CC é de caráter geral, devido ao grande número de diferentes sistemas de gerador de aeronave.

Esses procedimentos são apenas para familiarização. Segue-se sempre as instruções do fabricante para um determinado sistema de gerador.

Geralmente, a inspeção de um gerador, instalado em uma aeronave, deve conter os seguintes itens:

- 1) Montagem segura do gerador.
- 2) Condição das conexões elétricas.
- 3) Presença de sujeira e óleo no gerador. Se houver vestígio de óleo, verifica-se a vedação do motor. A sujeira deve ser retirada com ar comprimido.
- 4) Condição das escovas do gerador.
- 5) Operação do gerador.
- 6) Operação do regulador de voltagem.

Os itens 4, 5 e 6 são apresentados com maiores detalhes nos parágrafos seguintes.

Condições das escovas do gerador

O centelhamento reduz rapidamente a área efetiva da escova em contato com os coletores. O grau de centelhamento deve ser determinado; e o desgaste excessivo requer uma inspeção mais cuidadosa.

A informação seguinte se refere ao assentamento, pressão e desgaste da escova e a condição do isolamento das barras (mica-alta).

Os fabricantes geralmente recomendam os procedimentos seguintes para assentamento das escovas que não façam bom contato com os coletores:

A escova tem que ser suspensa o suficiente para permitir a introdução de uma lixa nº 000, ou mais fina, na parte inferior da escova, com o lado áspero para cima (figura 9-30).

Puxa-se a lixa no sentido da rotação do induzido, com o cuidado de manter as extremidades da lixa bem próximas da superfície do coletor a fim de evitar que as bordas da escova sejam arredondadas.

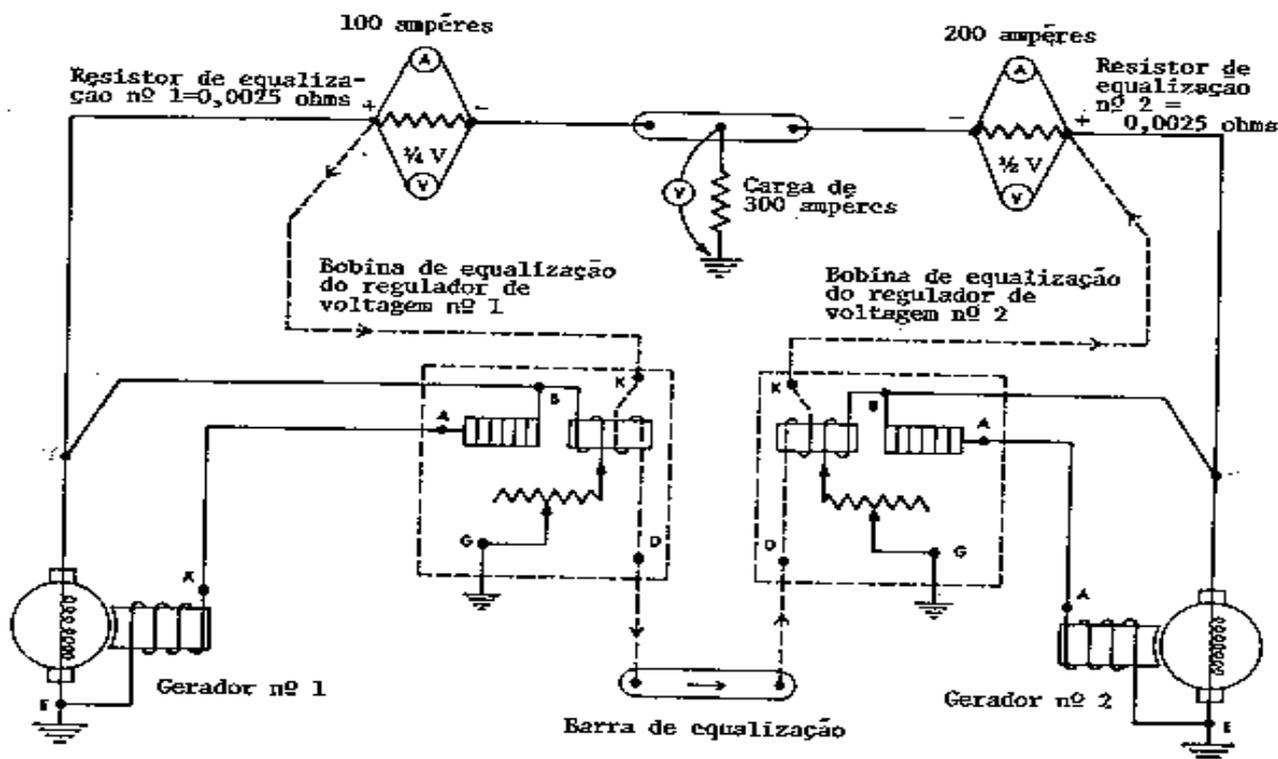


Figura 9-29 Geradores e circuitos de equalização.

Ao se puxar a lixa de volta ao ponto inicial, a escova deve ser levantada para não tocá-la. A escova somente deve ser lixada no sentido da rotação.

Após funcionar por pequeno período de tempo, as escovas do gerador devem ser inspecionadas, para assegurar que não há pedaços de lixa embutidos na escova, armazenando cobre.

Sob nenhuma circunstância devem ser usadas lixas de esmeril ou abrasivos similares para assentamento das escovas (ou alisamento de coletores), pois eles contêm materiais condutores que causarão centelhamento entre as escovas e as barras do coletor.

A pressão excessiva causará um rápido desgaste das escovas. Uma pressão muito pequena, entretanto, permitirá “oscilação”, resultando em superfícies queimadas e furadas.

Uma escova de carvão, grafite ou levemente metalizada deve exercer uma pressão de 1 ½ a 2 ½ psi no coletor.

A pressão recomendada pelo fabricante deve ser inspecionada com uma balança de mola calibrada em onças.

A tensão da mola da escova é geralmente ajustada entre 32 e 36 onças; entretanto, a tensão pode diferir levemente para cada tipo de gerador.

Quando for usada uma balança de mola, a pressão exercida no coletor pela escova é lida diretamente na balança.

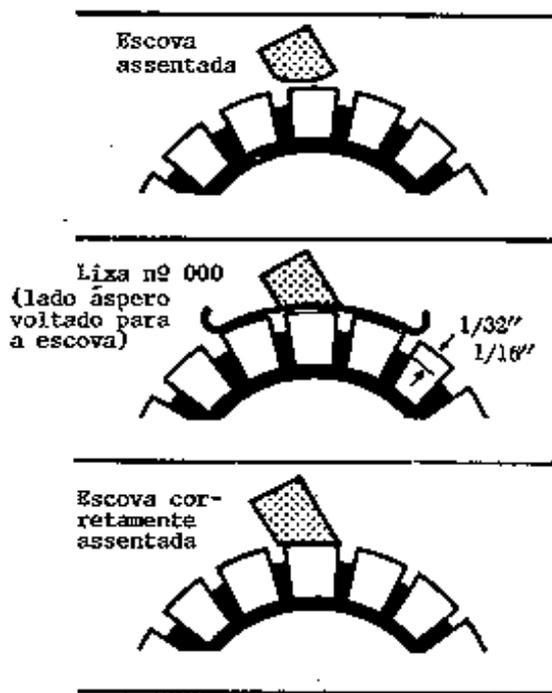


Figura 9-30 Assentamento de escovas com lixa de papel.

A balança é aplicada no ponto de contato entre o braço da mola e o topo da escova com esta instalada no guia. A escala é puxada para cima até que o braço suspenda ligeiramente a superfície da escova. Neste instante, deve ser lida a força sobre a balança.

Os rabichos flexíveis de baixa resistência são encontrados na maioria das escovas condutoras de corrente elevada, e suas ligações devem ser feitas seguramente, e inspecionadas em pequenos intervalos. Os rabichos flexíveis não devem alterar ou restringir o movimento livre das escovas.

A finalidade do rabicho flexível é conduzir corrente, deixando de submeter a mola da escova a correntes que alterariam a ação da mola por superaquecimento. Os rabichos flexíveis também eliminam qualquer faísca possível para o guia da escova, causado pelo movimento das escovas dentro do estojo, minimizando o desgaste lateral.

A poeira de carvão, resultante do lixamento da escova, deve ser completamente removida de todas as partes dos geradores depois da operação de lixamento. Essa poeira do carvão tem sido a causa de sérios danos no gerador.

A operação por tempo prolongado resulta freqüentemente no isolamento de mica, entre as barras do coletor, ficar acima da superfície. Essa condição é chamada de “mica-alta”, e interfere com o contato das escovas com o coletor.

Toda vez que esta condição ocorrer, ou se o coletor tiver sido trabalhado num torno mecânico, o isolamento da mica é cortado cuidadosamente numa profundidade igual a sua largura, ou aproximadamente de 0,020 de polegadas.

Cada escova deve ter um comprimento especificado para operar adequadamente. Se a escova for muito curta, o contato entre ela e o coletor será falho, podendo também reduzir a força da mola que mantém a escova no lugar.

A maioria dos fabricantes especifica o desgaste permitido a partir do comprimento de uma escova nova. Quando o desgaste da escova for o mínimo permitido, ela deverá ser substituída.

Algumas escovas especiais de gerador não devem ser substituídas devido a um entalhe na sua face.

Esses entalhes são normais, e aparecerão nas escovas dos geradores CA e CC que são instalados em alguns modelos de gerador de aeronave.

Essas escovas têm dois núcleos feitos de material mais duro, com uma razão de expansão maior do que o do material usado na carcaça principal da escova.

Normalmente, a carcaça principal da escova está faceando o coletor. Entretanto, em certas temperaturas, os núcleos se estendem e se desgastam através de alguma película do coletor.

Operação do gerador

Se não houver saída no gerador, seguem-se os procedimentos de pesquisa sistemática de pane para localizar o mau funcionamento.

O método seguinte é um exemplo. Embora este método seja aceito para diversos sistemas de gerador CC de 28 volts bimotor, ou de quatro motores, usando reguladores de voltagem com pilha de carvão, os procedimentos indicados pelo fabricante devem ser seguidos em todos os casos.

Se o gerador não estiver produzindo voltagem, retira-se o regulador de voltagem e, com o motor operando em aproximadamente 1.800

RPM, deve haver um curto-circuito nos terminais "A" e "B", na base de montagem do regulador, como mostrado no diagrama da figura 9-31. Se este teste mostrar voltagem excessiva, o gerador não estará defeituoso, mas a pane deverá ser no regulador de voltagem.

Se o teste deixar de produzir voltagem, o campo do gerador poderá ter perdido magnetismo residual.

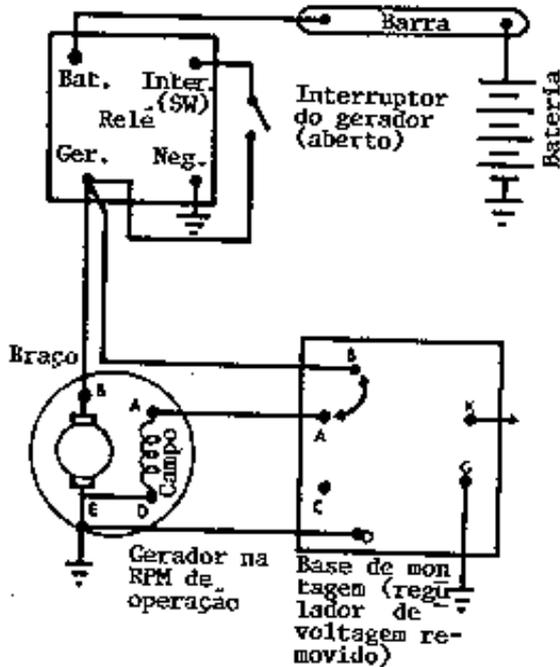


Figura 9-31 Verificação do gerador colocando-se em curto os terminais "A" e "B".

Para recuperar o magnetismo residual, energiza-se o campo do gerador removendo o regulador, e ligando momentaneamente o terminal "A" da base do regulador de voltagem à bateria em uma caixa de junção ou em uma barra da bateria, como indicado pela linha pontilhada no diagrama da figura 9-32, enquanto o motor operar em RPM de cruzeiro. Se ainda não houver voltagem, verifica-se as ligações quanto a curtos e massa.

Se o gerador estiver instalado de modo que as escovas e o coletor possam ser inspecionados, verifica-se como descrito nos procedimentos apropriados do fabricante.

Se necessário, as escovas são substituídas, e o coletor limpo.

Se o gerador estiver instalado, de modo que ele não possa ser reparado na aeronave, ele é retirado, e a inspeção é feita.

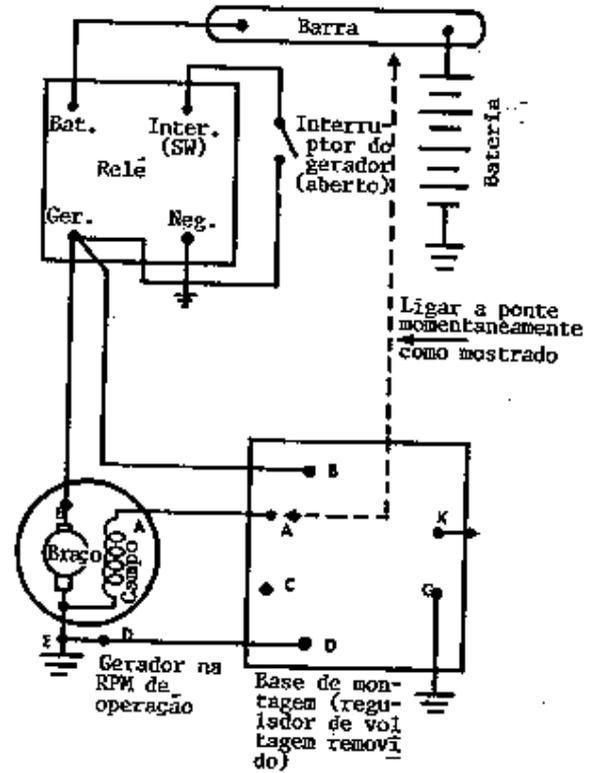


Figura 9-32 Método para recuperar o magnetismo residual do campo do gerador.

OPERAÇÃO DO REGULADOR DE VOLTAGEM

Para inspecionar o regulador de voltagem, é preciso retirá-lo da base de montagem e limpar todos os terminais e superfícies de contato. A base ou o alojamento deve ser examinado quanto a rachaduras.

Verifica-se todas as ligações quanto à segurança. O regulador de voltagem é um instrumento de precisão, e não pode suportar um tratamento descuidado.

Para ajustar o regulador de voltagem é necessário um voltímetro portátil de precisão. Este também deve ser manejado cuidadosamente, visto que ele não mantém precisão sob condições de manuseio indevido, vibração ou choque.

Os procedimentos detalhados para ajustar os reguladores de voltagem são dados nas instruções fornecidas pelo fabricante.

Os procedimentos seguintes são orientações para ajustar o regulador de voltagem de pilha de carvão em um sistema elétrico multimotor de 28 volts CC:

- 1- Ligar e aquecer todos os motores que tenham geradores instalados.
- 2- Colocar todos os interruptores do gerador na posição OFF.
- 3- Ligar um voltímetro de precisão do terminal “B” de um regulador de voltagem a uma boa massa.
- 4- Aumentar a velocidade do motor do gerador que está sendo verificado, para a RPM de cruzeiro normal. Os outros motores permanecem em marcha-lenta.
- 5- Ajustar o regulador até que o voltímetro mostre exatamente 28 volts (a localização do botão de ajuste no regulador de voltagem de pilha de carvão é mostrada na figura 9-33).
- 6- Repetir este procedimento para ajustar todos os reguladores de voltagem.
- 7- Aumentar a velocidade de todos os motores para a RPM de cruzeiro normal.
- 8- Fechar todos os interruptores dos geradores.
- 9- Aplicar uma carga equivalente a metade do valor da carga total de um gerador, quando verificar um sistema de dois geradores, ou uma carga comparável à carga total de um gerador, quando verificar um sistema que tenha mais de dois geradores.
- 10- Observar os amperímetros ou medidores de carga. A diferença entre a corrente mais alta e a mais baixa do gerador não deve exceder o valor fixado nas instruções de manutenção do fabricante.
- 11- Se os geradores não estiverem distribuindo a carga igualmente (não paralelo), primeiro reduzir a velocidade do gerador mais alto, e depois aumentar levemente a voltagem do gerador mais baixo, ajustando os reguladores de voltagem correspondentes. Quando os geradores forem ajustados para distribuírem a carga igualmente, eles estarão em “paralelo”
- 12- Após todos os ajustes terem sido feitos, faça-se uma inspeção final da barra de voltagem para massa com um voltímetro de precisão. O voltímetro deverá indicar 28 volts ($\pm 0,25$

volt na maioria dos sistemas de 28 volts). Se a barra de voltagem não estiver dentro dos limites, reajusta-se todos os reostatos reguladores de voltagem, que devem ser rechechados.

Quando se inspeciona o interruptor relé do gerador, ele é examinado quanto à limpeza e segurança da montagem.

Todas as ligações elétricas devem estar firmemente apertadas. Verifica-se se há contatos queimados ou picotados

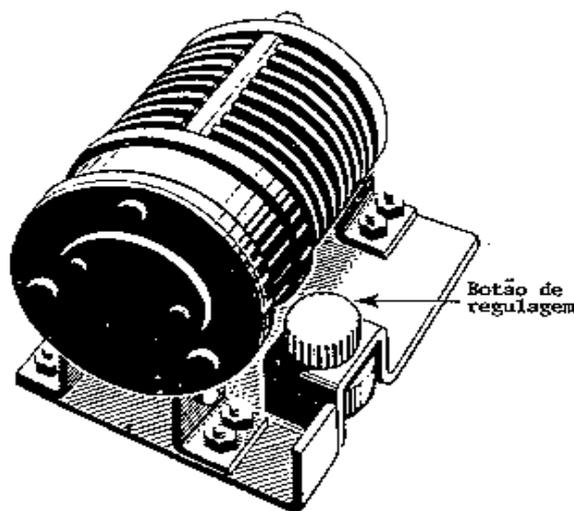


Figura 9-33 Botão de regulagem no regulador de voltagem à pilha de carvão.

Nunca se deve fechar o relé manualmente, pressionando os contatos; isto pode danificá-lo seriamente, ou provocar ferimento.

Nunca se ajusta o relé do tipo diferencial, pois ele fecha-se quando a voltagem do gerador excede de um valor especificado à voltagem do sistema, e não é ajustado para fechar em qualquer voltagem; entretanto, verifica-se o fechamento adequado pela observação da indicação do amperímetro com o interruptor de controle do gerador ligado enquanto o motor estiver funcionando.

Às vezes é necessário colocar uma pequena carga no sistema antes que o amperímetro mostre uma indicação positiva, quando o motor estiver operando na velocidade de cruzeiro. Se o amperímetro não indicar, provavelmente o relé estará defeituoso; portanto, retira-se o relé, substituindo-o por um relé novo. O relé de corrente reversa deve possuir um valor de abertura correto. Se o relé falhar e não fechar quando a

velocidade do motor aumentar, ou deixar de desligar o gerador da barra, ele está defeituoso.

Pesquisa de pane

Se o sistema de um gerador estiver defeituoso, as causas prováveis serão: (1) o gerador pode estar em pane (queimado, danificado mecanicamente, etc.), ou (2) parte da fiação do circuito para ou procedente do gerador está com defeito.

O teste de continuidade se refere à verificação quanto à existência de um sistema elétrico completo entre dois pontos. Os três tipos de medidores de continuidade são:

- 1- O medidor portátil de pilha, equipado com uma cigarra ou uma lâmpada de 3 volts, para indicar que o circuito está completo, é usado para testar os circuitos com a força principal desligada.
- 2- Um bulbo de lâmpada comum (tipo 24 volts), com um fio do contato central da lâmpada, e um fio neutro ligado ao suporte, que pode ser usado para testar os circuitos com a força do circuito principal ligada.
- 3- Um voltímetro de precisão é usado para testar os circuitos com a força do circuito prin-

cipal ligada, colocando-se o fio positivo no ponto do circuito positivo, e o fio negativo em qualquer massa conveniente.

Os testes devem ser feitos em cada terminal do circuito. Entre o último ponto onde a voltagem é indicada, e o ponto inicial onde a voltagem é nula, existe um circuito aberto ou uma queda de voltagem causada por operação de unidade ou um curto com a massa.

Se a mesma leitura de voltagem for obtida no terminal negativo de uma unidade, como foi obtida no terminal positivo, isto é indicação de massa aberta.

Se uma pequena voltagem for obtida no terminal negativo de uma unidade, como foi obtida no terminal positivo, isto é indicação de massa aberta.

Se uma pequena voltagem for obtida no terminal negativo da unidade, uma resistência alta estará indicada entre a unidade e a massa.

O item seguinte, concernente à pesquisa de pane, apresenta os defeitos mais comumente encontrados, além de uma lista de causas prováveis para isolá-los e uma ação corretiva a ser tomada.

Esta listagem é um guia geral para pesquisa de pane de um sistema de gerador CC de dois motores, que utilizam reguladores de voltagem à pilha de carvão.

PANE	PROCEDIMENTO DE ISOLAÇÃO	CORREÇÃO
Nenhuma indicação de voltagem em qualquer dos geradores.	Verificar se o interruptor do gerador, ou o de campo, está com defeito. Determinar se a polaridade do gerador está invertida. Verificar se há fios abertos, em curto entre si ou com a massa. Verificar se o gerador está com defeito.	Substituir o interruptor do gerador ou o do campo. Energizar momentaneamente o campo do gerador. Substituir a fiação com defeito. Substituir o gerador.
Baixa voltagem em qualquer dos geradores.	Verificar o ajuste do regulador de voltagem. Verificar se o regulador de voltagem está com defeito. Verificar se o gerador está com defeito.	Ajustar o regulador de voltagem. Substituir o regulador de voltagem. Substituir o gerador.
Gerador desliga automaticamente.	Verificar se o relé de corte de corrente reversa está com defeito. Verificar se o relé de sobrevoltagem está com defeito. Verificar se o relé de controle de campo está com defeito. Verificar se o regulador de voltagem está com defeito.	Substituir o relé de corte de corrente reversa. Substituir o relé de sobrevoltagem. Substituir o relé de controle de campo. Substituir o regulador de voltagem.

	Verificar se a fiação está defeituosa.	Substituir a fiação com defeito.
Voltagem instável em qualquer dos geradores.	Verificar se a fiação está com defeito. Verificar se o gerador está com defeito. Verificar o desgaste dos rolamentos do gerador.	Substituir a fiação com defeito. Substituir o gerador. Substituir o gerador.
Não há indicação de carga em qualquer dos geradores. A voltagem é normal.	Inspecionar o relé de corte de corrente reversa. Inspecionar se o interruptor do gerador está com defeito. Verificar se a fiação está com defeito.	Substituir o relé de corte de corrente reversa. Substituir o interruptor do gerador. Substituir a fiação defeituosa.
Baixa voltagem da Barra CC.	Verificar se o ajuste do regulador de voltagem está correto. Verificar se os relés de corrente reversa estão com defeito.	Ajustar o regulador de voltagem. Substituir os relés de corte de corrente reversa.
Alta voltagem em qualquer dos geradores.	Verificar o ajuste incorreto do regulador de voltagem. Verificar se o regulador de voltagem está com defeito. Determinar se o fio "A" do campo do gerador está em curto com o fio positivo.	Ajustar o regulador de voltagem. Substituir o regulador de voltagem. Substituir a fiação em curto, ou reparar as ligações.
O gerador não fornece mais do que 2 volts aproximadamente.	Verificar o regulador de voltagem ou a base. Fazer uma medição com voltímetro de precisão entre o terminal "A" e a massa. Não havendo leitura de voltagem, isso indica que há pane no regulador ou na base. Uma leitura de quase 2 volts indica que o regulador e a base estão perfeitos. Verificar se o gerador está com defeito. Uma leitura baixa no ohmímetro indica que a corrente está boa e a pane é no interior do gerador.	Verificar os contatos do regulador onde eles se apoiam sobre a barra de contato de prata. Qualquer sinal de queimadura neste ponto justifica a troca do regulador. Desligar a tomada do gerador. Colocar um fio do ohmímetro no terminal "A" e o outro no terminal "E". Uma leitura alta indica que o campo do gerador está aberto. Substituir o gerador
Leitura de voltagem excessiva do voltímetro do painel de instrumentos.	Verificar se há curto entre os terminais "A" e "B" do regulador de voltagem. Verificar o controle do regulador de voltagem.	Se estiver em curto, troque o regulador de voltagem. Substituir o regulador de voltagem.
Leitura de zero volt no voltímetro do painel de instrumentos.	Verificar se o circuito do voltímetro está defeituoso.	Colocar o fio positivo do voltímetro de teste no terminal positivo do voltímetro do painel de instrumentos, e o fio negativo à massa. A leitura deve ser de 27,5 volts. Se não for, o fio que liga o regulador ao instrumento está defeituoso. Deve-se substituir, ou consertar o fio. Colocar o fio positivo do voltímetro no terminal negativo do voltmí-

	<p>Verificar se o fio “B” ou “E” estão partidos. Retirar o regulador de voltagem e fazer a leitura do ohmímetro entre o contato “B” da base e a massa do regulador. Uma leitura baixa indica que o circuito é satisfatório. Uma leitura alta indica que a pane é uma alta resistência.</p> <p>Verificar a perda do magnetismo residual.</p>	<p>tro do painel de instrumentos, e o fio negativo à massa. Se a leitura do voltímetro for zero, o voltímetro do painel de instrumentos está defeituoso. Substituir o voltímetro.</p> <p>A alta resistência é, provavelmente, causada por óleo, poeira, ou queimadura na tomada do conector ou coletor. O gerador deve ser substituído.</p> <p>Colocar o interruptor “FLASHER” na posição ON, momentaneamente. Não o segure. NOTA: Se o interruptor for mantido na posição ON, em vez de colocado momentaneamente, as bobinas do campo do gerador serão danificadas.</p>
<p>A voltagem não é fornecida adequadamente. Após o campo ser energizado. (Operação anterior).</p>	<p>Verificar se o campo está aberto. Desligar o conector do gerador e fazer a leitura do ohmímetro entre os terminais “A” e “E” dos conectores do gerador. Uma leitura alta indica que o campo está aberto.</p> <p>Verificar se o campo está em curto com a massa. Fazer a leitura com um ohmímetro entre o terminal “A” e a carcaça do gerador. Uma leitura baixa indica que o campo está em curto.</p> <p>Verificar se o induzido está aberto. Retirar a tampa do gerador e inspecionar o coletor. Se a solda estiver derretida e espalhada, então o induzido está aberto (provocado pelo superaquecimento do gerador).</p>	<p>Verificar e reparar a fiação ou conectores.</p> <p>O isolamento no enrolamento do campo está imperfeito. Substituir o gerador.</p> <p>Substituir o gerador.</p>

ALTERNADORES

Um gerador elétrico é qualquer máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica através da indução eletromagnética.

Um gerador que produz corrente alternada é chamado de gerador CA e, embora seja uma combinação das palavras “alternada” e “gerador”, a palavra alternador possui ampla utilização.

Em algumas áreas, a palavra “alternador” é aplicada somente para geradores CA pequenos. Aqui são usados os dois termos como sinônimos para diferenciar os geradores CA e CC. A principal diferença entre um alternador e um gerador CC é o método usado na ligação com os circuitos externos; isto é, o alternador é ligado ao circuito externo por anéis coletores, ao passo que o gerador CC é ligado por segmentos coletores.

Tipos de alternadores

Os alternadores são classificados de diversas maneiras para diferenciar adequadamente os seus diversos tipos. Um meio de classificação é pelo tipo de sistema de excitação utilizado.

Nos alternadores usados em aeronaves a excitação pode ser efetuada por um dos seguintes métodos:

- 1- *Um gerador CC de acoplamento direto.* Este sistema consiste em um gerador CC fixado no mesmo eixo do gerador CA. Uma variação deste sistema é um tipo de alternador que usa CC da bateria para excitação, sendo o alternador auto-excitado posteriormente.
- 2- *Pela transformação e retificação do sistema CA.* Este método depende do magnetismo residual para a formação de voltagem CA inicial, após o qual o suprimento do campo é feito com voltagem retificada do gerador CA.
- 3- *Tipo integrado sem escova.* Esta combinação consiste em um gerador CC no mesmo eixo com um gerador CA. O circuito de excitação é completado por retificadores de silício, em vez de um coletor e escovas. Os retificadores estão montados sobre o eixo do gerador, e a sua saída é alimentada diretamente ao campo rotativo principal do gerador CA.

Um outro método de classificação é pelo número de fases da voltagem de saída.

Os geradores CA podem ser: monofásicos, bifásicos, trifásicos ou ainda de seis ou mais fases. Nos sistemas elétricos de aeronave, o alternador trifásico é o mais usado. Ainda um outro processo de classificação é pelo tipo de estator e rotor. Temos então dois tipos de alternadores utilizados: o tipo induzido rotativo e o tipo campo rotativo.

O alternador do tipo induzido rotativo é semelhante ao gerador CC, onde o induzido gira através de um campo magnético estacionário. Este alternador é encontrado somente nos alternadores de baixa potência e não é usado normalmente.

No gerador CC, a FEM gerada nos enrolamentos do induzido é convertida em uma voltagem unidirecional CC por meio de segmentos coletores e escovas. No alternador do tipo induzido rotativo, a voltagem CA gerada é aplicada

sem modificação à carga, por meio de anéis coletores e escovas.

O alternador do tipo campo rotativo (figura 9-34) possui um enrolamento de induzido estacionário (estator) e um enrolamento de campo rotativo (rotor).

A vantagem de possuir um enrolamento de induzido estacionário é que o induzido pode ser ligado diretamente à carga sem contatos móveis no circuito de carga. Um induzido rotativo necessita de anéis coletores e escovas para conduzir a corrente da carga do induzido para o circuito externo. Os anéis coletores possuem uma duração menor, e o centelhamento é um perigo contínuo; portanto, os alternadores de alta voltagem são geralmente do tipo induzido estacionário e campo rotativo.

A voltagem e a corrente fornecidas ao campo rotativo são relativamente pequenas, e anéis coletores e escovas são adequados para este circuito.

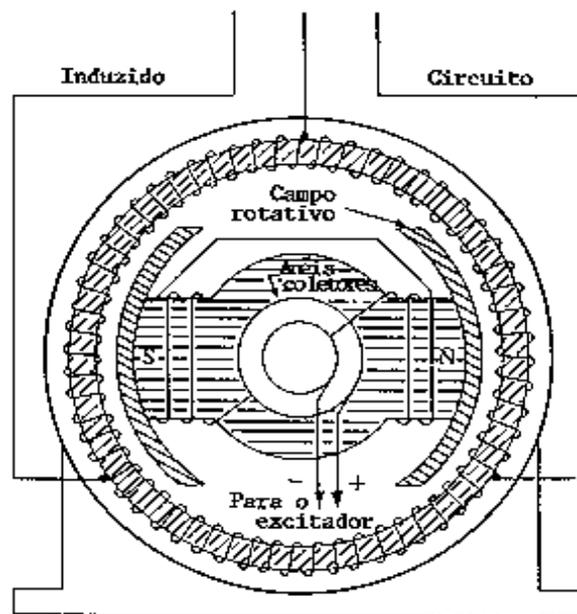


Figura 9-34 Alternador com induzido estacionário e campo rotativo.

A ligação direta com o circuito do induzido torna possível o uso de condutores de grande seção transversal, isolados devidamente para alta voltagem.

Visto que o alternador de campo rotativo é usado quase universalmente nos sistemas de aeronave, este tipo será explicado com detalhe como alternador monofásico, bifásico e trifásico.

Alternador monofásico

Como a FEM induzida em um gerador é alternada, o mesmo tipo de enrolamento pode ser usado tanto em um alternador como em um gerador CC. Este tipo de alternador é conhecido como alternador monofásico, mas visto que a força fornecida por um circuito monofásico é pulsante, este tipo é inconveniente em muitas aplicações.

Um alternador monofásico possui um estator constituído de vários enrolamentos em série, formando um circuito único no qual é gerada uma voltagem de saída. A figura 9-35 mostra um diagrama esquemático de um alternador monofásico com quatro pólos.

O estator possui quatro peças polares espaçadas igualmente ao redor da carcaça do estator. O rotor possui quatro pólos, adjacentes de polaridade oposta. À medida que o rotor gira, as voltagens CA são induzidas nos enrolamentos do estator.

Como um pólo do rotor está na mesma posição relativa a um enrolamento do estator, como em qualquer outro pólo do rotor, todos os grupos polares do estator são cortados por números iguais de linhas de força magnéticas a qualquer tempo. Como consequência, as voltagens induzidas em todos os enrolamentos possuem a mesma amplitude, ou valor, a qualquer momento.

Os quatro enrolamentos do estator estão ligados entre si de modo que as voltagens CA estejam em fase, ou “adicionadas em série”. Suponha-se que o pólo 1 do rotor, um pólo sul, induza uma voltagem no sentido indicado pela seta no enrolamento do estator 1.

Sabendo-se que o rotor 2 é um pólo norte, ele induzirá uma voltagem no sentido oposto da bobina do estator 2, em relação à bobina do estator 1.

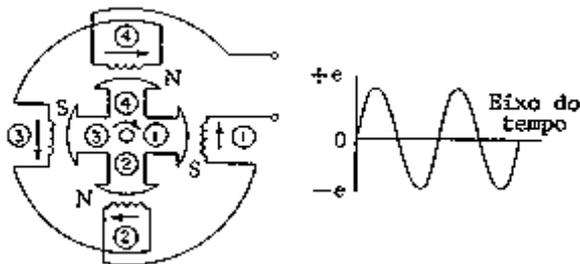


Figura 9-35 Alternador monofásico.

Para que as duas voltagens estejam somadas em série, as duas bobinas devem ser ligadas, como mostra o diagrama.

Aplicando-se o mesmo raciocínio, a voltagem induzida na bobina do estator 3 (rotação horária do campo) tem o mesmo sentido (anti-horário) que a voltagem induzida na bobina do estator 1.

Da mesma forma, o sentido da voltagem induzida na bobina do estator nº 4 é oposto ao sentido da voltagem induzida na bobina 1.

Todos os quatro grupos de bobina de estator são ligados em série, de modo que as voltagens induzidas em cada enrolamento sejam adicionadas para fornecer uma voltagem total, que é quatro vezes a voltagem em qualquer enrolamento.

Alternador bifásico

Os alternadores bifásicos possuem dois ou mais enrolamentos monofásicos, espaçados simetricamente ao redor do estator. Num alternador bifásico existem dois enrolamentos monofásicos espaçados fisicamente, de tal modo, que a voltagem CA induzida em um deles está defasada de 90° em relação à voltagem induzida no outro.

Os enrolamentos estão separados eletricamente um do outro. Quando um enrolamento está sendo cortado por um fluxo máximo, o outro não está sendo cortado por nenhum fluxo. Esta condição estabelece uma relação de 90° entre as duas fases.

Alternador trifásico

Um circuito trifásico ou polifásico é empregado na maioria dos alternadores de aeronave, ao invés de um alternador monofásico ou bifásico.

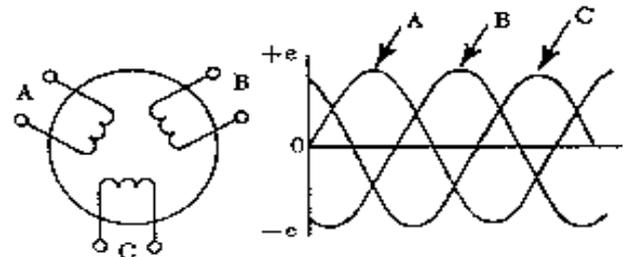


Figura 9-36 Diagrama esquemático simplificado de um alternador trifásico com a forma de onda das voltagens.

Um diagrama esquemático simplificado, mostrando cada uma das três fases, é ilustrado na figura 9-36. O rotor é omitido por simplicidade. As formas de onda das voltagens são mostradas à direita da figura.

As três voltagens estão espaçadas de 120° , e são similares às voltagens que seriam geradas por três alternadores monofásicos, cujas voltagens estão defasadas de 120° . As três fases são independentes uma da outra.

Em vez do alternador trifásico possuir 6 fios, um dos fios de cada fase pode ser ligado para formar uma junção comum. O estator é então chamado de ligação em "Y" ou estrela. O fio comum pode ser procedente ou não do alternador. Se ele sair do alternador, será chamado de fio neutro.

O esquema simplificado ("A" da figura 9-37) mostra um estator ligado em "Y", sem um fio comum saindo do alternador. Cada carga é ligada através de duas fases em série.

Sendo assim, R_{AB} é ligada através das fases "A" e "B" em série; R_{AC} é ligada através das fases "A" e "C" em série e R_B é ligado através das fases "B" e "C" em série. Portanto, a voltagem através de cada carga é maior do que a voltagem através de uma fase única.

A voltagem total, ou voltagem de linha, através de qualquer das duas fases é a soma vetorial das voltagens de fase individual. Em condições equilibradas, a voltagem de linha é 1,73 vezes a voltagem de fase. O alternador trifásico possui três enrolamentos monofásicos espaçados, de modo que a voltagem induzida em cada enrolamento esteja 120° fora de fase com as voltagens dos outros dois enrolamentos. Um diagrama esquemático de um estator trifásico, mostrando todas as bobinas, torna-se complexo e difícil para constatar o que está acontecendo realmente.

Visto que existe somente um caminho de corrente no fio da linha, e à fase na qual ele está ligado, a corrente de linha é igual à corrente de fase.

Um estator trifásico pode ser ligado também de modo que as fases sejam ligadas de extremidades a extremidades, como mostrado em "B" da figura 9-37. Esta ligação é chamada de "delta".

Numa ligação "delta", as voltagens são iguais às voltagens de fase; as correntes da linha são iguais à soma vetorial das correntes de fase; e a corrente da linha é igual a 1,73 vezes a corrente de fase, quando as cargas estão equilibradas.

Para cargas iguais (igual Kw de saída), a ligação "delta" fornece corrente de linha maior em um valor de voltagem de linha igual à voltagem de fase; e a ligação "Y" fornece uma voltagem de linha maior em um valor de corrente de linha igual à corrente de fase.

Unidade alternadora-retificadora

Um tipo de alternador usado no sistema elétrico de muitos aviões com peso inferior a 12.500 libras é mostrado na figura 9-38. Este tipo de fonte de alimentação às vezes é chamado de gerador CC, visto que é usado nos sistemas CC. Embora sua saída seja CC, ela é uma unidade alternadora-retificadora.

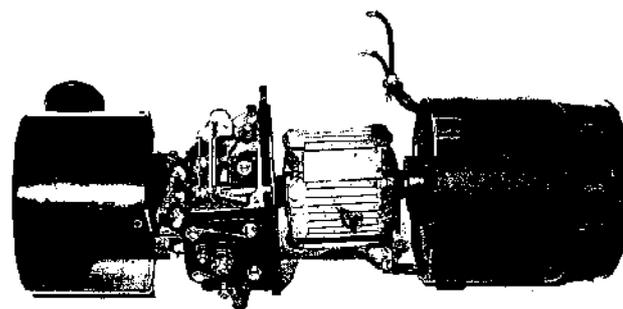


Figura 9-38 Vista explodida de uma unidade alternadora-retificadora.

Este tipo de alternador-retificador é uma unidade auto-excitada, mas não contém ímã permanente. A excitação para a partida é obtida da bateria e, imediatamente após a partida, a unidade é auto-excitada. O ar de refrigeração do alternador é conduzido para a unidade por uma tomada de injeção de ar, na tampa de entrada de ar (figura 9-38).

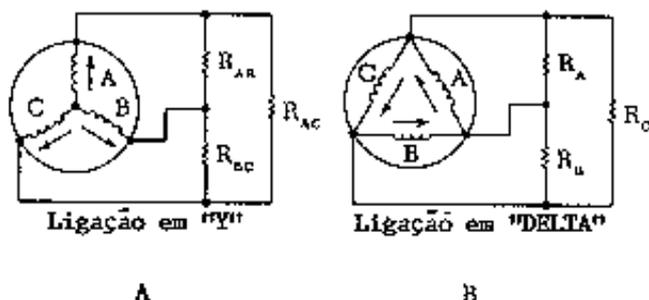


Figura 9-37 Alternadores ligados em "Y" e em "DELTA".

O alternador está acoplado diretamente ao motor do avião, por meio de um acoplamento de acionamento flexível. A voltagem de saída CC pode ser regulada por um regulador de voltagem, do tipo pilha de carvão. A saída da seção alternadora da unidade é uma corrente alternada trifásica, proveniente de um sistema trifásico, de ligação delta, incorporando um retificador trifásico de onda completa (figura 9-39).

Esta unidade opera com uma velocidade média de 2.100 a 9.000 RPM com voltagem de saída CC de 26 a 29 volts e 125 ampères

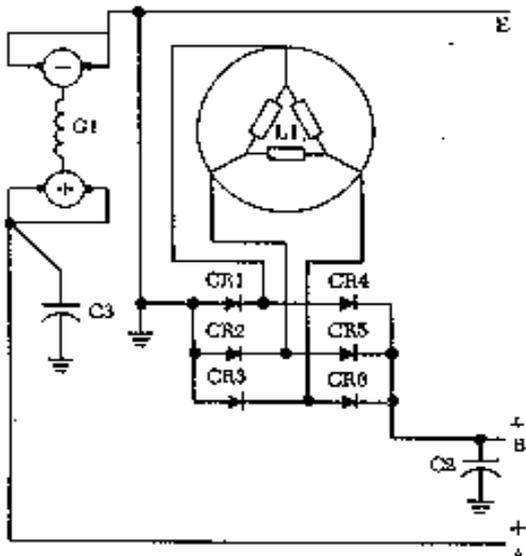


Figura 9-39 Diagrama de fiação de uma unidade alternadora-retificadora.

ALTERNADORES SEM ESCOVA

Introdução

A maioria das aeronaves modernas usa um tipo de alternador sem escova. Ele é mais eficiente porque não possui escovas para desgastar ou centelhar em altitudes elevadas.

A seguir, descreveremos alguns tipos de geradores sem escova utilizados em alguns aviões em uso no Brasil.

ALTERNADORES DE AVIÕES BOEING 737, 727 E 707

Cada alternador fornece 30 ou 40 KVA com fator de potência de 0,95 de adiantamento de fase para 0,75 de retardamento de fase, voltagem de 120 a 208 volts, corrente alternada de 380 a 420 Hz, com rotação de 5.700 a 6.300

RPM. Não há anéis coletores, comutadores nem escovas, quer no alternador ou no excitador.

Um campo eletromagnético rotativo produz a voltagem de saída, a ser induzida no induzido estacionário do alternador. Esse campo rotativo é excitado por um excitador de CA, cuja saída é convertida em CC por um excitador de CA, cuja saída é convertida em CC por retificadores localizados no eixo do rotor do alternador. Os alternadores acionados pelos motores são acoplados à unidade de transmissão à velocidade constante (CSD = CONSTANT SPEED DRIVE) na parte inferior dos motores.

A refrigeração do alternador é feita por ar sangrado do duto de descarga da ventoinha (FAN) do motor. Durante ambas as operações, no solo e em vôo, o ar que refrigera o alternador é conduzido para fora do avião através da saída de ar do motor.

O alternador completo é constituído por um circuito excitador de CA, um retificador rotativo e o alternador propriamente dito (figura 9-40).

O excitador de CA consiste em um campo CC de seis pólos estacionários e um induzido rotativo. O funcionamento dessas unidades é o seguinte:

O campo excitador é alimentado com CC proveniente do regulador de voltagem. Isto cria uma voltagem trifásica para ser aplicada no induzido do excitador. A corrente alternada é retificada para alimentar o campo rotativo do alternador.

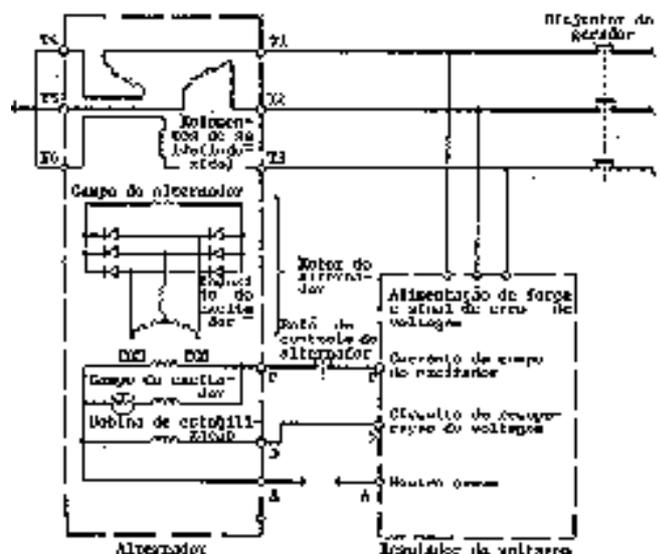


Figura 9-40 Circuito esquemático do alternador sem escova.

O estator do excitador tem duas bobinas: uma bobina de campo em paralelo, ligada entre os terminais “A” e “F”, e uma bobina de estabilização ligada entre os terminais “A” e “S”. A bobina de estabilização não é usada com o regulador de voltagem do tipo transistorizado.

A corrente fornecida pelo regulador de voltagem à bobina de campo em paralelo, proporciona excitação para o excitador do alternador. Desse modo, a corrente controla a saída do excitador do alternador. O enrolamento da bobina de campo em paralelo consiste em dois fios trançados, enrolados em seis bobinas em série, montadas sobre os seis pólos principais.

As bobinas têm suas polaridades alternadamente invertidas sobre os seis pólos, e ambas as extremidades dos fios isolados são ligadas ao terminal “F”. Numa das extremidades, um dos fios é ligado diretamente ao terminal “A”, enquanto o outro é ligado ao terminal “A” através de um termistor.

O termistor, montado no conjunto do excitador, tem característica inversa de resistência-temperatura.

Resistência elevada, com temperatura ambiente baixa ou normal, bloqueia o fluxo de corrente em um dos fios trançados (paralelo), fazendo com que a resistência do campo em paralelo seja aproximadamente igual à do fio remanescente.

Com temperatura elevada, resultante da operação normal, a resistência individual de cada fio aumenta, aproximadamente o dobro. Nesse mesmo tempo, a resistência do termistor cai a um valor desprezível, permitindo fluxo de corrente aproximadamente igual em cada fio.

A resistência combinada dos dois fios trançados (paralelo), em alta temperatura, é aproximadamente igual à de um único fio em baixa temperatura, proporcionando desse modo compensação de temperatura.

Seis ímãs permanentes estão montados na estrutura do excitador, entre os seis pólos do estator.

Esses ímãs têm suas polaridades alternadamente invertidas, produzindo aumento de voltagem residual, que elimina a necessidade da variação de campo ou dispositivo especial para excitação na partida.

Há uma bobina de estabilização enrolada diretamente sobre a bobina de excitação de campo. Entretanto, a bobina de estabilização só

é usada nas aeronaves que usam regulador de voltagem do tipo amplificador magnético.

Nas aeronaves que usam regulador de voltagem transistorizado, a estabilização é feita pela realimentação no próprio regulador, que sente e amortece quaisquer flutuações da voltagem de saída, ou ainda, devido à rápida carga no momento de ligar, operação em paralelo ou falhas.

Combinação dos sistemas elétricos CA e CC

Muitas aeronaves, principalmente aquelas que pesam mais de 12.500 libras, utilizam tanto o sistema elétrico CA como o CC. Frequentemente o sistema CC é o sistema elétrico básico, e consiste em geradores CC em paralelo com uma saída de, por exemplo, 300 ampères cada.

O sistema CA, em tal aeronave, pode ser constituído tanto de um sistema de frequência fixa como um de frequência variável. O sistema de frequência fixa consiste em 3 ou 4 inversores e controles associados, componentes de proteção e de indicação para fornecer uma energia CA monofásica para o equipamento CA sensível à frequência.

O sistema de frequência variável pode consistir em dois ou mais alternadores acionados pelo motor, com componentes associados de controle, proteção e indicação para fornecer energia trifásica para tais finalidades como: aquecimento resistivo nas hélices, dutos do motor e pára-brisas.

A combinação de tais sistemas elétricos CA e CC, normalmente inclui uma fonte auxiliar de energia CC, como reserva do sistema principal. Este gerador é acionado frequentemente por uma unidade, independente de força movida à gasolina ou turbina.

Classificação dos Alternadores

A corrente máxima que pode ser fornecida por um alternador depende da dissipação máxima do calor ($I^2 R$, queda de potência), que pode ser mantida no induzido, e a dissipação máxima do calor que pode ser mantida no campo.

A corrente do induzido do alternador varia com a carga. Esta ação é similar a dos geradores CC.

Nos geradores CA, entretanto, cargas que atrasam o fator de potência tendem a desmagnetizar o campo do alternador, e a voltagem de saída é mantida somente pelo aumento da corrente do campo CC. Por esta razão, os geradores de corrente alternada são geralmente classificados de acordo com o KVA, fator de potência, fases, voltagem e frequência.

Um gerador, por exemplo, pode ser classificado em 40 KVA, 208 volts, 400 ciclos, trifásico, e com um fator de potência de 75%. O KVA indica a potência aparente.

Esta é a saída em KVA, ou a relação entre a corrente e a voltagem, na qual o gerador deve operar.

O fator de potência é a expressão entre a potência aparente (volt-ampere) e a potência real ou efetiva (WATTS). O número de fases é o número de voltagens independentes geradas. Os geradores trifásicos geram três voltagens espaçadas 120°.

Frequência do alternador

A frequência de voltagem do alternador depende da velocidade do rotor e do número de pólos. Quanto maior for a velocidade, mais alta será a frequência; quanto menor for a velocidade, mais baixa será a frequência. Quanto mais pólos tiver o rotor, mais alta será a frequência numa certa velocidade. Quando um rotor gira num certo ângulo, de modo que os dois pólos adjacentes do rotor (um pólo norte e um pólo sul) passem por um enrolamento, o valor da voltagem induzida naquele enrolamento variará dentro de um ciclo completo.

Numa certa frequência, quanto maior for o número de pares de pólos menor será a velocidade de rotação. Um alternador com dois pólos gira o dobro da velocidade de um alternador de 4 pólos, para a mesma frequência da voltagem gerada. A frequência do alternador em c.p.s. está relacionada com o número de pólos e a velocidade, o que é expresso pela equação:

$$F = \frac{P}{2} \times \frac{N}{60} = \frac{PN}{120}$$

onde "P" é o número de pólos e "N" é a velocidade em RPM. Por exemplo, um alternador com dois pólos e 3600 RPM tem uma frequência de $2 \times 3600/120 = 60$ c.p.s.; um alternador de 4

pólos e 1800 RPM tem a mesma frequência; um alternador de 6 pólos e 500 RPM tem uma frequência de $6 \times 500 \div 120 = 25$ c.p.s.; e um alternador de 12 pólos, 4000 RPM tem uma frequência de $12 \times 4000 \div 120 = 400$ c.p.s.

Regulagem de voltagem dos alternadores

O problema da regulagem de voltagem no sistema CA não difere, basicamente, do sistema CC. Em cada caso a função do sistema regulador é controlar a voltagem, manter o equilíbrio da corrente que circula em todo o sistema, e eliminar as variações repentinas na voltagem (antioscilante) quando uma carga for aplicada ao sistema. Entretanto, há uma importante diferença entre o sistema regulador de geradores CC e alternadores, operados numa configuração paralela.

A carga suportada por qualquer gerador CC em um sistema de 2 ou 4 geradores, depende da sua voltagem quando comparada com a voltagem da barra, enquanto que, a divisão da carga entre os alternadores depende dos ajustes de seus reguladores de velocidade, os quais são controlados pela frequência.

Quando os geradores CA são operados em paralelo, a frequência e a voltagem devem ser iguais. Enquanto uma força de sincronização é necessária para equalizar somente a voltagem entre os geradores CC, forças de sincronização são requeridas para equalizar tanto a voltagem como a velocidade (frequência) entre os geradores CA.

Comparando-se, as forças de sincronização nos geradores CA são maiores do que nos geradores CC.

Quando os geradores CA são de tamanho considerável, e estão operando em frequência e voltagens de saída diferentes, sérios danos podem resultar se eles forem ligados entre si através de uma barra comum.

Para impedir que isto aconteça, os geradores devem ser sincronizados tão próximos quanto possível antes de serem colocados em paralelo.

A voltagem de saída de um alternador é melhor controlada pela regulagem da voltagem de saída do excitador CC, que fornece corrente ao campo do rotor do alternador. Isto é realizado, como mostra a figura 9-41, por um regulador de pilha de carvão de um sistema de 28 volts ligado ao circuito de campo do excitador.

O regulador de pilha de carvão controla a corrente de campo do excitador e, assim, regula a voltagem de saída do excitador aplicada ao campo do alternador.

A única diferença entre o sistema CC e o sistema CA é que a bobina de voltagem recebe sua voltagem da linha do alternador ao invés do gerador CC.

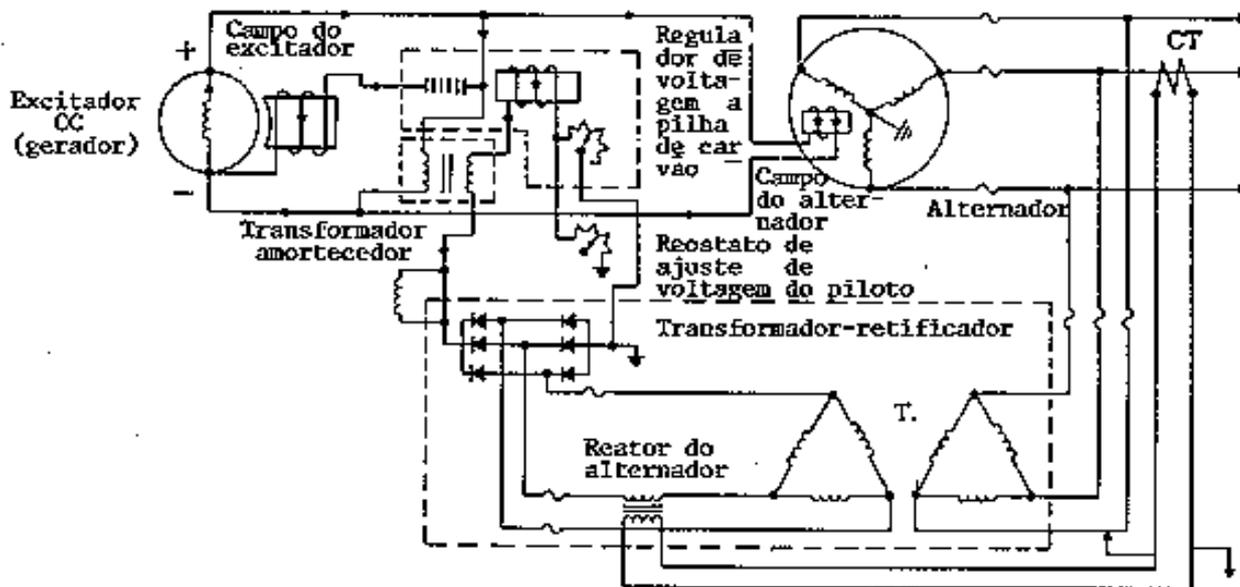


Figura 9-41 Regulador à pilha de carvão para alternador.

Nesta ligação, um transformador trifásico redutor de voltagem, ligado à voltagem do alternador, fornece força para um retificador trifásico de onda completa. A saída CC de 28 volts do retificador é então aplicada à bobina de voltagem do regulador de pilha de carvão.

As variações na voltagem do alternador são transferidas por meio de uma unidade transformadora-retificadora para a linha de voltagem do regulador, e a pressão dos discos de carvão varia. Isto controla a corrente de campo do excitador e a voltagem de saída do excitador. O transformador antioscilante, ou amortecedor de voltagem do excitador é similar aos dos sistemas CC e realiza a mesma função.

O circuito de equalização do alternador é igual ao circuito do sistema CC no qual o regulador é afetado, quando a corrente circulante, fornecida por um dos alternadores, for diferente da fornecida pelos outros.

Reguladores transistorizados de alternador

Muitos sistemas de alternadores de aeronave usam um regulador de voltagem transistorizado para controlar a saída do alternador.

Antes de estudar este capítulo, será útil fazer uma revisão dos princípios dos transistores.

Um regulador de voltagem transistorizado (figura 9-42) consiste principalmente em transistores, diodos, resistores, capacitores e um termistor. Em operação, a corrente flui através de um diodo e um transistor para o campo do gerador.

Quando o nível de voltagem adequado for atingido, os componentes de regulagem fazem com que o transistor entre em corte para controlar a intensidade do campo do gerador.

A margem de operação do regulador é geralmente ajustável numa faixa estreita. O termistor fornece uma compensação de temperatura para o circuito. O regulador de voltagem transistorizado mostrado na figura 9-42 será mencionado após, na explicação sobre a operação desse tipo de regulador.

A saída do gerador CA é fornecida ao regulador de voltagem, onde é comparada com uma voltagem de referência, e a diferença é aplicada à seção amplificadora de controle do regulador. Se a saída for muito baixa, a intensidade do campo do gerador CA do excitador será aumentada pelo circuito do regulador. Se a saída for muito alta, a intensidade do campo será reduzida.

O suprimento de força para o circuito em ponte é CR1, o qual fornece retificação de onda completa da saída trifásica do transformador T1.

As voltagens de saída CC de CR1 são proporcionais à média das voltagens de fase. A energia é fornecida do terminal negativo da fonte de alimentação através do ponto "B", R2, ponto "C", diodo zener (CR5), ponto "D", e para a ligação paralela V1 e R1.

A saída do ponto "C" da ponte está localizada entre o resistor R2 e o diodo zener. Na outra perna da ponte de referência, os resistores R9, R7 e o resistor compensador de temperatura RT1 são ligados em série com V1 e R1 através dos pontos "B", "A" e "D".

A saída desta perna da ponte é no cursor do potenciômetro R7.

Quando ocorrem variações na voltagem do gerador, por exemplo, se a voltagem diminuir, a voltagem através de R1 e V1 (uma vez que V2 começa a conduzir) permanecerá constante.

A variação total da voltagem ocorrerá através do circuito em ponte.

Visto que a voltagem através do diodo zener permanece constante (uma vez que ele começa a conduzir), a mudança total da voltagem que ocorrer naquela perna da ponte será através do resistor R2.

Na outra perna da ponte, a variação da voltagem através dos resistores será proporcional aos valores de sua resistência.

Portanto, a variação da voltagem através de R2 será maior do que a variação da voltagem através de R9 para o cursor de R7. Se a voltagem de saída do gerador diminuir, o ponto "C" será negativo em relação ao cursor de R7.

Por outro lado, se a saída de voltagem aumentar, a polaridade na voltagem entre os dois pontos será invertida.

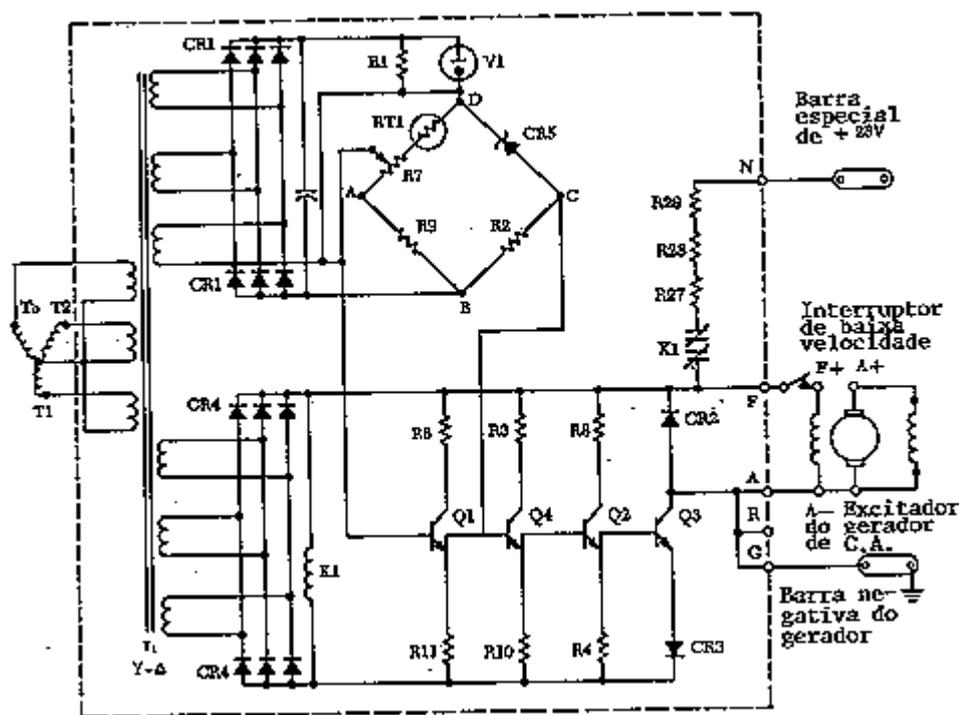


Figura 9-42 Regulador de voltagem transistorizado.

A saída da ponte, entre os pontos "C" e "A", é ligada entre o emissor e a base do transistor Q1.

Com a voltagem de saída do gerador baixa, a voltagem da ponte será negativa para o emissor e positiva para a base. Isto é um sinal de polarização direta para o transistor, e a corrente do emissor para o coletor, portanto aumentará.

Com o aumento da corrente, a voltagem através do resistor do emissor R11 aumentará. Isto, por sua vez, aplicará um sinal positivo para

a base do transistor Q4, aumentando sua corrente do emissor para o coletor, e aumentando a queda de voltagem através do resistor do emissor R10.

Isto oferecerá uma polarização positiva para a base de Q2, a qual aumentará sua corrente do emissor para o coletor, e aumentará a queda de voltagem através do resistor R4 de seu emissor. Este sinal positivo controlará o transistor de saída Q3. O sinal positivo na base de Q3 aumentará a corrente do emissor para o coletor.

O campo de controle do excitador está no circuito coletor. Aumentando a saída do gerador do excitador aumenta a intensidade do campo do gerador CA, o que aumentará a saída do gerador.

Para evitar a excitação do gerador quando a frequência estiver com um valor baixo, há um interruptor de baixa velocidade localizado próximo do terminal F+. Quando o gerador atingir uma frequência de operação adequada, o interruptor fechará, e permitirá que o gerador seja excitado.

Um outro item interessante é a linha contendo os resistores R27, R28 e R29, em série com os contatos de relé K1 normalmente fechados. A bobina de operação deste relé é encontrada na parte esquerda inferior do esquema.

O relé K1 é ligado em paralelo com a fonte de alimentação (CR4) para o amplificador transistorizado. Durante a partida do gerador, a energia elétrica é fornecida pela barra de 28 volts CC para o campo gerador do excitador, para a excitação inicial do campo.

Quando o campo do gerador excitador está energizado, o gerador CA começa a produzir voltagem e, à medida que ela aumenta, o relé K1 é energizado, abrindo o circuito de excitação do campo.

Regulador com amplificador magnético

Devido à ausência de partes móveis, este tipo de regulador é conhecido como regulador estático de voltagem.

Alguns reguladores estáticos usam válvulas eletrônicas ou transistores como amplificadores para atingir um alto ganho de energia, mas alguns reguladores estáticos utilizam um amplificador magnético.

O regulador de voltagem do tipo amplificador magnético é mais pesado, e maior do que o regulador de pilha de carvão da mesma capacidade.

Devido à ausência de partes móveis, os reguladores deste tipo não usam amortecedores de choque ou vibração.

Este tipo de regulador consiste em um circuito de voltagem de referência, um amplificador magnético de dois estágios e o transformador de força e retificador associados.

O circuito de referência consiste em um retificador trifásico, um potenciômetro (P1), e um circuito em ponte constituído de dois resis-

tores fixos e duas válvulas reguladoras de tensão. Estas unidades são mostradas na figura 9-43.

O potenciômetro P1 é ajustado, de modo que, numa voltagem específica de barra, haja uma diferença de potencial zero entre os pontos "A" e "B" no circuito em ponte. Para qualquer outra voltagem de entrada, a queda de voltagem através das válvulas reguladoras faz com que haja um potencial entre os pontos "A" e "B".

Por exemplo, se a voltagem do gerador for baixa, o fluxo de corrente através dos lados da ponte será reduzido.

A voltagem através de R4 será menor do que a voltagem fixa através de V1; consequentemente, o ponto "B" estará num potencial maior que o ponto "A".

Isto fornece um sinal de erro usado como entrada para o primeiro estágio do amplificador magnético. Para altas voltagens de entrada a polaridade do sinal será invertida.

A segunda unidade no sistema é o amplificador magnético.

O circuito para o primeiro estágio de um regulador de voltagem típico com amplificador magnético é mostrado na figura 9-46. Esta unidade consiste em dois reatores, transformadores de alimentação, retificadores e os seguintes enrolamentos: de referência, polarização CC, circuito de amortecimento, circuito da carga e circuito de realimentação.

O enrolamento de polarização CC fixa o nível de operação dos reatores, e é ajustado pelos potenciômetros P5 e P6.

O potenciômetro P6 regula a intensidade da voltagem de polarização, e o P5 regula a magnitude da corrente de polarização em cada reator, para compensar pequenas diferenças nos dois núcleos e retificadores associados.

Se a voltagem de polarização for adequadamente ajustada, e se existir uma entrada de sinal de erro no valor "zero", a voltagem desenvolvida em R5 e R6 será igual e a saída será zero.

O circuito de amortecimento é ligado ao circuito, e é usado como enrolamento de estabilização.

Sua fonte de energia é o enrolamento de amortecimento do gerador, que é energizado através da ação de um transformador pela variação da corrente de excitação do gerador e é, portanto, proporcional à razão de variação da excitação.

Esta corrente é usada como sinal de realimentação no primeiro estágio do amplificador magnético, porque sua polaridade sempre se

opõe à entrada de um sinal de erro. A intensidade da corrente de realimentação do amortecedor é ajustada com o potenciômetro P4.

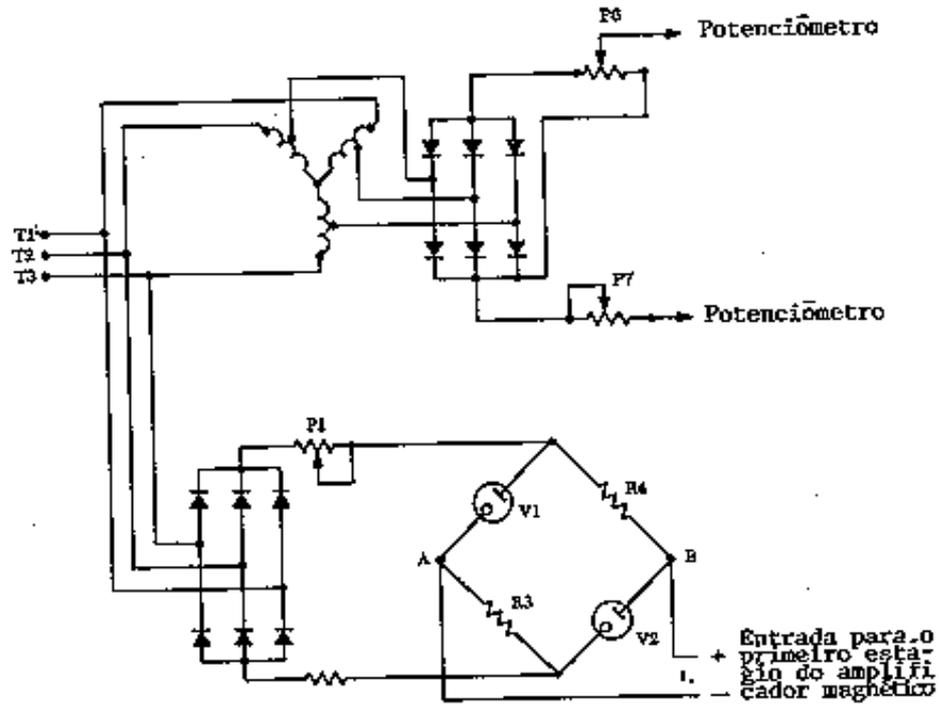


Figura 9-43 Circuitos de voltagem de referência de um regulador de voltagem típico com amplificador magnético.

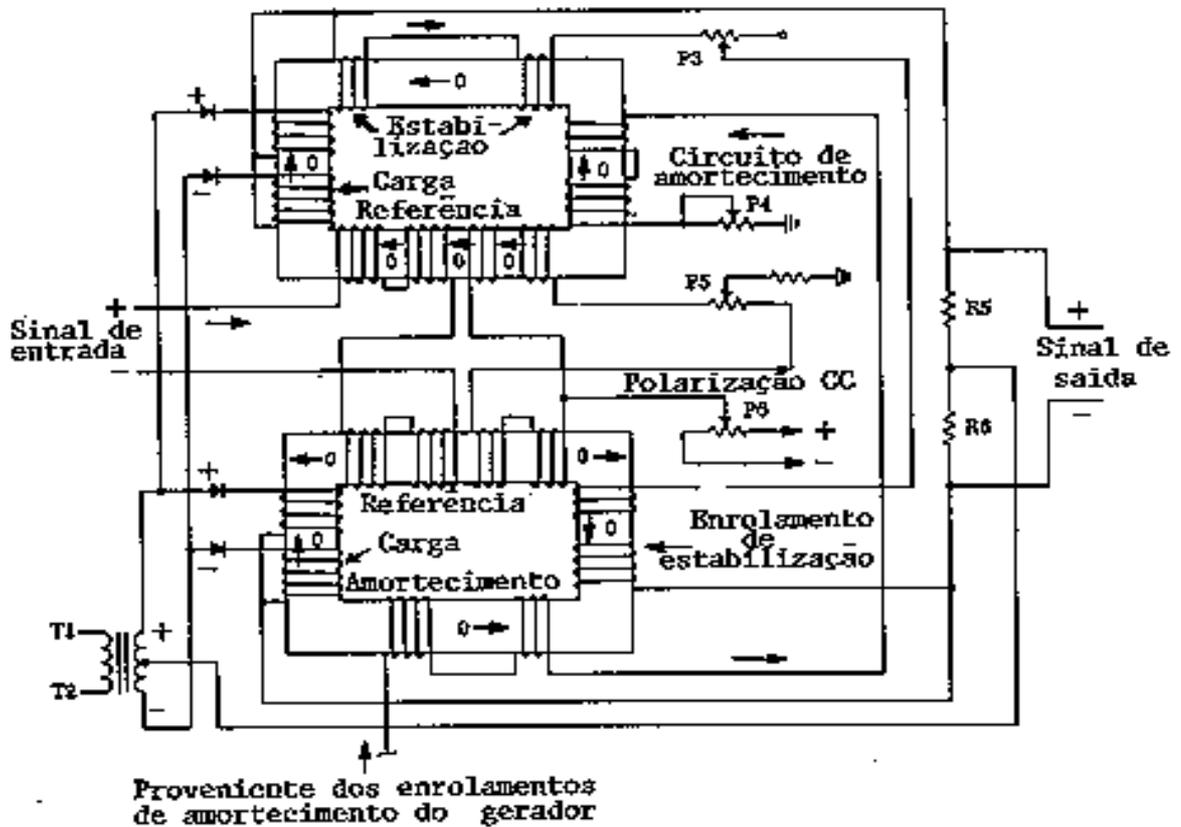


Figura 9-44 Primeiro estágio de um regulador de voltagem típico com amplificador magnético.

Suas funções são estabelecer o tempo de recuperação do regulador e manter uma operação estável. O potenciômetro deve ser ajustado para prover rápida recuperação da voltagem durante a operação estável, sob condições de carga normal.

A seguir, o enrolamento de realimentação recebe uma voltagem que é proporcional à voltagem de saída: isto proporciona estabilidade durante as condições de carga constante. Uma olhada no circuito revelará que o enrolamento da carga recebe a sua energia pelos terminais T1 e T2 do transformador-retificador.

O fluxo de corrente através destes enrolamentos e dos resistores de carga R5 e R6 é regulado pelo grau de magnetização dos núcleos do reator, estabilizado pelo fluxo de corrente nos diversos enrolamentos de controle.

A figura 9-44 também mostra que, quando o sinal de entrada for diferente de zero, as correntes através de R5 e R6 serão diferentes. As correntes diferentes nestes resistores fornecem uma diferença de potencial, que é o sinal de

saída para este estágio, cuja polaridade depende da polaridade da entrada do sinal de erro.

Todas as unidades do regulador foram apresentadas, exceto o estágio de saída, o qual é denominado como segundo estágio do regulador. Este é um amplificador magnético trifásico, de onda completa, como mostra a figura 9-45.

A saída do primeiro estágio, que acabamos de apresentar, é aplicada ao enrolamento de controle do segundo estágio. A saída deste estágio é a voltagem do excitador-regulador do campo do gerador. A intensidade desta voltagem é estabilizada pela intensidade e polaridade do sinal de entrada, pela corrente polarizada que é ajustada por P7, e também pela corrente de realimentação que é proporcional à saída.

Este tipo de regulador tem uma vantagem nítida sobre os outros tipos, visto que ele funcionará com uma variação de voltagem muito pequena.

Devido às características de operação deste tipo de regulador, as variações na voltagem de saída serão da ordem de 1%.

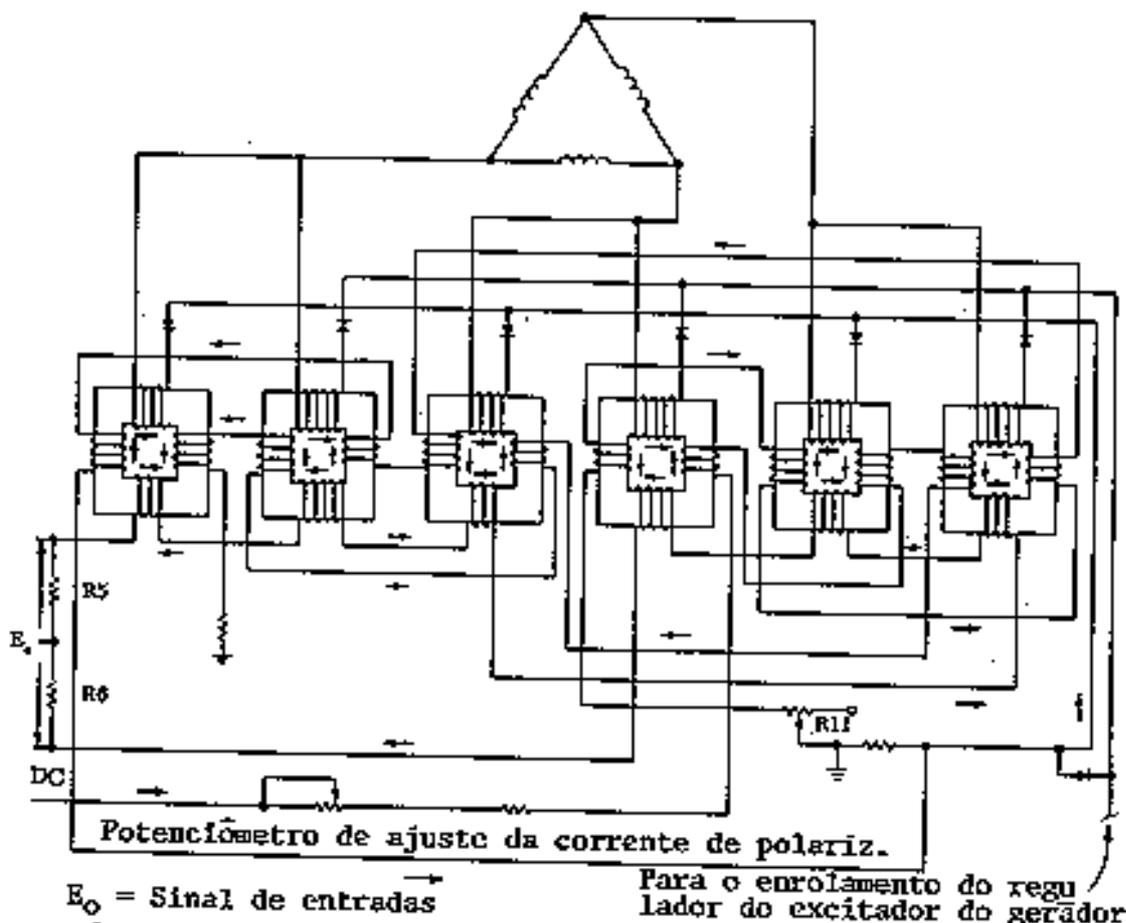


Figura 9-45 Segundo estágio de um regulador de voltagem com amplificador magnético.

Foram apresentados os diversos ajustes na unidade, com exceção daqueles em P1. Os ajustes em P1 são realizados somente na bancada, quando o regulador estiver sendo calibrado. O potenciômetro P1 está localizado na face frontal central do regulador adjacente às tomadas do voltímetro. O potenciômetro pode ser ajustado, enquanto o regulador estiver instalado na aeronave, para ajustar a voltagem da barra no valor desejado.

O regulador de voltagem divide-se em três partes principais: o detector de erro de voltagem, o pré-amplificador e o amplificador de potência. Estas três unidades operam em conjunto num circuito fechado com o enrolamento do regulador-excitador, para manter a voltagem quase constante nos terminais de saída do gerador.

A função do detector de erro é detectar a voltagem gerada, compará-la com o padrão estabelecido e enviar o erro ao pré-amplificador. O detector constitui-se de um retificador trifásico, um resistor variável para ajuste de voltagem e uma ponte, que consiste em duas válvulas referenciais de voltagem e dois resistores.

Em operação, se a voltagem do gerador estiver acima ou abaixo do seu valor normal, uma corrente fluirá num ou noutro sentido, dependendo da polaridade desenvolvida no circuito em ponte.

O pré-amplificador recebe um sinal de erro do detector de erro de voltagem. Com a utilização dos amplificadores magnéticos, ele eleva o sinal a um nível suficiente, a fim de acionar o amplificador de potência para saída máxima, com a finalidade de obter uma excitação adequada.

O amplificador de potência fornece um sinal para o enrolamento regulador do excitador; sua intensidade depende do sinal do pré-amplificador. Isto aumentará ou reduzirá a voltagem do enrolamento do regulador excitador que, por seu turno, aumentará ou reduzirá a voltagem de saída do gerador.

Transmissão de velocidade constante (CSD) do alternador

Os alternadores nem sempre são ligados diretamente ao motor do avião como os geradores CC. Visto que diversos aparelhos elétricos que operam com corrente alternada fornecida pelos alternadores são projetados para operar

numa certa voltagem e numa frequência específica, a velocidade dos alternadores deve ser constante; entretanto, a velocidade de um motor de avião varia.

Portanto, alguns alternadores são acionados pelo motor através de uma transmissão de velocidade constante (CSD), instalada entre o motor e o alternador.

A descrição a seguir é a de uma transmissão de velocidade constante (CSD = CONSTANT SPEED DRIVE) usada nos aviões BOEING 727. Os CSD's usados nos outros aviões podem ser diferentes, porém o princípio básico de funcionamento é o mesmo.

Cada alternador é suportado e acionado à velocidade constante, através de uma transmissão de relação variável (CSD), acoplada ao motor do avião por meio de um dispositivo de rápida remoção/instalação que substitui os estojos de fixação (ver a figura 9-46).

O alternador é fixado ao CSD através de 12 estojos.

Para remover o alternador, basta soltar suas porcas de fixação. A figura 9-46 mostra uma instalação típica de alternador e sua transmissão.

Cada transmissão (CSD) consiste essencialmente em duas unidades hidráulicas, tipo pistão de deslocamento axial, de cilindrada positiva, e um diferencial mecânico que efetua a função somatória de velocidades.

As unidades hidráulicas apresentam as mesmas dimensões físicas, tendo uma delas uma placa de controle com inclinação variável, e a outra possui uma placa de controle com inclinação fixa e, conseqüentemente, apresenta cilindrada fixa.

As unidades hidráulicas giram independentemente e são montadas de encontro às faces opostas de uma placa fixa comum, que as interliga através de orifícios (ver a figura 9-47).

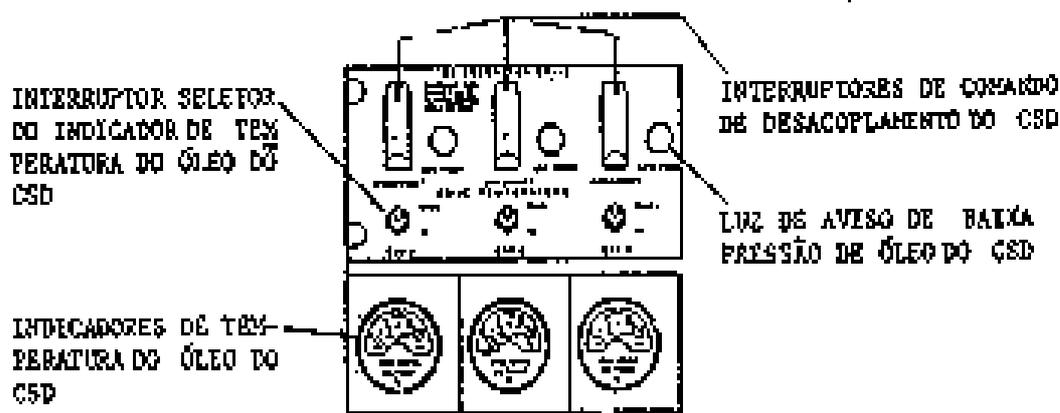
A unidade hidráulica de cilindrada variável gira numa razão fixa em relação à velocidade de entrada da transmissão.

Como o ângulo de sua placa de controle é continuamente variável nos dois sentidos (do ângulo máximo positivo a zero e de zero ao ângulo máximo negativo), sua cilindrada é continuamente variável de zero ao máximo nos dois sentidos.

A unidade hidráulica de cilindrada fixa é acionada pelo óleo descarregado pela unidade de cilindrada variável.

Conseqüentemente, a unidade de cilindrada fixa girará em qualquer velocidade, desde zero ao valor máximo em qualquer sentido. A

pressão de trabalho entre as duas unidades hidráulicas é proporcional ao torque transmitido ao alternador.



CANTO SUPERIOR ESQUERDO DO PAINEL SUPERIOR DO MECÂNICO DE VÔO



CANTO INFERIOR DIREITO DO PAINEL INFERIOR DO MECÂNICO DE VÔO

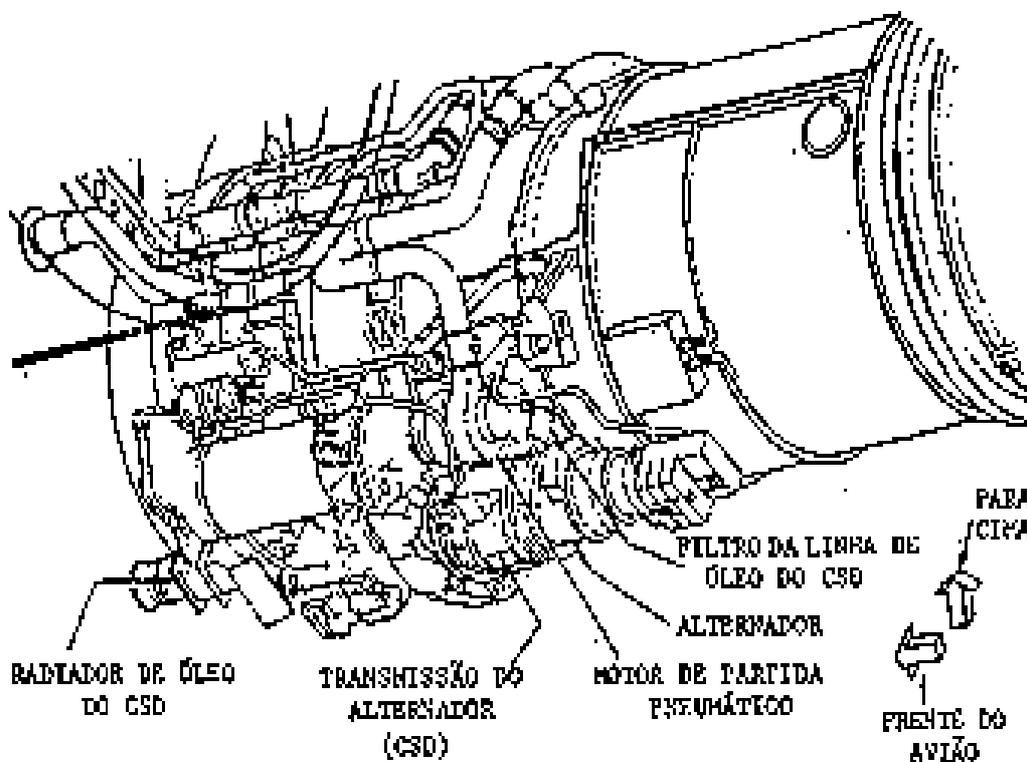
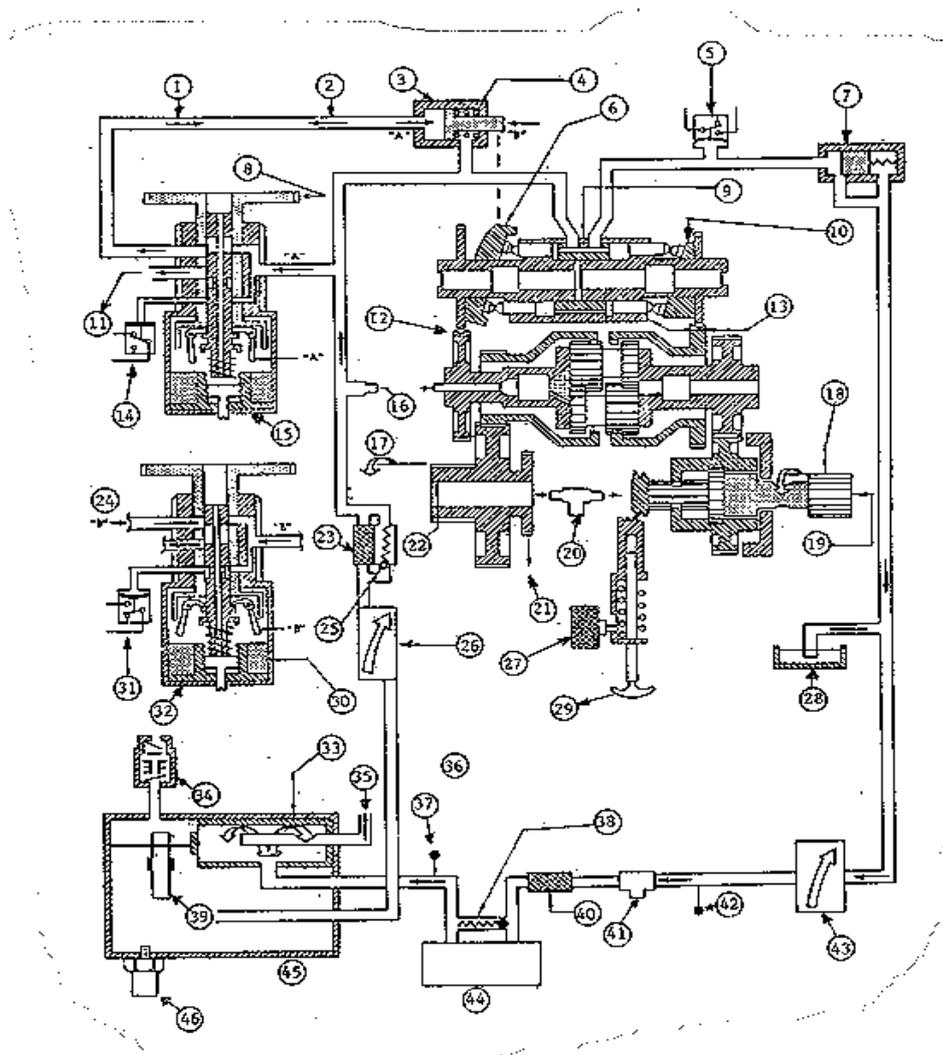


Figura 9-46 Localização do equipamento da transmissão do alternador (CSD) no motor e na cabine de comando.



- | | |
|---|--|
| 1) CONDIÇÃO "A" | 23) FILTRO DA LINHA DE CARGA |
| 2) CONDIÇÃO "B" | 24) PARA DRENO |
| 3) CILINDRO DE CONTROLE | 25) VÁLVULA DE DERIVAÇÃO |
| 4) MOLA | 26) BOMBA DE CARGA |
| 5) INTERRUPTOR DA LUZ DE AVISO DE PRESSÃO DE CARGA | 27) BOBINA DE DESACOPLEMENTO |
| 6) UNIDADE HIDRÁULICA DE CILINDRADA VARIÁVEL | 28) DECANTADOR |
| 7) VÁLVULA DE SEGURANÇA | 29) MANETE DE REARME DO ACOPLAMENTO DO CSD |
| 8) ACIONAMENTO PELO EIXO DE SAÍDA | 30) BOBINA ELETROMAGNÉTICA |
| 9) PLACA ESTACIONÁRIA | 31) INTERRUPTOR DE VELOCIDADE ABAIXO DA NORMAL |
| 10) UNIDADE HIDRÁULICA DE CILINDRADA FIXA | 32) VISTA 2 - GOVERNADOR |
| 11) PARA DRENO (SOMENTE ÓLEO DE LUBRIFICAÇÃO) | 33) CÂMARA DE REVIRAMENTO |
| 12) DIFERENCIAL MECÂNICO | 34) VÁLVULA DE RESPIRO E SEGURANÇA DE VÁCUO |
| 13) BLOCO DE PISTÕES | 35) AR |
| 14) INTERRUPTOR DE VELOCIDADE ABAIXO DA NORMAL (DESARME DO DISJUNTOR DO ALTERNADOR) | 36) CONDIÇÕES DE CONTROLE |
| 15) VISTA 1 - GOVERNADOR | 37) BULBO DE TEMPERATURA |
| 16) LINHA DE ÓLEO PARA LUBRIFICAÇÃO | 38) VÁLVULA DE DERIVAÇÃO COM TERMOSTATO |
| 17) EIXO DE SAÍDA | 39) INDICADOR VISUAL DE NÍVEL |
| 18) ESTRIAS LUBRIFICADAS COM ÓLEO | 40) FILTRO DA LINHA DE RECUPERAÇÃO |
| 19) EIXO DE ENTRADA | 41) ORIFÍCIO DE ABASTECIMENTO |
| 20) LINHA DE LUBRIFICAÇÃO DOS EIXOS | 42) BULBO DE TEMPERATURA (SAÍDA) |
| 21) ACIONAMENTO DAS BOMBAS E DO GOVERNADOR | 43) BOMBA DE RECUPERAÇÃO |
| 22) ESTRIAS LUBRIFICADAS COM GRAXA | 44) RADIADOR DE ÓLEO |
| | 45) RESERVATÓRIO |
| | 46) INTERRUPTOR TÉRMICO |

Figura 9-47 Diagrama esquemático da transmissão do alternador.

Com baixa velocidade de entrada, a unidade de cilindrada variável atua como bomba hidráulica para fornecer fluxo à unidade de cilindrada fixa, que atua como motor, cuja velocidade é somada à velocidade de entrada através do diferencial.

Em velocidade de transmissão direta, o torque é transmitido diretamente através do diferencial mecânico, e a unidade de cilindrada fixa não gira. A placa de controle da unidade de cilindrada variável ficará ligeiramente afastada do ângulo zero, a fim compensar perdas por vazamento.

Com velocidades acima da de transmissão direta, a placa de controle da unidade de cilindrada variável é ajustada para proporcionar cilindrada negativa. Neste caso, a pressão de trabalho é manobrada, de modo a permitir que a unidade de cilindrada fixa seja acionada pelo diferencial, e assim sua velocidade subtrai-se à velocidade de entrada.

A unidade de cilindrada variável atua, então, como motor. Nesse tipo de transmissão, as unidades hidráulicas manobram apenas uma parte da potência transmitida e, portanto, seu tamanho é reduzido. Como as perdas de potência nos diferenciais mecânicos são menores que nas unidades hidráulicas, a absorção de calor é baixa, o que resulta em eficiência elevada.

Diferencial mecânico e unidades hidráulicas

O diferencial é do tipo de engrenagens planetárias no centro, e engrenagens anulares de entrada e saída (coroas) nas extremidades, completando o conjunto.

As engrenagens planetárias giram em torno de seus próprios eixos, e também ao redor da linha de centro do seu suporte.

O suporte das engrenagens planetárias é acionado pela engrenagem de entrada da transmissão, assim como a unidade hidráulica de cilindrada variável.

A unidade hidráulica de cilindrada fixa é acoplada hidráulicamente à unidade de cilindrada variável e é conectada ao diferencial mecânico através da coroa de entrada. A coroa de saída do diferencial é acoplada à engrenagem de saída da transmissão. A velocidade constante da coroa de saída é mantida, acrescentando-se ou subtraindo-se velocidade às engrenagens planetárias,

mediante o controle da velocidade e do sentido de rotação da coroa de entrada da transmissão.

O governador e as bombas são acionados pelo trem de velocidade constante. As figuras 9-48 e 9-49 mostram esquematicamente o trem de engrenagens epicíclicas, e a relação entre o diferencial e o restante do conjunto de força.

Diferencial mecânico

O diferencial consiste em: um eixo portador, duas engrenagens planetárias e duas coroas (uma de entrada e outra de saída). A razão de velocidade entre as coroas e o eixo portador é de 2:1. Em qualquer condição de rotação e carga, uma carga de torque é aplicada à coroa de saída pela engrenagem de saída da transmissão. O torque de entrada é fornecido pela engrenagem de entrada, fazendo girar o eixo portador. Ver figuras 9-48 e 9-49.

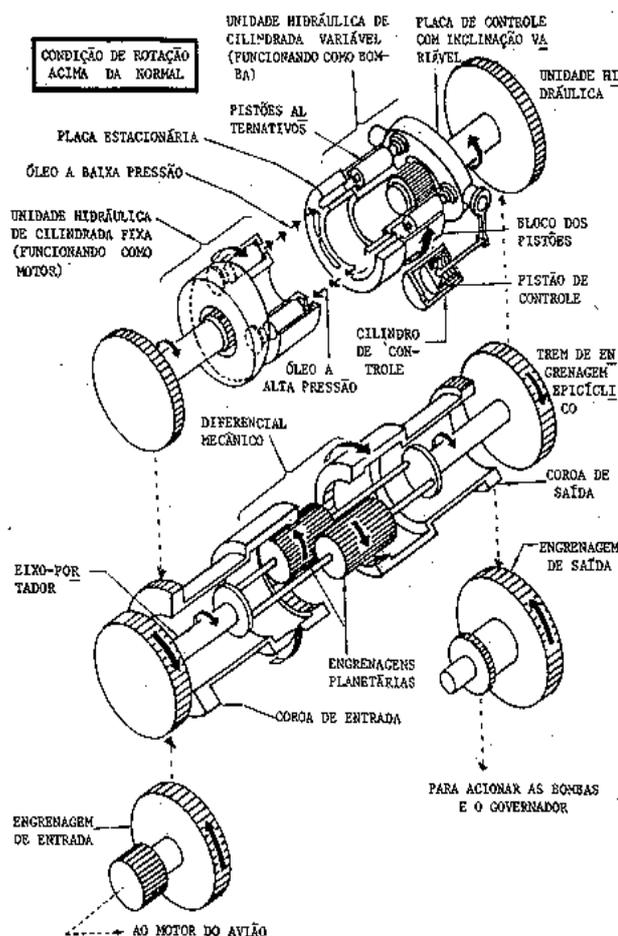


Figura 9-48 Diagrama esquemático das unidades hidráulicas e do diferencial mecânico da transmissão do alternador (CSD).

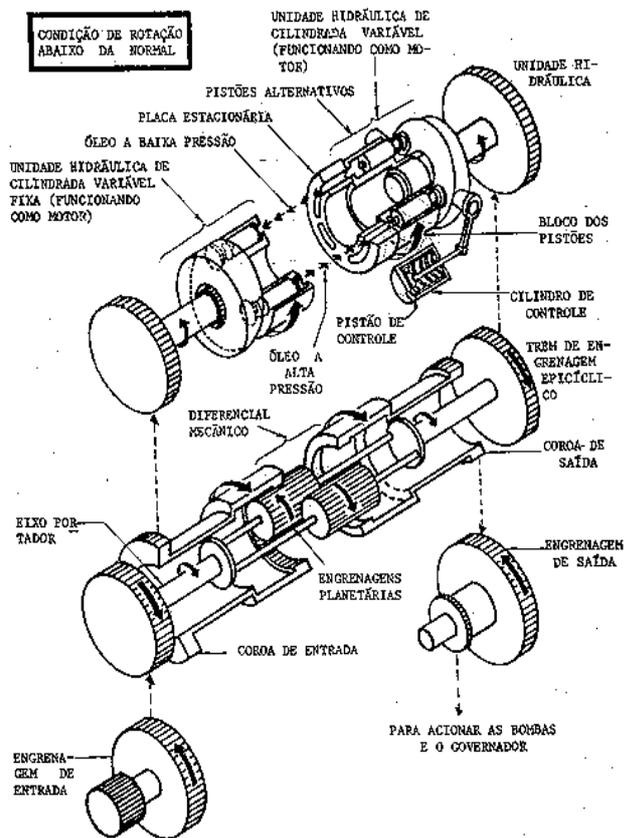


Figura 9-49 Diagrama esquemático das unidades hidráulicas e do diferencial mecânico da transmissão do alternador (CSD).

Se não houvesse aplicação de torque sobre a coroa de entrada, ela giraria livremente, deixando parada a coroa de saída. Como a relação de velocidade do eixo-portador para a coroa é de 2:1, a velocidade da coroa de entrada, nesta condição, seria o dobro da do eixo-portador. Como é desejada uma dada velocidade de saída, a coroa de entrada deverá ter sua velocidade controlada.

Se a coroa de entrada tiver sua velocidade reduzida a zero, a coroa de saída girará com o dobro da rotação do eixo-portador. Se a coroa de entrada for obrigada a girar no sentido oposto ao do eixo-portador, a coroa de saída girará com velocidade superior ao dobro da do eixo-portador.

Se a coroa de entrada for impelida a girar no mesmo sentido do eixo-portador, a coroa de saída girará com velocidade inferior ao dobro da do eixo-portador.

Desse modo, o diferencial constitui um dispositivo somatório, controlado através da coroa de entrada, para somar ou subtrair à velo-

cidade da caixa de transmissão do motor, a fim de se obter a velocidade desejada de saída.

Unidade hidráulica de cilindrada variável

A unidade hidráulica de cilindrada variável consiste em um tambor, pistões alternativos, uma placa de controle de inclinação variável, um cilindro e um pistão de controle.

A unidade está acoplada diretamente ao motor do avião; conseqüentemente, a velocidade de rotação do bloco dos pistões é sempre proporcional à velocidade de entrada, e o sentido de rotação é sempre o mesmo.

Quando a transmissão estiver operando na condição de rotação acima do normal, a unidade hidráulica funcionará como bomba hidráulica (ver figura 9-48).

Para que isso se realize, o governador dirige óleo ao pistão de controle, que posiciona a placa, de modo que a unidade possa comprimir óleo sob alta pressão (pressão de trabalho) é dirigido para a unidade hidráulica de cilindrada fixa.

À medida que a velocidade de entrada aumenta e a necessidade de aceleração diminui, o governador dirigirá menor quantidade de óleo para o cilindro de controle, até que a placa de controle fique em posição aproximadamente perpendicular em relação aos pistões.

Quando isso acontecer, nenhum óleo será bombeado ou recebido pela unidade de cilindrada variável (exceto o necessário para compensar perdas devido a vazamento). Nessa condição, a transmissão estará operando em acionamento direto.

Quando a transmissão estiver operando em condições de rotação abaixo da normal, a unidade de cilindrada variável funcionará como motor.

Para isso, o governador retira óleo do cilindro de controle, posicionando a placa de controle, de modo a acomodar maior volume de óleo no lado de alta pressão do alojamento dos pistões; em consequência, o óleo flui da unidade de cilindrada fixa para a de cilindrada variável.

Unidade hidráulica de cilindrada fixa

A unidade hidráulica de cilindrada fixa consiste em um tambor, pistões alternativos e uma placa de controle de inclinação fixa.

O sentido de rotação e a velocidade de rotação da unidade de cilindrada fixa são determinados pelo volume de óleo bombeado, ou recebido pela unidade de cilindrada variável. Este volume de óleo é determinado pela posição angular da placa de controle e pela velocidade de rotação do bloco de pistões. Ver o item anterior “Unidade hidráulica de cilindrada variável”.

Quando a transmissão está operando em rotação acima do normal, a unidade de cilindrada fixa funciona como motor hidráulico. O óleo sob alta pressão bombeado pela unidade de cilindrada variável atua sobre os pistões da unidade de cilindrada fixa, fazendo girar o bloco.

A rotação do bloco força a coroa de entrada a girar no sentido oposto ao eixo-portador, e soma-se à velocidade da caixa de transmissão do motor através do diferencial, mantendo, constante a velocidade de saída. Ver o item anterior, “Diferencial mecânico”.

Na medida em que a velocidade de entrada aumenta, e a necessidade de somar velocidade à saída diminui, a unidade de cilindrada variável passa a bombear menos óleo para a unidade de cilindrada fixa, até que finalmente seu bloco de pistões pára de girar. Quando isto acontecer, a transmissão estará operando na condição “transmissão direta”.

Quando a transmissão estiver operando em rotação abaixo da normal, a unidade de cilindrada fixa funcionará como bomba. A placa de controle da unidade de cilindrada variável será posicionada, de modo que a unidade possa receber óleo da unidade de cilindrada fixa.

A unidade de cilindrada fixa passa a bombear óleo sob alta pressão para a de cilindrada variável, com seu bloco de pistões girando num sentido, que permita à coroa de entrada, girar no mesmo sentido do eixo-portador, e subtrair rotação da caixa de transmissão do motor, mantendo constante a velocidade de saída.

Sistema de controle de rotação

O governador é uma válvula de controle hidráulico, atuada por mola, e operada por contrapesos. Sua finalidade é controlar o envio do óleo de carga da transmissão para o cilindro de controle (ver figura 9-47).

A luva rotativa do governador é acionada pela engrenagem de saída, e por isso é sensível à velocidade de saída da transmissão. Os con-

trapesos pivotados nesta luva movimentam uma válvula localizada por dentro, carregada por tensão de mola. Durante a operação estabilizada, a pressão de alimentação é reduzida pela válvula do governador ao valor desejado de controle. Dependendo da posição do carretel da válvula, o óleo de carga é dirigido para o pistão de controle, ou o óleo de controle é drenado para a cabeça da CSD.

O governador básico possui um dispositivo magnético de regulação, destinado a aplicar os sinais de correção provenientes do controlador de carga. Este dispositivo consiste em contrapesos de ímã permanente, e um eletroímã localizado acima dos contrapesos. A passagem de corrente contínua, de valor controlado através da bobina do eletroímã, estabelece um campo magnético radial entre as peças polares anulares e concêntricas. O sentido do campo magnético é ditado pela polaridade da corrente contínua. Os contrapesos de ímã permanente têm seu eixo magnético orientado essencialmente em ângulos retos, com o campo magnético produzido pelo eletroímã. Os dois campos interseccionam-se produzindo um torque controlável em torno do eixo geométrico dos contrapesos.

Este torque produzido magneticamente associa-se ao torque centrífugo para aplicar uma reação sobre a haste da válvula. O regulador magnético permite introduzir sinais elétricos de correção à transmissão, sem peças adicionais, além das já existentes no governador (ver a figura 9-50).

Durante a operação normal, o governador recebe óleo sob pressão, que é dirigido pela válvula atuada pelos contrapesos a um interruptor de pressão, mantendo abertos seus contatos elétricos (ver a figura 9-47). A válvula permite ainda, que a pressão do óleo de carga vá atuar no cilindro de controle da placa da unidade de cilindrada variável.

Se a velocidade de saída da transmissão cair abaixo do limite prescrito, a tensão da mola torna-se maior que a força centrífuga dos contrapesos, deslocando a válvula no sentido de drenar óleo do interruptor de pressão, através da carcaça do governador, para o decantador. A redução de pressão sobre o interruptor permite completar o circuito elétrico, que desliga o disjuntor do alternador.

O governador efetua três funções, das quais duas são protetoras do sistema, e a terceira é de regulação normal.

A primeira ação protetora destina-se à condição de rotação abaixo da normal. Quando a rotação cai, a mola da válvula do governador coloca a luva da válvula na posição correspondente à velocidade abaixo da normal, e fecha os contatos do interruptor de pressão, o qual completa um circuito para o painel de controle do alternador. Ver figura 9-50.

Isso acarreta o desligamento do disjuntor do alternador. O interruptor de pressão também desliga o disjuntor do alternador no caso de corte normal do sistema.

A segunda função protege o sistema no caso de parada do governador, devido a falha mecânica entre este e o eixo de saída da transmissão. Essa função é efetuada pela mola de segurança, no caso de falha do mecanismo de acionamento do governador. Quando isso acontece, e o governador pára de girar, a mola de segurança empurra a luva da válvula contra um batente que, para o governador, corresponde à máxima posição de rotação abaixo do normal, proporcionando a reação desejada.

Sistema hidráulico

O sistema hidráulico consiste em bomba de carga, bomba de recuperação e válvula de segurança de carga.

A bomba de carga está localizada no circuito hidráulico entre o reservatório e a transmissão. A bomba de carga alimenta os blocos de pistões das unidades hidráulicas, o governador, o cilindro de controle e o sistema de lubrificação.

A bomba de recuperação está localizada no circuito hidráulico entre o decantador da transmissão e o radiador externo de óleo. A bomba de recuperação devolve ao reservatório, através do radiador, o óleo de lubrificação e o óleo proveniente de vazamentos internos.

A válvula de segurança regula a pressão de operação do sistema de carga (ver figura 9-47). A válvula executa essa função dosando a descarga do óleo do sistema de carga, para manter a pressão no valor pré-ajustado.

A bomba de carga retira óleo do reservatório e alimenta com volume constante a válvula de segurança, cujo pistão desloca-se para trás, forçado pela pressão do óleo, comprimindo a mola. Ocorre, então, a sangria de óleo para o sistema de recuperação, determinada pela pres-

ção da mola, contrariando a pressão de carga que atua sobre o pistão. O óleo sob pressão de carga alimenta o governador e a válvula de controle, e repõe o óleo na operação das unidades hidráulicas.

Reservatório e separador de ar

O reservatório executa as seguintes funções:

- (1) Remove o ar do sistema de óleo.
- (2) Proporciona alimentação de óleo isento de ar, para a transmissão numa extensa faixa de cargas de aceleração e atitudes do avião. O reservatório não possui partes móveis e executa suas funções automaticamente, utilizando a energia do óleo de recuperação da transmissão.

O óleo de recuperação bombeado através do radiador retorna ao reservatório da transmissão pela câmara de reviramento. Este óleo, fortemente emulsionado com ar, entra na câmara de reviramento em alta velocidade através de uma entrada tangencial, produzindo uma ação de reviramento que cria um turbilhamento no interior da câmara.

Como o ar aprisionado no óleo tem densidade inferior à do óleo, ele se desloca para o centro do turbilhamento e escapa para a carcaça. O óleo isento de ar, escorre pela parede da câmara de reviramento e entra no reservatório (ver figura 9-47).

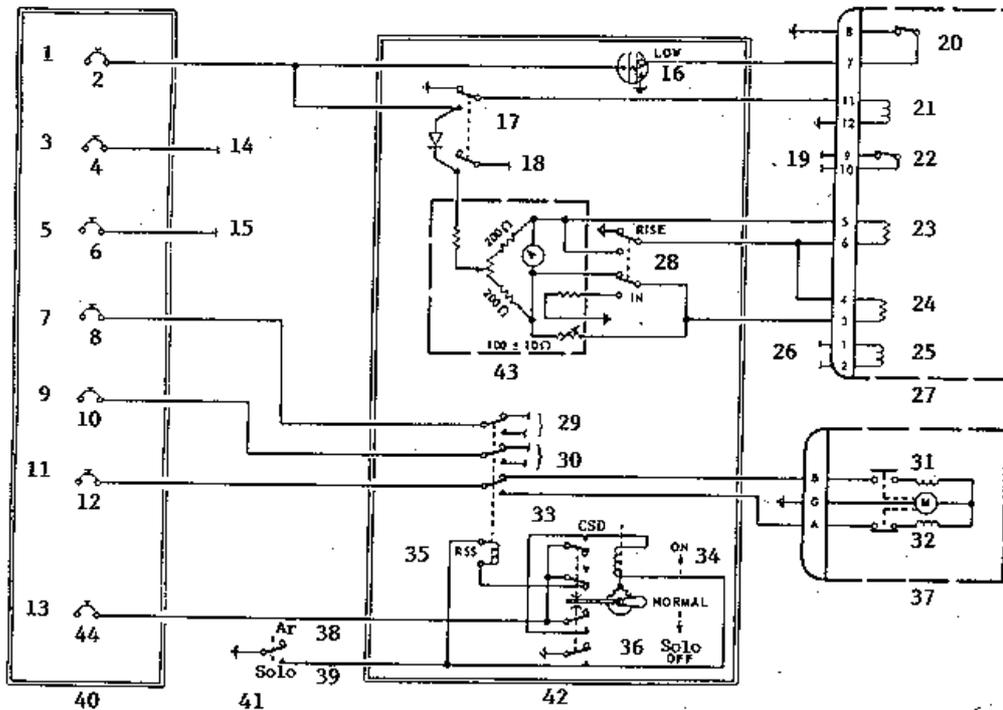
De acordo com a descrição acima, o óleo de retorno é sempre desaerado e conduzido ao reservatório, independentemente da atitude da transmissão. O orifício de sucção fica localizado aproximadamente no centro da altura do reservatório, e o volume de óleo armazenado é tal, que o orifício ficará sempre mergulhado no óleo, qualquer que seja a atitude da transmissão. Ver figura 9-47. A pressão estática no interior do reservatório é aproximadamente a mesma da carcaça.

Filtro da linha de carga e válvula de derivação

O filtro possui uma válvula de derivação que permite ao óleo fluir livremente, no caso do elemento filtrante ficar completamente entupido.

Possui também um indicador mecânico de entupimento. O indicador consiste em um ímã permanente, carregado por mola, que faz saltar um botão para fora da carcaça se ocorrer queda elevada de pressão através do filtro.

O dispositivo contém uma trava de baixa temperatura que impede a operação do indicador, no caso de ocorrer queda elevada de pressão produzida por óleo muito frio durante a partida do motor.



- | | |
|---|---|
| <p>1) BARRA Nº 1 DE 28 VOLTS CC
 2) DISJUNTOR DA LUZ DE AVISO E DO ALTERNADOR Nº 1
 3) BARRA Nº 2 DE 28 VOLTS CC
 4) DISJUNTOR DA LUZ DE AVISO E DO ALTERNADOR Nº 2
 5) BARRA Nº 1 DE 28 VOLTS CC
 6) DISJUNTOR DA LUZ DE AVISO E DO ALTERNADOR Nº 3
 7) BARRA Nº 3 DE 115 VOLTS CA
 8) DISJUNTOR DO CIRCUITO DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 3
 9) BARRA Nº 2 DE 115 VOLTS CA
 10) DISJUNTOR DO CIRCUITO DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 2
 11) BARRA Nº 1 DE 115 VOLTS CA
 12) DISJUNTOR DO CIRCUITO DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNATIVO Nº 1
 13) BARRA Nº 1 DE 28 VOLTS CC
 14) CIRCUITO DA LUZ DE AVISO E DO INTERRUPTOR DE DESACOPLAMENTO DO CSD DO ALTERNADOR Nº 2
 15) CIRCUITO DA LUZ DE AVISO E DO INTERRUPTOR DE DESACOPLAMENTO DO CSD DO ALTERNADOR Nº 3
 16) LUZ DE AVISO DE BAIXA PRESSÃO DE CARGA
 17) INTERRUPTOR DE DESACOPLAMENTO DO CSD
 18) PARA A BOBINA DE DESLIGAMENTO DO DISJUNTOR DO ALTERNADOR
 19) AO PAINEL DE CONTROLE DO ALTERNADOR
 20) INTERRUPTOR DA LUZ DE AVISO DE BAIXA PRESSÃO DE CARGA
 21) BOBINA DE DESACOPLAMENTO</p> | <p>22) INTERRUPTOR DE PRESSÃO (PROTEÇÃO DE ROTAÇÃO ANORMALMENTE BAIXA)
 23) SENSOR DE TEMPERATURA DO ÓLEO DE SAÍDA DO CSD
 24) SENSOR DE TEMPERATURA DO ÓLEO DE ENTRADA DO CSD
 25) BOBINA DO REGULADOR MAGNÉTICO DO GOVERNADOR
 26) AO CONTROLADOR DE CARGA
 27) TRANSMISSÃO (CSD)
 28) INTERRUPTOR DE DESACOPLAMENTO DO CSD (DUAS POSIÇÕES: RISE - DIFERENÇA DE TEMPERATURA, IN - TEMPERATURA DE ENTRADA)
 29) PARA A VÁLVULA DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 3
 30) PARA A VÁLVULA DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 2
 31) FECHAR
 32) ABRIR
 33) RADIADOR DE ÓLEO
 34) LIGADO EM VÔO
 35) RELÉ DA VÁLVULA DE FECHAMENTO DO RADIADOR
 36) DESLIGADO NO SOLO
 37) VÁLVULA DE FECHAMENTO DO RADIADOR DO ALTERNADOR Nº 1
 38) POSIÇÃO VÔO
 39) POSIÇÃO SOLO
 40) CENTRO PRINCIPAL DE FORÇA ELÉTRICA P6
 41) RELÉ DE SEGURANÇA R91 (PAINEL P5)
 42) PAINEL P4 DO MECÂNICO DE VÔO
 43) INDICADOR DE TEMPERATURA DO ÓLEO DO CSD</p> |
|---|---|

Figura 9-50 Circuitos elétricos da transmissão do alternador (CSD).

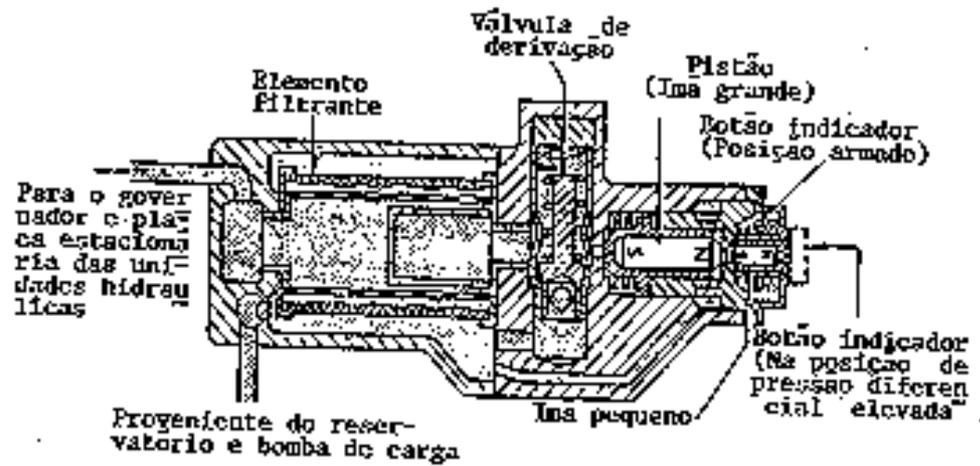


Figura 9-51 Diagrama esquemático do filtro de óleo da linha de carga e seu indicador de pressão diferencial.

Tanto o pistão de pressão diferencial, como o botão indicador, são carregados por mola no sentido do exterior da carcaça do filtro. Quando a queda de pressão através do filtro for baixa, a mola manterá imobilizado o pistão de pressão diferencial, e o ímã mantém o botão embutido na carcaça, contrariando a ação de sua mola. Uma oscilação súbita da pressão forçará o pistão para dentro, contrariando a mola, aumentando a folga de ar existente entre os dois ímãs.

Quando a folga tornar-se suficientemente grande, a força magnética não mais sobrepujará a mola do botão indicador, e este soltará. Com isso, a folga de ar ficará ainda maior e, mesmo que o pistão de pressão diferencial retorne à posição de pressão diferencial zero, o pistão conseguirá atrair de volta o botão. Esta característica é necessária porque o motor pode e, provavelmente, deve estar cortado quando o indicador for verificado visualmente.

Os dois ímãs permanentes estão instalados no mecanismo com seus pólos norte orientados para fora ou para dentro da carcaça do filtro. No caso de desmontagem do indicador, deve-se ter o cuidado de reinstalar os ímãs nesta mesma posição. Ver figura 9-51.

Quando a temperatura do óleo estiver abaixo de 80° F, uma trava de baixa temperatura impede a operação do indicador, independentemente da queda de pressão. Isso se torna necessário porque o óleo limpo, quando frio, acarreta queda de pressão elevada através do filtro, do que resultariam indicações falsas. A trava consiste em uma tira bimetálica que, quando fria, engata na sede da mola do botão indicador,

e impede seu movimento independentemente do movimento do pistão.

Mecanismo de desacoplamento da transmissão do alternador

O mecanismo de desacoplamento da transmissão do alternador é um dispositivo atuado eletricamente, que desacopla o eixo de entrada da transmissão no caso de mau funcionamento desta.

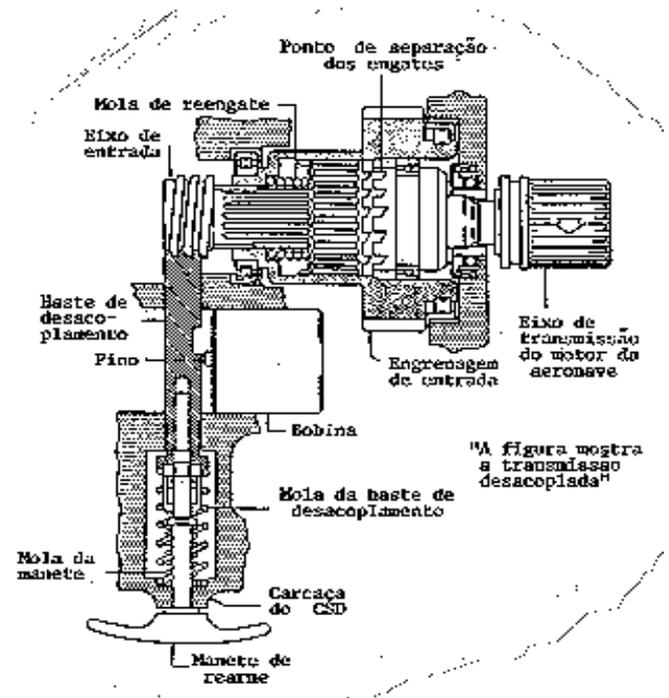


Figura 9-52 Mecanismo de desacoplamento da transmissão do alternador.

Quando a bobina de desacoplamento é energizada pelo comando do interruptor DISCONNECT, localizado no painel do mecânico de vô (ver figura 9-50), uma haste carregada por mola encaixa na rosca existente no eixo de entrada (ver figura 9-52).

O eixo de entrada atua como um parafuso num furo roscado; sua rotação movimentando no sentido de afastar-se, desacoplando-se do eixo de transmissão do motor.

Separados os engates, o eixo de transmissão do motor passa a girar livremente sem acionar a transmissão do alternador.

O reengate somente pode ser efetuado no solo, com o motor parado, puxando-se a alavanca de rearme até que o pino da bobina de desacoplamento encaixe no rebaixo da haste.

Refrigeração da transmissão do alternador

O calor produzido pela transmissão (CSD) do alternador é absorvida pelo fluido hidráulico contido na mesma, e dissipado num radiador localizado na parte inferior dianteira do motor. O óleo quente passa primeiro através de um filtro e depois segue para o radiador.

Em vô, o ar de refrigeração é captado por uma entrada existente na parte inferior da carenagem da capota do nariz do motor. No solo, com os motores funcionando em marcha-lenta, o ar é forçado a passar pelo radiador por meio de bombas de jato de ar de sangria dos motores. Se for necessário, um interruptor de emergência permite o uso das bombas de jato em vô (ver figura 9-50).

A elevação normal da temperatura do óleo ao passar pela transmissão é de cerca de 10° C com carga total em regime contínuo, com temperatura de entrada de aproximadamente 120° C nas velocidades normais de rotação. Na CSD o óleo serve como lubrificante, refrigerante e fluido hidráulico.

Na CSD, a temperatura do óleo é regulada por um conjunto radiador-válvula de derivação. A válvula de derivação contém elementos sensíveis a temperatura, pressão e canais de derivação para regular a temperatura mínima e a pressão máxima do óleo, que passa através da colméia do radiador. O radiador e a válvula proporcionam um fluxo de óleo de 66 libras por minuto com queda de pressão igual ou inferior a 25 lb/pol², e temperatura de 85° C. O fluxo

nominal de ar da colméia do radiador é de 40 libras por minuto.

A válvula fica completamente aberta quando a temperatura do óleo for igual ou inferior a 81° C, e totalmente fechada quando a temperatura for igual ou superior a 85° C. Com temperatura igual ou superior a 85° C, a válvula de segurança começa a abrir com pressão diferencial não inferior a 50 lb/pol², e ficará completamente aberta com pressão diferencial não superior a 100 lb/pol², entre a entrada e a saída da válvula. (O alojamento da válvula é construído de maneira a facilitar a remoção e a instalação do elemento sensível).

O sistema de indicação de temperatura mede e indica a diferença (delta T) entre a temperatura da entrada e da saída do óleo da CSD e, mediante o comando de um interruptor, a temperatura real do óleo de entrada.

O sistema de cada CSD compreende dois bulbos de temperatura, um indicador e um interruptor seletor. O sistema opera com corrente contínua de 28 volts (ver a figura 9-50) e normalmente está ligado para indicar a diferença entre a temperatura de entrada e a de saída do óleo. A temperatura de entrada do óleo somente pode ser lida no indicador quando se coloca na posição INLET o interruptor localizado no painel do mecânico de vô. O indicador possui duas escalas: uma indica elevação (diferença) de temperatura (RISE) e a outra a temperatura do óleo de entrada (IN). Ver a figura 9-46.

SINCRONISMO DOS ALTERNADORES

Dois ou mais alternadores podem ser operados em paralelo, com cada alternador conduzindo a mesma carga.

Entretanto, certos cuidados devem ser tomados, e diversas condições satisfeitas antes de ligar um alternador a uma barra com outro alternador.

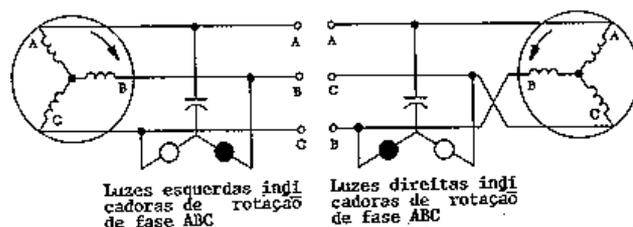


Figura 9-53 Indicador de sequência de fase.

A sincronização, ou paralelismo dos alternadores é semelhante a dos geradores CC em paralelo, embora existam mais problemas com relação aos alternadores.

A fim de sincronizar (por em paralelo) dois ou mais alternadores à mesma barra, eles devem apresentar a mesma seqüência de fase, bem como voltagens e freqüências iguais.

Os itens que se seguem constituem um guia geral para sincronizar um alternador, e ligá-lo a um sistema de barra no qual um ou mais alternadores já estejam operando.

1- Cheque de seqüência de fase - A seqüência de fase padrão para circuito força trifásica CA é "A", "B" e "C". A seqüência de fase pode ser determinada observando-se duas lâmpadas indicadoras pequenas ligadas, como mostra a figura 9-53. Se uma lâmpada acender, a seqüência de fase é "A", "B", "C". Se a luz indicar a seqüência de fase errada, deve ser feita a inversão dos dois fios do gerador que estiver entrando na barra.

Pôr em paralelo, ou sincronizar dois alternadores, com a seqüência de fase errada, seria o mesmo que curto-circuitar dois fios criando correntes circulantes perigosas e distúrbios magnéticos dentro do sistema alternador, o que poderia superaquecer os condutores e afrouxar os enrolamentos da bobina.

2- Cheque de Voltagem - A voltagem do alternador a ser ligado à barra deve ser igual à voltagem da barra. Ela é ajustada por um reostato de controle localizado no painel. Este reostato controla a corrente da bobina do regulador de voltagem fazendo com que o campo magnético do alternador diminua ou aumente, controlando desta forma a voltagem do alternador.

3- Cheque de Freqüência - A freqüência de um alternador é diretamente proporcional à sua velocidade. Isto quer dizer que a velocidade do alternador que está sendo conectado à barra deve ser igual a velocidade dos alternadores já conectados.

Observando-se o medidor de freqüência, e ajustando-se o reostato no painel, a freqüência do gerador a ser sincronizado pode ser conduzida a um valor correto. Observando-se a lâmpada de sincronização, mostrada na figura 9-54, e pelo ajuste fino do reostato de controle de velocidade, as freqüências podem ser conduzidas para uma sincronização quase exata. A lâmpada de sincronização piscará quando as duas freqüências se aproximarem do mesmo valor; quando elas estiverem muito semelhantes, a lâmpada piscará lentamente.

Quando o pisca-pisca for da ordem de um ou menos por segundo, fecha-se o interruptor do circuito enquanto a lâmpada estiver apagada e liga-se o alternador nº 2 à barra. A lâmpada apagada indica que não há voltagem entre a fase "A" da barra e a fase "A" do alternador a ser ligado à barra.

Fechar o interruptor quando a lâmpada de sincronização estiver acesa seria o mesmo que curto-circuitar dois fios e causar sérios distúrbios magnéticos de voltagem dentro dos alternadores.

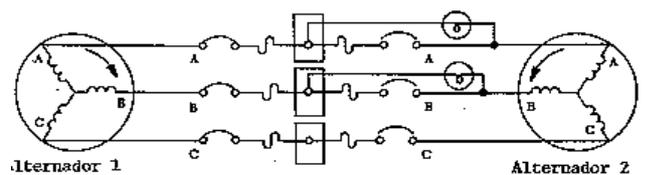


Figura 9-54 Circuito de luzes de sincronização.

Circuito de proteção dos alternadores

É importante que os alternadores em operação sejam desligados do sistema quando ocorrerem falhas elétricas. Para que um alternador seja retirado da barra quando houver pane no circuito, os disjuntores devem abrir rápida e automaticamente; caso contrário, o alternador poderia queimar. Para guarnecer de relés os disjuntores há diversos relés protetores no circuito.

A maioria desses relés é energizado por corrente contínua, visto que um equipamento CA similar geralmente é mais pesado e menos eficiente. A figura 9-55 mostra o circuito de controle e proteção do alternador. Incluído nele está um alternador, um contactor, um relé protetor de sobrecarga e um relé de proteção da corrente diferencial.

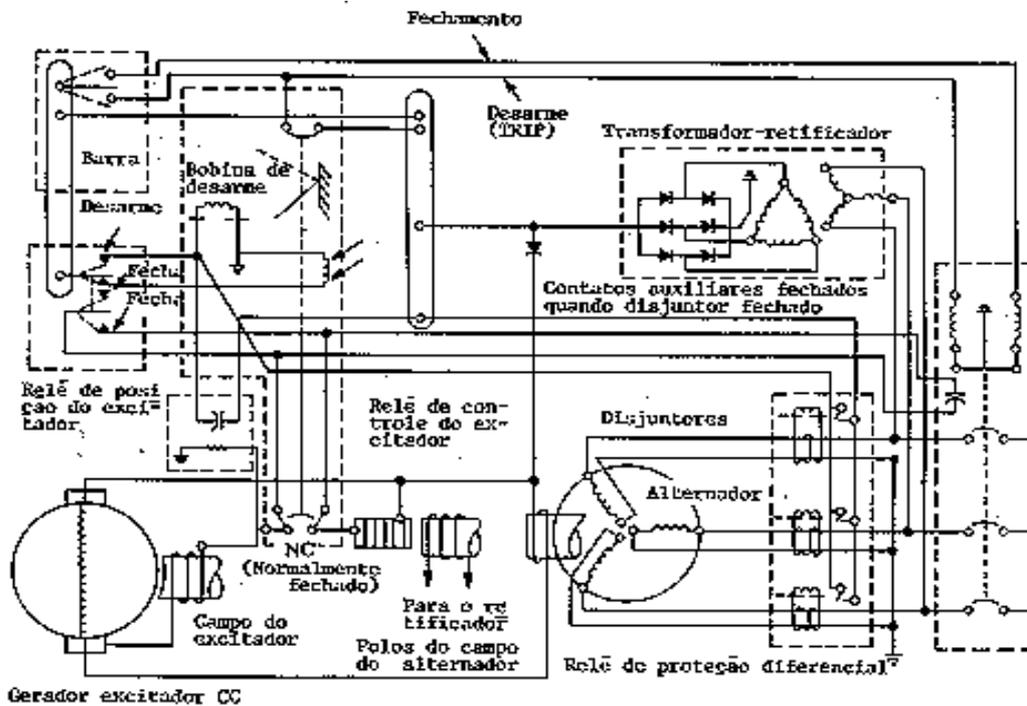


Figura 9-55 Circuito de controle e proteção dos alternadores.

No sistema de controle do alternador de aeronaves, encontramos: (1) o relé de controle do excitador, cuja finalidade é abrir ou fechar os circuitos de campo do excitador; e (2) o contactor da linha principal, que liga ou desliga o alternador da barra, e também abre ou fecha a corrente do campo do excitador.

O contactor da linha principal é fechado por um eletroímã de corrente contínua, chamado de bobina de fechamento (CLOSE). Esta bobina fecha os contatos. Eles são liberados por um segundo eletroímã, conhecido como bobina de desarme, ou "TRIP", a qual abre o circuito. Somente o contato momentâneo dos circuitos de fechamento (CLOSE) e desarme (TRIP) são necessários para a operação.

Quando fechados, uma trava mecânica mantém os contatos fechados até que a trava seja liberada pela bobina de desarme (TRIP). Os contatos são feitos de ligas especiais capazes de interromper correntes de milhares de ampères, sem causar danos aos contatos.

Este contactor de 3 pólos na linha principal tem um contato auxiliar que fecha o circuito do campo do excitador sempre que os contatos principais se fecham. Isto é desejado, pois, o alternador pode estar fornecendo corrente de carga quando os contatos abrirem; neste caso, a excitação do campo deve ser reduzida ou removida. Por outro lado, o circuito de campo do excitador é mantido fechado até que os contatos

principais abram, caso o relé de controle do excitador seja aberto previamente.

O relé de proteção do excitador mostrado no diagrama do circuito protetor da figura 9-57 é um relé operado termicamente. Ele opera toda vez que a corrente do campo do excitador aumenta o suficiente para causar danos ao funcionamento do alternador.

Se a qualquer momento, o alternador fornecer uma carga excessiva, tanto por um curto-circuito na linha ou pelo alternador que se torna inoperante, a voltagem do excitador aumenta para fornecer a carga maior do alternador, e o relé térmico fecha os contatos entre a barra de corrente e a bobina de desarme (TRIP). Isto abre o campo do excitador e, ao mesmo tempo, desliga o alternador da linha.

O relé de proteção de corrente diferencial é muito mais simples em operação do que o seu nome indica. Ele tem a finalidade de proteger o alternador de curtos internos, entre as fases ou a massa.

Enquanto existir a mesma intensidade de corrente em cada fase, entrando e saindo no alternador, o relé diferencial não opera, sem se importar quão intensas ou fracas sejam estas correntes.

Entretanto, se um curto ocorrer no interior do alternador em qualquer uma das fases, há uma diferença através das linhas; o relé opera, fechando o circuito pela bobina de desarme

(TRIP) do excitador, o qual, por sua vez, fecha o circuito da bobina de desarme (TRIP) do contactor da linha principal. A localização dos componentes num relé diferencial típico é mostrado na figura 9-56.

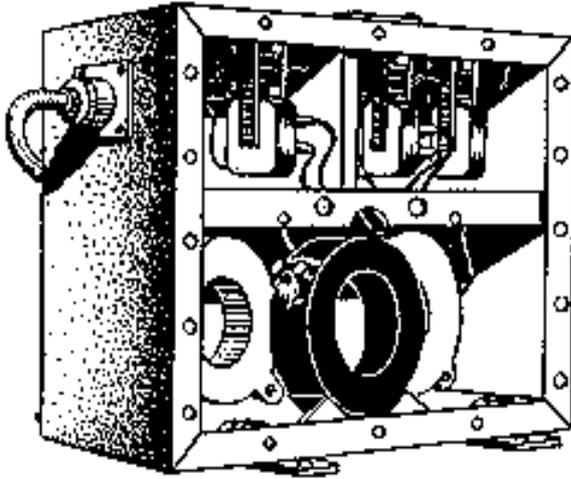


Figura 9-56 Relé de proteção de corrente diferencial.

Os dois fios de cada fase do alternador são passados através das aberturas circulares nos relés, e atuam como primários dos transformadores de corrente. À medida que a corrente flui em sentido oposto nos dois fios, através de cada abertura, seus campos magnéticos são cancelados e nenhuma corrente flui no secundário do transformador de corrente.

O relé não opera até que ocorra uma falha que desequilibre as correntes nestes dois condutores, e faça com que a corrente flua no secundário do transformador. A falha do relé de corrente diferencial seria coberta pelo relé de proteção do excitador.

A correção rápida das falhas internas diminui o perigo de incêndio e, também danos no sistema, quando os alternadores são ligados em paralelo de maneira inadequada. Uma ação de retardamento no relé de proteção do excitador permite a superexcitação por pequenos intervalos, para fornecer voltagem CC para a correção de falhas e para rápidas demandas de corrente além da capacidade do alternador. Ele também abre o contactor principal, e desliga a excitação do alternador quando os outros dispositivos protetores falharem.

MANUTENÇÃO DO ALTERNADOR

A manutenção e inspeção dos sistemas do alternador são semelhantes às dos sistemas

CC. Verifica-se as escovas do excitador quanto a desgaste e estado das superfícies.

Nas aeronaves de grande porte, com dois ou quatro sistemas de alternador, cada painel de força tem três luzes de sinalização, cada uma ligada à fase de barra de força, de modo que a lâmpada acenda toda vez que o painel de força estiver ligado.

As barras individuais podem ser checa- das pela operação do equipamento ligado à barra. As instruções do fabricante devem ser consultadas quanto à operação do equipamento e método de testagem de cada barra.

Testes de bancada são usados para testar os alternadores e transmissores de velocidade constante nas oficinas de reparo. Eles são capazes de fornecer energia para as unidades do transmissor (CSD) nas velocidades de entrada que variam de 2400 a 9000 RPM.

Um motor de bancada usa 220/440 volts, 60 ciclos trifásicos. Os ventiladores, radiadores de óleo, os instrumentos necessários e os interruptores fazem parte da bancada de teste. Os circuitos de teste são fornecidos por um banco (simulador) de carga. Um motor-gerador CA instalado para teste de bancada é mostrado na figura 9-57.

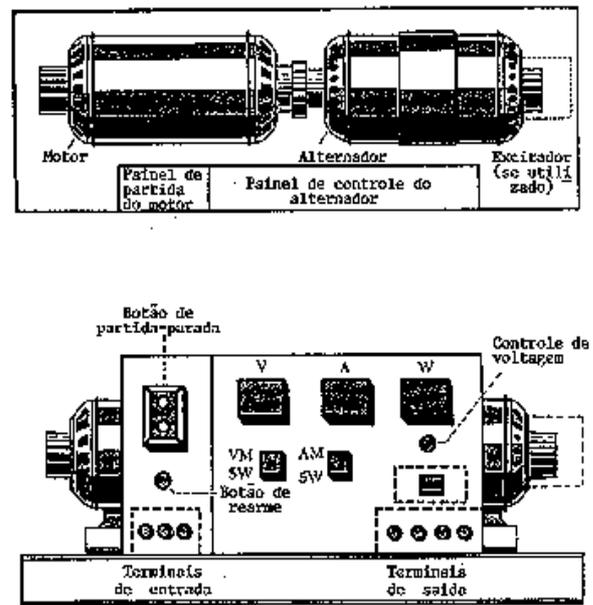


Figura 9-57 Conjunto Motor-gerador C.A. para teste no solo.

Um teste típico, portátil de sistema elétrico AC, é um analisador que possui um ohmímetro de multi-escala; uma combinação de multi-escala do voltímetro CA-CC; um amperímetro

com um transformador de corrente do tipo “CLIP ON” fixado a um medidor de frequência do tipo lâmina vibratória; e uma luz de continuidade não instalada.

Uma unidade de banco de teste portátil fornece uma carga igual àquela usada na aeronave para testar os alternadores, seja montado nesta ou na oficina. Uma unidade completa consiste em cargas positivas e reativas, controladas por interruptores seletores e instrumentos instalados no painel de controle. Essa unidade de carga é compacta e conveniente, eliminando a dificuldade de operar grandes cargas no avião, enquanto estiver testando e ajustando os alternadores e equipamentos de controle.

Para uma manutenção adequada num alternador é necessário que a unidade seja mantida limpa, e que todas as ligações elétricas estejam firmes e em bom estado.

Se o alternador deixa de fornecer a voltagem especificada nas instruções técnicas do fabricante, primeiro testamos o voltímetro, verificamos as voltagens dos outros alternadores, ou a voltagem no alternador suspeito com outro voltímetro, comparando os resultados. Se o voltímetro estiver em bom estado, verificamos a fiação, as escovas e a unidade de transmissão. Se esta inspeção não identificar a pane, o excitador pode ter perdido o seu magnetismo residual. O magnetismo residual é recuperado através da excitação do campo.

Seguem-se as instruções do fabricante quando excitar o campo. Se, após a excitação do campo, não existir indicação de voltagem o alternador é substituído, pois ele provavelmente está com defeito. Limpamos a parte externa do alternador com o fluido adequado; lixamos suavemente a parte áspera ou picotada do comutador do excitador ou do anel do coletor com a lixa 000; limpamos e lustamos com um pano limpo e seco. As escovas são verificadas periodicamente, inspecionando o comprimento e a condição geral. Consultamos as instruções fornecidas pelo fabricante sobre o alternador específico, a fim de obter informações sobre as escovas corretas.

Pesquisa de panes

Para auxiliar a localizar, avaliar e corrigir as panes do alternador, utilizamos o seguinte quadro:

PANE	CAUSA PROVÁVEL	CORREÇÃO
Nenhum registro de voltagem.	Voltímetro com defeito. Regulador do voltímetro com defeito.	Retirar e substituir o voltímetro. Substituir o regulador. Substituir o alternador.
Baixa voltagem.	Ajuste inadequado do regulador.	Ajustar regulador de voltagem.
Indicação errônea do medidor.	Ligações frouxas. Medidor com defeito.	Apertar as ligações. Retirar e substituir o medidor.
A voltagem cai depois de um período de operação.	Regulador de voltagem não aquecido antes do ajuste.	Reajustar regulador de voltagem.

INVERSORES

O inversor é usado em alguns sistemas do avião com a finalidade de transformar uma parte da força CC em CA.

Esta CA é usada principalmente nos instrumentos, rádios, radar, iluminação e outros acessórios. Os inversores são construídos para fornecer uma corrente de 400 Hz, mas alguns são projetados para fornecer mais do que uma voltagem, por exemplo, 26 volts CA num enrolamento e 115 volts num outro.

Há dois tipos básicos de inversores: o rotativo e o estático. Qualquer tipo pode ser monofásico ou polifásico. O inversor polifásico é mais leve para a mesma potência nominal que o monofásico, mas existem complicações na distribuição da potência polifásica em manter as cargas equilibradas.

Inversores rotativos

Há diversos tamanhos, tipos e configurações de inversores rotativos. Esses inversores são essencialmente geradores CA e motores CC numa única carcaça. O campo do gerador, ou induzido, e o campo do motor, ou induzido, são montados num mesmo eixo que irá girar dentro da carcaça. Um tipo comum de inversor rotativo é o de ímã permanente.

Inversor rotativo de ímã permanente

O inversor de ímã permanente é composto de um conjunto motor CC e um gerador CA de ímã permanente.

Cada um possui um estator separado instalado dentro da mesma carcaça. O induzido do motor está montado sobre um rotor e ligado ao suprimento CC através de um conjunto coletor e escova.

Os enrolamentos do campo do motor estão montados na carcaça e ligados diretamente ao suprimento CC.

Um rotor de ímã permanente está montado na extremidade oposta do mesmo eixo, como o induzido do motor e os enrolamentos do estator estão montados na carcaça, permitindo que a corrente alternada seja obtida do inversor sem usar escovas.

A figura 9-58 mostra um diagrama da fiação interna para este tipo de inversor rotativo.

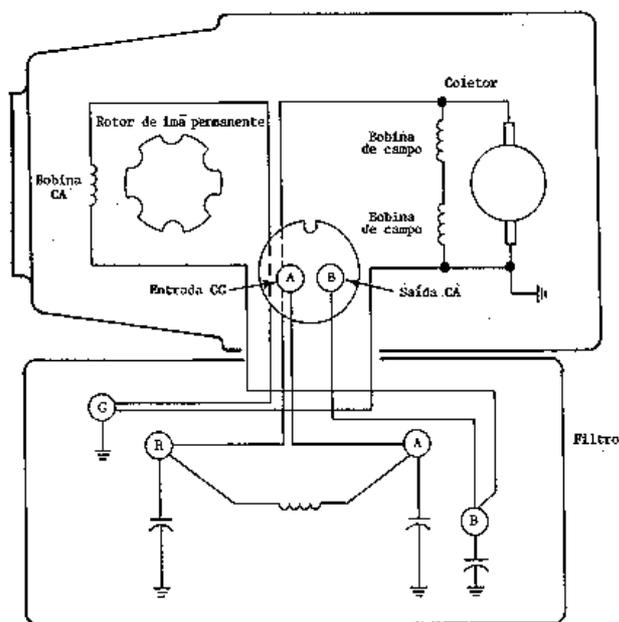


Figura 9-58 Diagrama da fiação interna de um inversor rotativo de ímã permanente.

O rotor do gerador possui 6 pólos, magnetizados com a finalidade de fornecer pólos alternados norte e sul ao redor de sua circunferência.

Quando os campos do motor e do induzido são excitados, o rotor começa a girar. À medida que o rotor girar, o ímã permanece girará dentro das bobinas do estator CA, e o fluxo magnético desenvolvido será cortado pelos condutores nas bobinas do estator CA. Uma voltagem CA será produzida nos enrolamentos cuja polaridade variará à medida que cada pólo passar pelos enrolamentos.

Esse tipo de inversor pode ser construído multifásico, instalando-se mais bobinas do estator CA na carcaça, a fim de variar a fase adequadamente em cada bobina.

Conforme o nome indica o inversor rotativo tem um induzido móvel na seção do gerador CA.

A figura 9-59 mostra o diagrama de um inversor trifásico de induzido rotativo.

O motor CC neste inversor é um motor de enrolamento misto ou COMPOUND de quatro pólos.

As quatro bobinas de campo consistem em muitas espiras de fio fino e poucas espiras de fio grosso colocadas na parte superior.

O fio fino é o campo em paralelo, ligado à fonte CC através de um filtro, e à massa através de um governador centrífugo. O fio grosso é o campo em série, o qual é ligado em série com o induzido do motor.

O governador centrífugo controla a velocidade pela derivação (SHUNT) de um resistor que está em série com o campo em paralelo, quando o motor atingir uma certa velocidade.

O alternador é um gerador CA, trifásico, de quatro pólos e ligado em estrela.

A entrada de corrente contínua é fornecida às bobinas do campo do gerador, e ligadas à massa por um regulador de voltagem de pilha de carvão.

A saída é tirada pelo induzido por três anéis coletores para fornecer força trifásica.

O inversor seria um inversor monofásico se ele tivesse um enrolamento de induzido e um anel coletor. A frequência desta unidade é determinada pela velocidade do motor e pelo número de pólos do gerador.

Inversor rotativo do tipo indutor

Os inversores do tipo indutor usam um rotor feito de laminações de ferro doce com estrias laterais, através da superfície, e para fornecer pólos que correspondam ao número de pólos do estator como mostrado na figura 9-60.

As bobinas de campo são enroladas em um conjunto de pólos estacionários, e as bobinas do induzido CA sobre o outro conjunto de pólos estacionários.

Quando a corrente contínua for aplicada às bobinas de campo, será produzido um campo magnético.

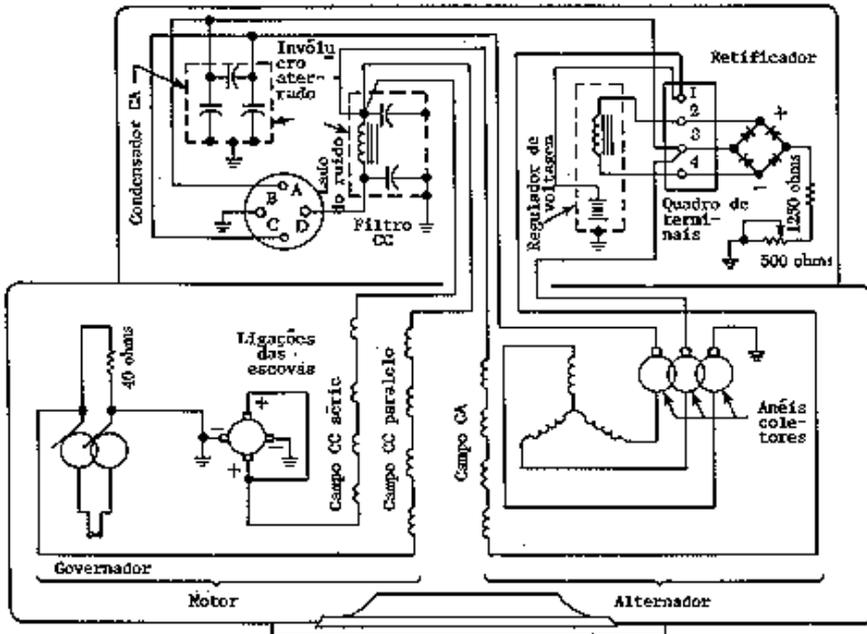
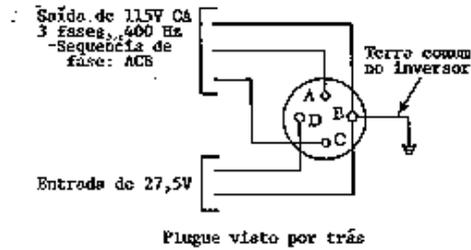


Figura 9-59 Diagrama da fiação interna de um inversor trifásico de induzido rotativo.

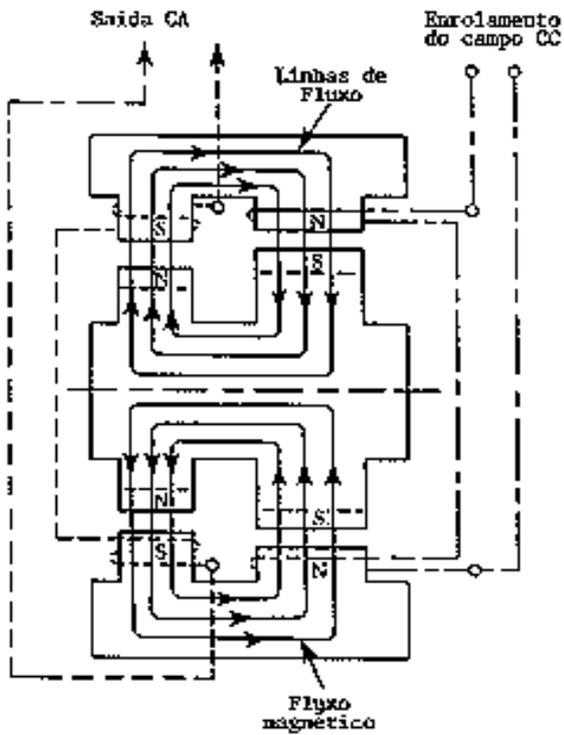


Figura 9-60 Diagrama de um inversor básico do tipo indutor.

O rotor gira dentro das bobinas de campo e, à medida que os pólos do rotor se alinham com os pólos estacionários, um caminho de baixa relutância do fluxo é estabelecido pelo pólo do campo, através dos pólos do rotor para o pólo do induzido CA, e através da carcaça para o pólo do campo. Neste caso, haverá uma grande intensidade de fluxo magnético envolvendo as bobinas CA.

Quando os pólos do motor estiverem entre os pólos estacionários, haverá um caminho de alta relutância para o fluxo, consistindo principalmente em ar; então, haverá uma pequena intensidade de fluxo magnético envolvendo as bobinas CA. Este aumento e redução na densidade do fluxo no estator induzem uma corrente alternada nas bobinas CA.

A frequência neste inversor é determinada pelo número de pólos e pela velocidade do motor. A voltagem é controlada pela corrente do campo do estator.

Um corte transversal de um inversor rotativo tipo indutor é visto na figura 9-61.

CA de avião, utilizando um sistema de inversor rotativo principal e um auxiliar.

Inversores estáticos

Em diversas aplicações onde uma voltagem CC deve ser transformada em voltagem CA, os inversores estáticos são usados em lugar dos inversores rotativos ou do conjunto motor-gerador.

O rápido progresso alcançado pela indústria de semicondutores está aumentando a área de aplicações deste equipamento em valores de voltagem e potência, que teriam sido impraticáveis alguns anos atrás. Algumas dessas aplicações são fontes de alimentação para equipamento CA comercial e militar sensíveis à frequência, sistema CA de emergência de avião e conversão de força de extensa gama de frequência de precisão.

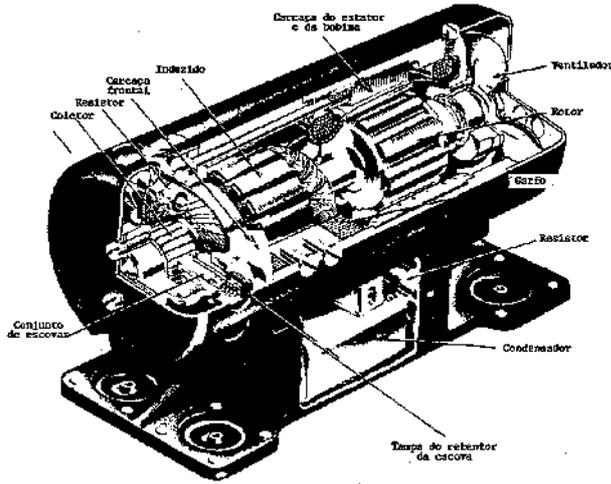


Figura 9-61 Vista em corte de um inversor rotativo do tipo indutor.

A figura 9-62 é um diagrama simplificado de um sistema típico de distribuição de força

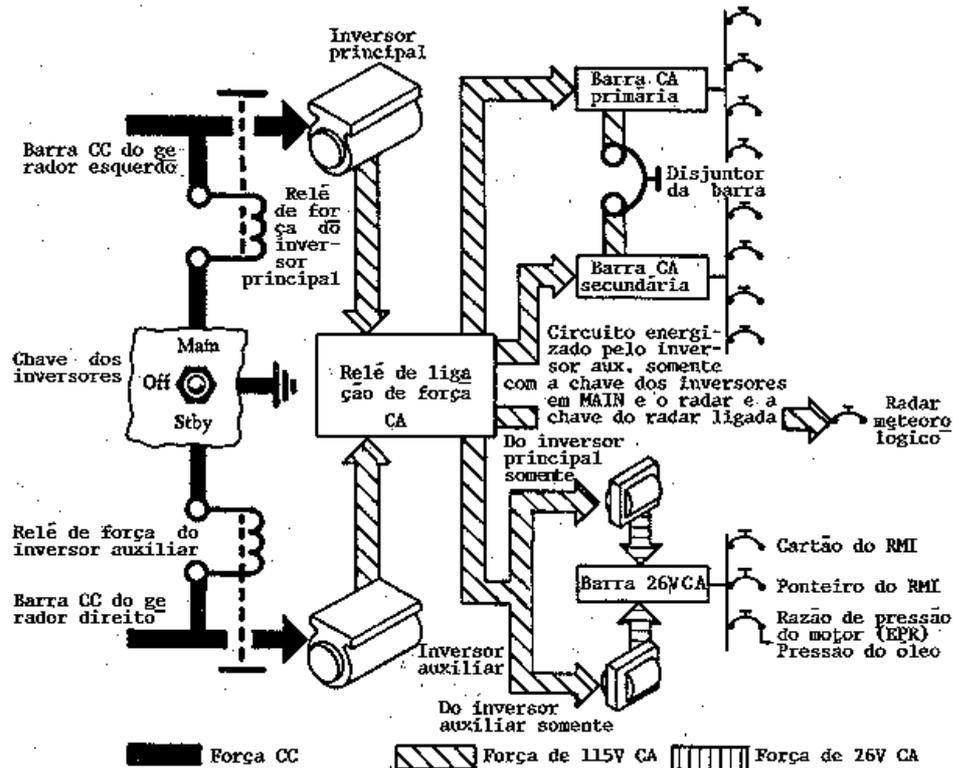


Figura 9-62 Sistema típico de distribuição de força CA de aeronave com inversores principal e auxiliar.

O uso dos inversores estáticos em aviões pequenos também tem aumentado rapidamente nos últimos anos, e a tecnologia desenvolveu-se de tal forma que os inversores estáticos acham-se disponíveis para qualquer utilização do inversor rotativo.

Por exemplo, as alimentações CA de emergência de 250 VA operados pelas baterias de aeronaves em produção, bem como as alimentações principais CA de 2500 VA operadas por uma fonte geradora de frequência variável.

Este tipo de equipamento possui uma certa vantagem para as aplicações nas aeronaves, particularmente pela ausência de partes móveis e a adaptação para arrefecimento por condução.

Os inversores estáticos, conhecidos como inversores do estado sólido, são fabricados em grande variedade de tipos e modelos, o quais podem ser classificados pela forma de onda de saída CA e pelas capacidades de potência.

Um dos inversores estáticos mais usados produz uma saída de onda senoidal controlada. Um diagrama em bloco do inversor estático de onda regulada é mostrada na figura 9-63.

Esse inversor transforma a baixa voltagem CC em alta voltagem CA.

A voltagem de saída CA é mantida numa tolerância de voltagem muito pequena, uma variação típica menor do que 1%, mesmo com modificação total na carga.

Derivações de saída são normalmente fornecidas para permitir a seleção de várias voltagens; por exemplo, as derivações podem ser

fornecidas para saídas CA de 105, 110 e 125 volts.

A regulagem de frequência está tipicamente dentro do limite de um ciclo para mudança de carga de 0 a 100%.

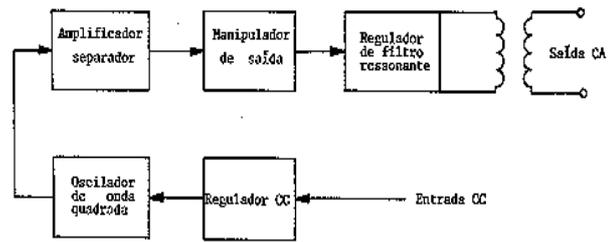


Figura 9-63 Inversor estático de onda senoidal regulada.

Variações deste tipo de inversor estático estão disponíveis, muitas fornecem uma saída de onda quadrada.

Visto que os inversores estáticos usam componentes no estado sólido, eles são consideravelmente menores, mais compactos e muito mais leves que os inversores rotativos.

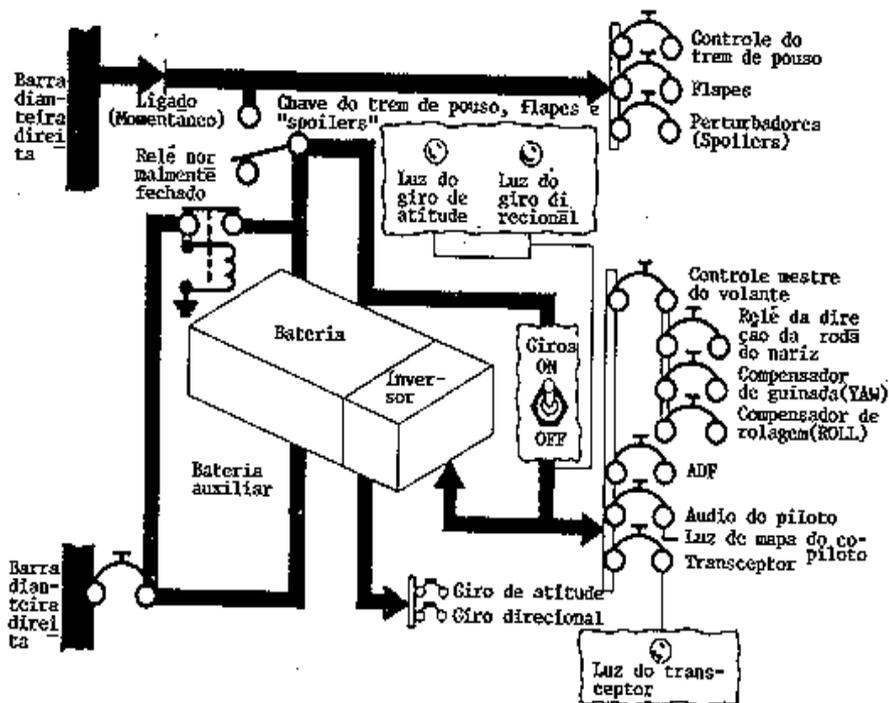


Figura 9-64 Sistema de bateria auxiliar com inversor estático

Dependendo da potência nominal de saída requerida, os inversores estáticos, que não são maiores do que um indicador típico de velocidade, podem ser usados em sistemas aviônicos. Algumas das características dos inversores estáticos são:

- 1- Alta eficiência;
- 2- Pouca manutenção, maior duração;
- 3- Nenhum período de aquecimento necessário;

- 4- Capaz de começar a operar sob carga;
- 5- Operação extremamente silenciosa; e
- 6- Reação rápida à mudança de carga.

Os inversores estáticos são comumente usados para fornecer energia para os instrumentos sensíveis à frequência, como giroscópio de atitude e o giroscópio direcional. Eles também fornecem energia para os indicadores e os transmissores AUTOSYN e MAGNESYN, giroscópio de razão, radar e outras aplicações a bordo. A figura 9-64 é um esquema de um sistema de bateria auxiliar de um pequeno avião a jato. Ela mostra a bateria como entrada para o inversor, e os circuitos de saída do inversor para vários subsistemas.

MOTORES ELÉTRICOS CC

A maioria dos aparelhos de uma aeronave, desde o motor de partida (STARTER) até o piloto automático, depende da energia mecânica fornecida pelos motores CC.

Um motor CC é uma máquina rotativa que transforma a energia elétrica CC em energia mecânica. Ele consiste em duas partes principais: o conjunto de campo e o conjunto rotor. O rotor é a parte móvel, na qual os fios condutores de corrente são atuados pelo campo magnético.

Sempre que um fio condutor de corrente é colocado no campo de um ímã, uma força atua sobre o fio. Esta força não é de atração nem de repulsão; entretanto, ela forma ângulos retos com o fio, e também com o campo magnético criado pelo ímã.

A ação da força sobre um fio conduzindo corrente colocado num campo magnético é mostrada na figura 9-65. Um fio está colocado entre dois ímãs permanentes. As linhas de força do campo magnético estendem-se desde o pólo norte até o pólo sul.

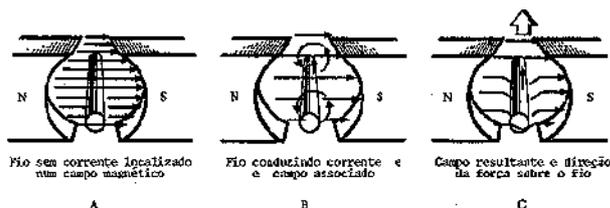


Figura 9-65 Força exercida num fio que conduz corrente.

Quando não há fluxo de corrente, como no diagrama “A”, nenhuma força é exercida no fio, mas quando a corrente flui através dele, um campo magnético é criado ao redor, como mostrado no diagrama “B”.

O sentido do campo depende do sentido do fluxo de corrente.

A corrente num sentido cria um campo horário ao redor do fio, e no sentido oposto, um campo anti-horário.

Visto que o fio condutor produz um campo magnético, uma reação ocorre entre o campo ao redor do fio e o campo magnético entre os ímãs.

Quando a corrente flui num sentido para criar um campo magnético anti-horário ao redor do fio, este campo e o campo entre os ímãs se somam ou reforçam na base do fio, porque as linhas de força estão no mesmo sentido.

Na extremidade superior do fio, eles se subtraem ou neutralizam, pois, as linhas de força nos dois campos estão em sentidos opostos. Assim sendo, o campo resultante na base é forte e na extremidade superior fraco.

Consequentemente, o fio é empurrado para cima, como mostra o diagrama “C” da figura 9-65. O fio é sempre afastado do lado onde o campo é mais forte.

Se o fluxo de corrente através do fio invertesse o sentido, os dois campos aumentariam na extremidade e diminuiriam na base. Como o fio é sempre afastado do lado mais forte, o fio seria empurrado para baixo.

Força entre condutores paralelos

Dois fios conduzindo corrente, próximos um do outro, exercem uma força entre si devido a seus campos magnéticos.

As extremidades dos dois condutores são vistas na figura 9-66.

Em “A”, o fluxo de elétrons nos dois condutores está no sentido do leitor, e os campos magnéticos estão no sentido horário ao redor dos condutores.

Entre os fios, os campos se anulam porque eles se opõem entre si. Os fios são forçados no sentido do campo mais fraco, um no sentido do outro.

Esta força é denominada atração.

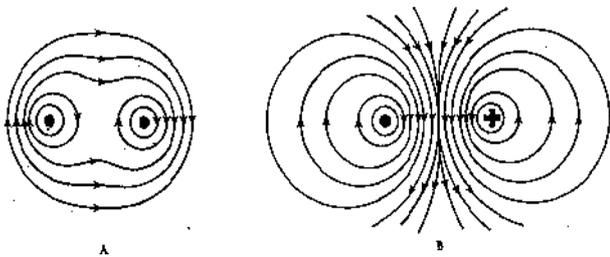


Figura 9-66 Campos que circundam condutores paralelos.

Em “B” da figura 9-66, o fluxo de elétrons nos dois fios está em sentido oposto. Os campos magnéticos estão, portanto, um no sentido horário e o outro no sentido anti-horário, como pode ser observado. Os campos reforçam-se entre os fios, e os fios são forçados no sentido do campo mais fraco, oposto um ao outro. Esta força é denominada repulsão.

Resumindo: Os condutores de corrente no mesmo sentido tendem a ser atraídos; os condutores de corrente no sentido oposto tendem a se repelir.

Desenvolvimento de torque

Se uma bobina na qual está fluindo corrente é colocada num campo magnético, uma força é produzida e faz com que a bobina gire.

Na bobina mostrada na figura 9-67, a corrente flui para dentro no lado “A” e para fora no lado “B”.

O campo magnético ao redor de “B” está no sentido horário, e ao redor de “A”, no sentido anti-horário.

Como explicado anteriormente, será desenvolvida uma força que forçará o lado “B” para baixo.

Ao mesmo tempo, o campo dos ímãs e o campo ao redor de “A”, cuja corrente está “para dentro”, aumentará na base e diminuirá na extremidade superior. Portanto, “A” movimentar-se-á para cima.

A bobina, dessa forma, girará até que seu plano esteja perpendicular às linhas magnéticas entre os pólos norte e sul do ímã, como indicado na figura 9-67 pela bobina branca, em ângulos retos com a bobina preta.

A tendência de uma força a produzir rotação é denominada torque. Quando o volante de direção de um carro é acionado, o torque é aplicado.

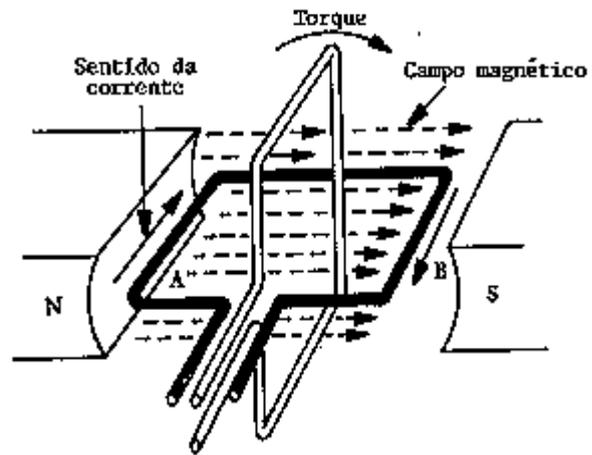


Figura 9-67 Desenvolvimento do torque.

O motor de avião proporciona torque à hélice. O torque é desenvolvido ainda pela reação dos campos magnéticos ao redor da bobina condutora de corrente acima descrita. Este é o torque que faz com que a bobina gire.

A regra da mão direita do motor pode ser usada para determinar o sentido no qual um fio condutor de corrente movimentar-se-á num campo magnético.



Figura 9-68 Regra da mão direita do motor.

Como ilustrado na figura 9-68, se o dedo indicador da mão direita estiver apontado no sentido do campo magnético, e o dedo médio no sentido do fluxo da corrente; o polegar indicará o sentido em que o fio condutor de corrente mover-se-á.

A intensidade de torque desenvolvido numa bobina depende de vários fatores: a força do campo magnético, o número de espiras na bobina e a posição desta no campo. Os ímãs são

feitos de aço especial que produz um campo forte.

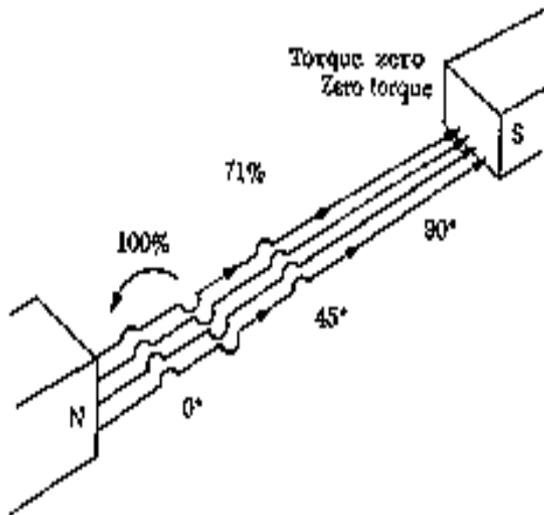


Figura 9-69 Torque numa bobina em diversos ângulos de rotação.

Visto que existe um torque atuando em cada espira, quanto maior for o número de espiras na bobina maior será o torque.

Numa bobina condutora de corrente contínua localizada num campo magnético uniforme, o torque variará em posições sucessivas de rotação, como mostra a figura 9-69.

Quando o plano da bobina estiver em paralelo com as linhas de força, o torque será zero.

Quando o plano cortar as linhas de força em ângulo reto, o torque será de 100%. Nas posições intermediárias, o torque variará de zero a 100%.

Motor CC básico

Uma bobina de fio, através da qual a corrente flui, girará quando colocada num campo magnético. Esta é a base técnica que regula a construção de um motor CC. A figura 9-70 mostra uma bobina instalada num campo magnético onde ela pode girar.

Entretanto, se a ligação dos fios da bateria fosse fixada permanentemente aos terminais da bobina, e se houvesse fluxo de corrente; a bobina giraria somente até que ela estivesse alinhada com o campo magnético.

Então ela pararia, porque o torque naquele ponto seria zero. Um motor, naturalmente, deve continuar a girar.

É necessário, portanto, projetar um dispositivo que inverterá a corrente na bobina exatamente na hora em que a bobina ficar paralela às linhas de força.

Isto criará um novo torque e provocará a rotação da bobina.

Se o dispositivo inversor da corrente for instalado para inverter a corrente toda vez que a bobina estiver quase parando, a bobina poderá continuar girando enquanto for desejado.

Um método de fazer isto é ligar o circuito, de modo que, à medida que a bobina girar, cada contato deixe o terminal ao qual está ligado e passe ao terminal de polaridade oposta. Em outras palavras, os contatos das bobinas trocam de terminais continuamente enquanto a bobina gira, preservando o torque e mantendo a bobina girando.

Na figura 9-70, os segmentos dos terminais da bobina são marcados com as letras "A" e "B".

À medida que a bobina gira, os segmentos se deslocam, passando sobre e fora dos terminais fixos ou escovas.

Com este mecanismo, o sentido da corrente no lado da bobina, próximo ao pólo norte procurado, flui na direção do leitor, e a força atuante naquele lado da bobina faz com que ela gire para baixo.

A parte do motor que transfere a corrente de um fio para o outro é denominado coletor.

Quando a bobina estiver posicionada como mostrado em "A" da figura 9-70, a corrente fluirá do terminal negativo da bateria para a escova negativa (-), para o segmento "B" do coletor, através da espira, para o segmento "A" do coletor para a escova positiva (+), e então, retorna ao terminal positivo da bateria.

Pela utilização da regra da mão direita do motor, observa-se que a bobina girará no sentido anti-horário.

O torque nesta posição da bobina é máximo, visto que o maior número de linhas de força está sendo cortado pela bobina.

Quando a bobina tiver girado 90° para a posição mostrada em "B" da figura 9-70, os segmentos "A" e "B" do coletor não farão contato com o circuito da bateria, e nenhuma corrente poderá fluir através da bobina.

Nesta posição, o torque alcança um valor mínimo, visto que um número mínimo de linhas de força está sendo cortado.

Entretanto, a energia cinética da bobina a conduz além desta posição, até que os segmentos entrem novamente em contato com as escovas, e a corrente novamente entra na bobina; neste momento, entretanto, ela entra no segmento "A", e sai pelo segmento "B".

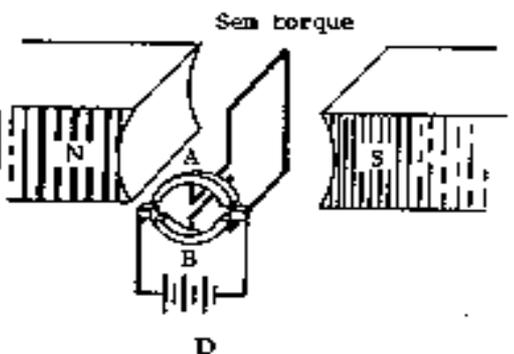
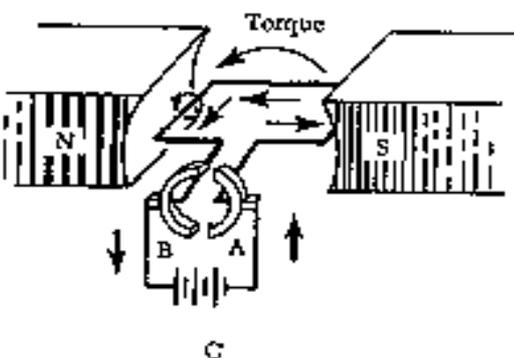
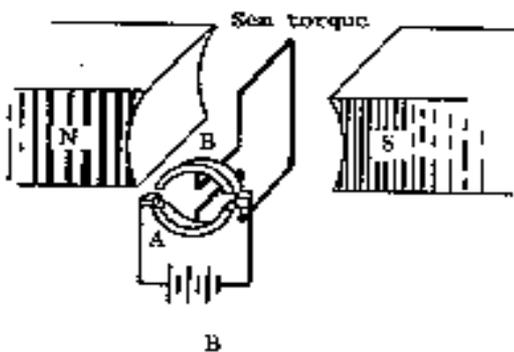
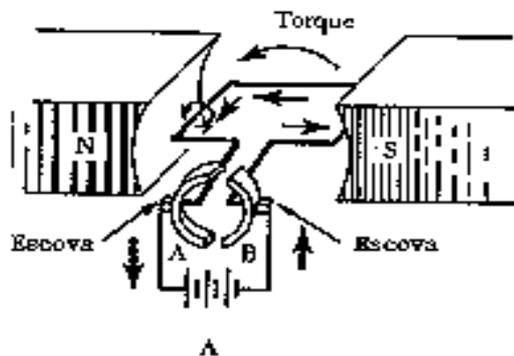


Figura 9-70 Funcionamento do motor CC básico.

Assim sendo, como as posições dos segmentos "A" e "B" também estão invertidas, o efeito da corrente é como antes, o torque atua no mesmo sentido e a bobina continua sua rotação no sentido anti-horário.

Passando pela posição mostrada em "C" da figura 9-70, o torque novamente atinge o valor máximo.

A rotação contínua leva a bobina novamente para uma posição de torque mínimo, como em "D" da figura 9-70.

Nesta posição, as escovas não conduzem corrente, mas outra vez a energia cinética faz com que a bobina gire para um ponto onde a corrente entra pelo segmento "B" e sai pelo segmento "A".

Uma rotação adicional conduz a bobina ao ponto de partida e, sendo assim, uma rotação é completada.

A transferência dos terminais da bobina da escova positiva para a escova negativa ocorrer duas vezes em cada rotação da bobina.

O torque num motor que contém somente uma bobina não é contínuo nem muito eficiente, porquanto há duas posições onde o torque é nulo.

Para corrigir isto, um motor CC prático contém um grande número de bobinas enroladas sobre o rotor.

Essas bobinas estão espaçadas de modo que, em qualquer posição do rotor, haverá bobinas próximas aos pólos do ímã. Isto torna o torque contínuo e forte.

O coletor, da mesma forma, contém grande número de segmentos ao invés de somente dois.

O rotor de um motor DC prático não é instalado entre os pólos de um ímã permanente, mas sim entre os pólos de um eletroímã, visto que um campo magnético mais forte pode ser obtido.

O núcleo é geralmente feito de ferro doce ou recozido, que pode ser magnetizado fortemente pela indução. A corrente magnetizadora do eletroímã é da mesma fonte que fornece corrente para o rotor.

Construção do motor CC

As partes principais de um motor prático são: o conjunto do campo, o conjunto da escova e a extremidade da carcaça. Ver figura 9-71.

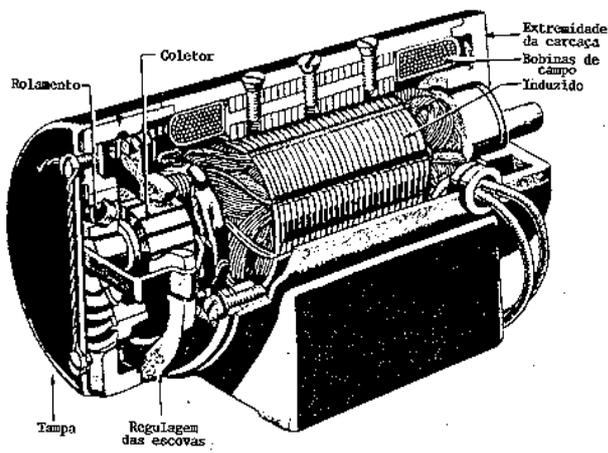


Figura 9-71 Vista em corte de um motor CC prático.

Conjunto do rotor

O conjunto do rotor contém um núcleo de ferro doce laminado, bobinas e um coletor, todos instalados em um eixo rotativo de aço.

As laminações feitas de chapas de ferro doce, isoladas uma das outras, formam o núcleo do rotor.

O ferro maciço não é usado, visto que o núcleo de ferro maciço rotativo no campo magnético se aqueceria e dissiparia uma energia desnecessária.

Os enrolamentos do motor são fios de cobre isolados que estão inseridos nas fendas isoladas por papel de fibra para proteger os enrolamentos.

As extremidades dos enrolamentos são ligadas aos segmentos do coletor. Cunhas ou tiras de aço mantêm os enrolamentos no lugar, impedindo-os de sair das fendas quando o rotor estiver girando em altas velocidades.

O coletor consiste em grande número de segmentos de cobre, isolados uns dos outros e do eixo do rotor, por pedaços de mica. Anéis em cunha isolados mantêm os segmentos fixos no lugar.

Conjunto do campo

Este conjunto consiste na carcaça do campo, peças polares e bobinas do campo. A carcaça do campo está localizada na parte interna da parede do alojamento do motor. Ela contém peças polares de aço doce laminado, onde as bobinas de campo estão enroladas.

Uma bobina, que consiste em diversas espiras de fio isolado, encaixa-se em cada peça polar e, junto com o pólo, constitui um pólo de campo.

Alguns motores têm dois pólos, outros têm tanto quanto oito pólos.

Conjunto das escovas

O conjunto consiste nas escovas e seus porta-escovas. As escovas geralmente são blocos pequenos de carvão grafite, visto que esta matéria tem grande duração em operação, e ainda reduz o desgaste do coletor.

Os porta-escovas permitem alguma folga nas escovas, de modo que elas possam acompanhar qualquer irregularidade na superfície do coletor, além de fazerem um bom contato. As molas retêm as escovas firmemente contra o coletor. Um coletor e dois tipos de escovas são mostrados na figura 9-72.

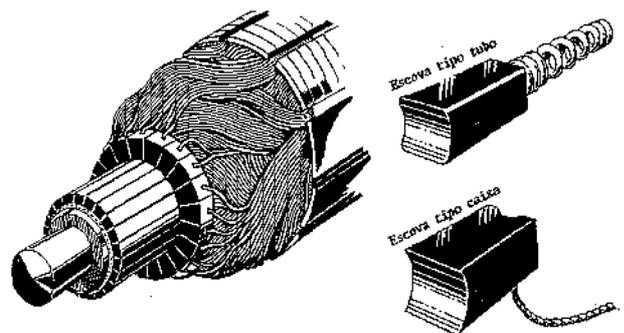


Figura 9-72 Coletor e escovas.

Extremidades da carcaça

Esta é a parte do motor oposta ao coletor. Geralmente, a extremidade de carcaça é projetada de modo que possa ser fixada à unidade de acionamento.

O rolamento para o acionamento final está localizado na extremidade da carcaça.

Algumas vezes, a extremidade é constituída por uma parte da unidade acionada pelo motor. Quando isto é feito, o rolamento na extremidade do acionamento pode ser localizado em qualquer um de vários lugares.

Tipos de motores CC

Há três tipos básicos de motores CC: (1) motores em série, (2) motores em para-

lelo ou SHUNT e (3) motores mistos ou COMPOUND.

Eles diferem amplamente no método pelo qual seu campo e as bobinas do rotor estão ligados.

Motor CC em série

Neste tipo de motor, os enrolamentos do campo, que consistem relativamente de algumas espiras de fio grosso, são ligados em série com o enrolamento do rotor.

As ilustrações do sistema e do esquema de um motor enrolado em série são mostradas na figura 9-73.

A mesma corrente que flui pelo campo, flui também pelo enrolamento do rotor. Qualquer aumento na corrente, portanto, fortalece o magnetismo do campo e do rotor.

Devido à baixa resistência nos enrolamentos, o motor enrolado em série é capaz de consumir uma grande corrente na partida.

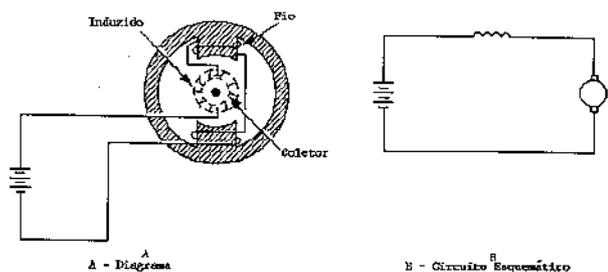


Figura 9-73 Motor CC em série.

Esta corrente inicial, passando através dos enrolamentos do campo e do rotor, produz um torque inicial elevado, que é a principal vantagem do motor em série.

A velocidade de um motor em série depende da carga. Qualquer mudança na carga é acompanhada por uma mudança substancial na velocidade.

Um motor em série funcionará em alta velocidade quando ele possuir uma carga leve e em baixa velocidade com uma carga pesada. Se a carga for retirada completamente, o motor poderá operar com tão alta velocidade que desmantelará o rotor.

Se o alto torque inicial for necessário, sob condições de carga pesada, os motores em série terão muitas aplicações. Eles são mais frequentemente usados em aviões com motor de

partida e para recolher a arriar os trens de pouso, flapes da capota e os flapes da asa.

Motor CC em paralelo (SHUNT)

No motor em paralelo, o enrolamento do campo é ligado em paralelo, também chamado derivação, com o enrolamento do rotor. (Ver figura 9-74). A resistência do enrolamento do campo é alta. Visto que o enrolamento do campo é ligado diretamente em paralelo com a fonte de alimentação, a corrente através do campo é constante.

A corrente do campo não varia com a velocidade do motor como no motor em série e, portanto, o torque do motor em paralelo variará somente com a corrente através do rotor. O torque desenvolvido na partida é menor que o do motor em série do mesmo tamanho.

A velocidade do motor em paralelo varia muito pouco com variações da carga. Quando toda a carga é retirada, ele adquire uma velocidade um pouco maior do que a velocidade com carga. Este motor é particularmente adequado para ser usado quando a velocidade constante for desejada, e quando um torque inicial alto não for necessário.

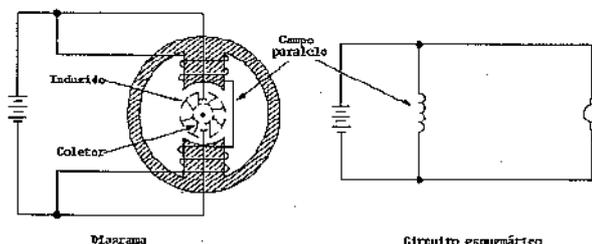


Figura 9-74 Motor CC em paralelo (Shunt).

Motor CC misto (COMPOUND)

O motor misto é uma combinação dos motores em série e em paralelo.

Há dois enrolamentos no campo: um enrolamento em paralelo e um enrolamento em série. Um esquema de um motor misto é mostrado na figura 9-75.

O enrolamento em paralelo é composto de muitas espiras de fio fino, e também ligado com o enrolamento do rotor.

O enrolamento em série consiste em poucas espiras de fio grosso e também está ligado em série com o enrolamento do rotor. O tor-

que inicial é maior do que no motor em paralelo, e menor do que no motor em série.

A variação da velocidade com a carga é menor do que num motor em série e maior do que num motor em paralelo. O motor misto é usado sempre onde as características combinadas dos motores em série e em paralelo são desejadas.

Semelhante ao gerador misto, o motor misto possui enrolamentos de campo em série e em paralelo.

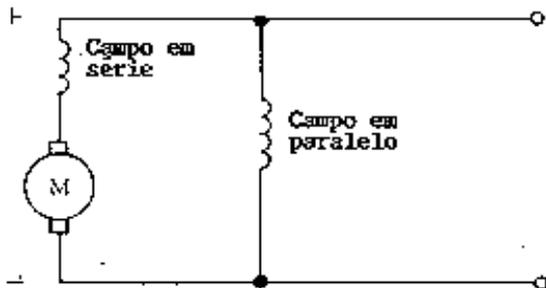


Figura 9-75 Motor CC misto (Compound).

Devido ao campo em série, o motor misto acumulativo possui um torque inicial maior do que no motor em paralelo. Estes motores são usados em acionamento de máquinas, que estão sujeitas a mudanças repentinas na carga. Eles são também usados quando um torque inicial for necessário, havendo restrição ao uso de um motor em série.

No motor misto diferencial, um aumento na carga cria um aumento na corrente e uma redução no fluxo total neste tipo de motor. Estas duas características tendem a se autocompensar, e o resultado é uma velocidade praticamente constante. Entretanto, visto que um aumento na carga diminui a força do campo, a característica da velocidade torna-se instável. Raramente este tipo de motor é usado nos sistemas de aeronaves.

Um gráfico da variação da velocidade com variações de cargas nos vários tipos de motor CC é mostrado na figura 9-76.

Força contra-eletromotriz

A resistência do rotor de um motor pequeno de 28 volts CC é muito baixa, de quase 0,1 ohm. Quando o rotor for ligado a uma fonte de 28 volts, a corrente que passa pelo rotor aparentemente será de $I = E/R = 28/0,1 = 280$ ampères.

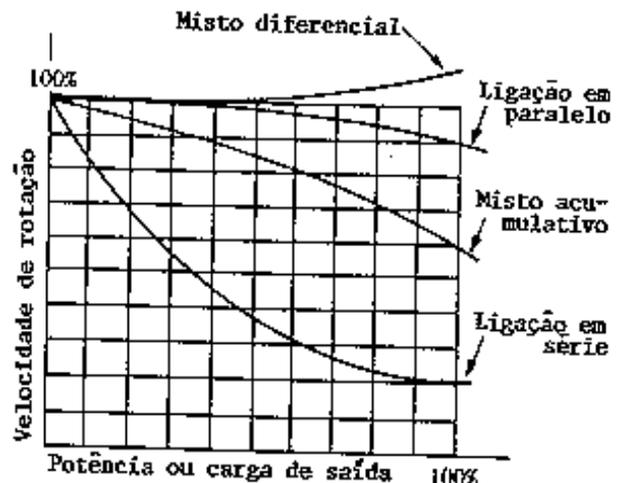


Figura 9-76 Características de carga de motores CC.

Este alto valor de fluxo de corrente não é somente impraticável, mas também irracional, principalmente quando o consumo de corrente, durante a operação normal de um motor, é de aproximadamente 4 ampères.

Isto é porque a corrente através do rotor do motor, durante a operação, é determinada por mais fatores do que só pela resistência ôhmica.

Quando o rotor de um motor gira num campo magnético, uma voltagem é induzida em seus enrolamentos. Esta voltagem é chamada de força contra-eletromotriz, e é de sentido contrário à voltagem aplicada ao motor pela fonte externa. A força contra-eletromotriz se opõe à corrente que faz com que o rotor gire.

A corrente que flui através do rotor, portanto, diminui à medida que a força contra-eletromotriz aumenta. Quanto mais rápido o rotor girar, maior será a força contra-eletromotriz. Por esta razão, um motor ligado a uma bateria pode puxar uma corrente razoavelmente alta na partida, mas à medida que a velocidade do rotor aumenta, o fluxo de corrente através do rotor diminui.

Numa certa velocidade, a força contra-eletromotriz pode ser somente alguns volts menor do que a voltagem da bateria. Sendo assim, se a carga no motor for aumentada, o motor diminuirá a velocidade, uma força contra-eletromotriz menor será gerada e a corrente fornecida pela fonte externa aumentará. Num motor misto, a força contra-eletromotriz afeta somente a corrente no rotor, visto que o campo é ligado em paralelo com a fonte de alimentação.

A medida que o motor diminui a velocidade, e a força contra-eletromotriz diminui,

mais corrente flui através do rotor, mas o magnetismo no campo é invariável. Quando o motor em série gira lentamente, a força contra-eletromotriz diminui e mais corrente flui através do campo do rotor, fortalecendo seus campos magnéticos. Devido a estas características, é mais difícil trancar um motor em série do que um motor em paralelo.

Tipos de trabalho

Os motores elétricos são construídos para operar sob várias condições. Alguns motores são usados para trabalho intermitente; outros trabalham continuamente.

Os motores construídos para trabalho intermitente podem ser operados somente por curtos períodos, antes de operar novamente.

Se tal motor for operado por longos períodos sob carga pesada, o motor será superaquecido.

Os motores construídos para trabalho contínuo podem operar com uma determinada potência durante longos períodos.

Inversão do sentido de rotação do motor

Invertendo-se o sentido do fluxo de corrente no rotor ou nos enrolamentos do campo, o sentido da rotação do motor pode ser invertido. Isto inverterá o magnetismo do rotor ou do campo magnético no qual o rotor gira.

Se os fios que ligam o motor à fonte externa forem intercambiados, o sentido da rotação não será invertido, visto que, trocando-se estes fios, inverte-se o magnetismo do campo e do rotor, e mantém-se o torque no mesmo sentido que antes.

Um método de inverter o sentido da rotação emprega dois enrolamentos de campo enrolados em sentido oposto no mesmo pólo.

Este tipo de motor é chamado motor reversível. A figura 9-77 mostra um motor em série com um enrolamento de campo em duas seções.

O interruptor tipo SPDT (unipolar de duas seções) torna possível conduzir corrente através dos dois enrolamentos. Quando o interruptor for colocado na posição inferior (A), a corrente flui através do enrolamento do campo inferior, criando um pólo norte no enrolamento do campo inferior e na peça inferior, e um pólo sul na peça polar superior.

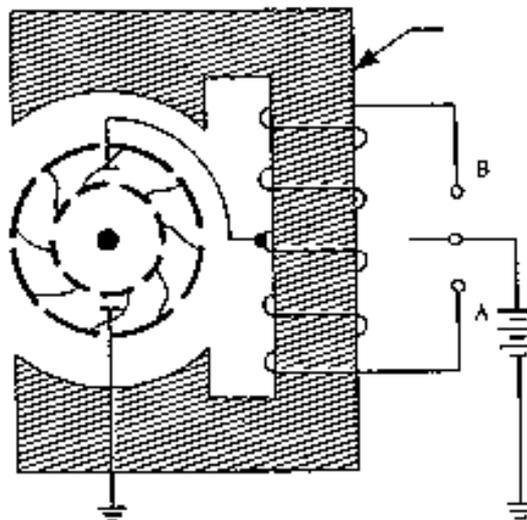


Figura 9-77 Motor em série com enrolamento de campo em duas seções.

Quando o interruptor for colocado na posição superior (B), a corrente fluirá através do enrolamento do campo superior, o magnetismo do campo será invertido e o rotor girará no sentido oposto.

Alguns motores reversíveis são constituídos de dois enrolamentos de campo, separados e enrolados sobre pólos alternados. O rotor neste motor, um motor reversível de quatro pólos, gira num sentido quando a corrente flui através dos enrolamentos de um conjunto de peças polares opostas, e em sentido oposto quando a corrente flui através do outro conjunto de enrolamentos.

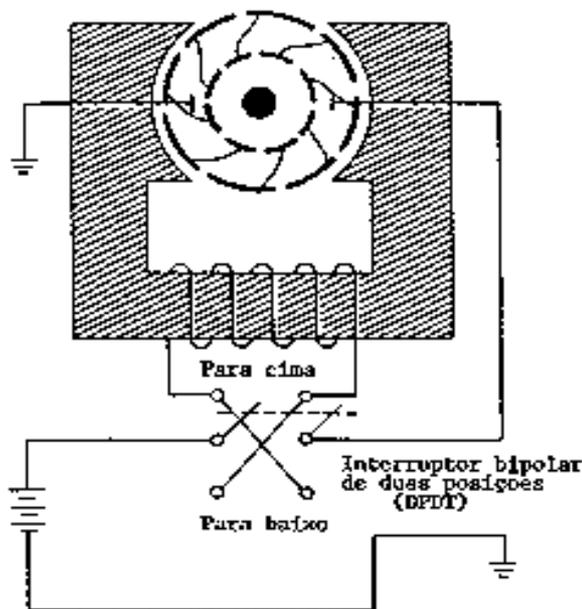


Figura 9-78 Método do interruptor para inversão do sentido de rotação do motor.

Um outro método de inversão do sentido, chamado de método do interruptor, emprega um interruptor do tipo DPDT (bipolar de duas posições), que inverte o sentido do fluxo de corrente no rotor ou no campo. Na ilustração do método do interruptor mostrada na figura 9-78, o sentido da corrente pode ser invertido através do campo, mas não pelo rotor.

Quando o interruptor for posicionado em "A", a corrente fluirá através do enrolamento do campo para criar um pólo norte no lado direito do motor, e um pólo sul no lado esquerdo. Quando o interruptor for posicionado em "B", esta polaridade será invertida e o rotor girará no sentido oposto.

Velocidade de rotação do motor

A velocidade do motor pode ser controlada pela variação da corrente nos enrolamentos do campo. Quando a intensidade da corrente que flui através dos enrolamentos for aumentada, a força do campo aumentará, mas o motor diminuirá a velocidade visto que uma intensidade maior de força contra-eletromotriz será gerada nos enrolamentos do rotor.

Quando a corrente de campo diminui, a intensidade do campo diminui e o motor acelera porque a força contra-eletromotriz é reduzida. Um motor cuja rotação pode ser controlada é chamado de motor de velocidade variável. Ele pode ser também um motor em paralelo ou em série.

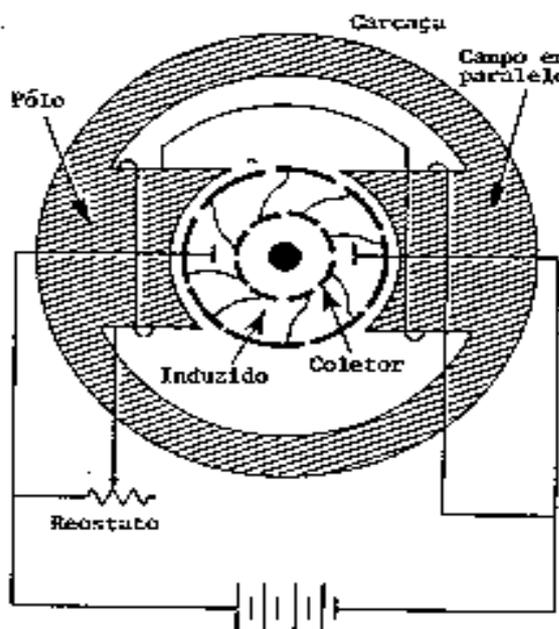


Figura 9-79 Motor em paralelo com controle de variação de velocidade.

Num motor paralelo, a velocidade é controlada por um reostato em série com os enrolamentos do campo (figura 9-79). A velocidade depende da intensidade da corrente que flui através do reostato para os enrolamentos do campo.

Para aumentar a velocidade do motor, a resistência do reostato é aumentada, reduzindo a corrente do campo.

Como resultado, há uma redução na força do campo magnético e na força contra-eletromotriz. Com isto há um aumento momentâneo na corrente do rotor e no torque. O motor então acelerará automaticamente até que a força contra-eletromotriz aumente e provoque uma redução na corrente do rotor, atingindo seu valor inicial.

Quando isto ocorrer, o motor operará numa velocidade fixa e mais elevada do que antes.

Para reduzir a velocidade do motor, a resistência do reostato é reduzida. Mais corrente flui através dos enrolamentos do campo e aumenta sua força; então, a força contra-eletromotriz aumenta momentaneamente e diminui a corrente do rotor.

Conseqüentemente, o torque diminui e o motor opera em baixa velocidade até que a força contra-eletromotriz seja reduzida para seu valor inicial; então o motor opera numa velocidade fixa mais baixa do que antes.

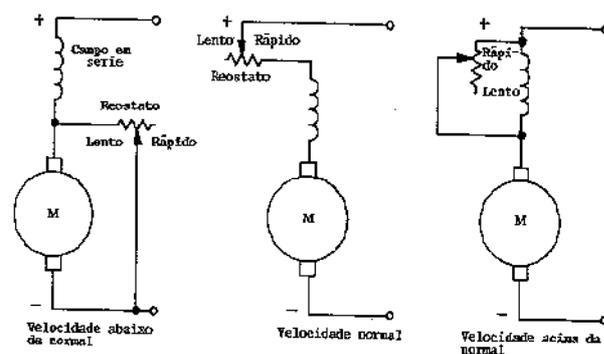


Figura 9-80 Controle da velocidade de um motor CC em série.

No motor em série (figura 9-80), o reostato de controle de velocidade está ligado em paralelo ou em série com o campo do motor, ou em paralelo com o rotor.

Quando o reostato for ajustado para resistência máxima, a velocidade aumentará na

ligação do rotor em paralelo por uma redução na corrente. Quando a resistência do reostato for máxima na ligação em série, a velocidade do motor será reduzida pelo decréscimo da voltagem no motor.

Em operação com a velocidade acima da normal, o reostato estará em paralelo com o campo em série. Parte da corrente do campo em série é desviada e a velocidade do motor aumenta.

Perdas de energia nos motores CC

As perdas ocorrem quando energia elétrica é transformada em energia mecânica (no motor), ou energia mecânica é transformada em energia elétrica (no gerador).

Para a máquina ser eficiente, estas dissipações devem ser mantidas num valor mínimo. Algumas perdas são elétricas, outras são mecânicas. As perdas elétricas são classificadas como perdas de cobre e perdas de ferro; as perdas mecânicas ocorrem ao vencer a fricção de várias partes da máquina.

As perdas de cobre ocorrem quando os elétrons são forçados através dos enrolamentos de cobre do rotor e do campo. Elas são proporcionais ao quadrado da corrente. Às vezes elas são denominadas de perdas $I^2 R$, visto que elas são decorrentes da energia dissipada em forma de calor na resistência do campo e nos enrolamentos do rotor.

As perdas de ferro são subdivididas em pedra por correntes histereses e correntes parasitas (EDDY). As correntes histereses são provocadas pelo movimento do rotor num campo magnético alternado. Ele, portanto, torna-se primeiro magnetizado num sentido e depois em outro.

O magnetismo residual do ferro ou do aço, do qual o rotor é fabricado, provoca essas perdas. Sabendo-se que os ímãs de campo são sempre magnetizados num único sentido (campo CC), eles não têm perdas por histereses.

As perdas por correntes parasitas (EDDY) ocorrem porque o núcleo de ferro do rotor é um condutor rotativo num campo magnético. Isto cria uma força eletromotriz através das partes do núcleo provocando um fluxo de corrente no interior do mesmo. Estas correntes aquecem o núcleo e, se forem excessivas, podem danificar os enrolamentos. No que diz res-

peito à potência de saída, a energia consumida pelas correntes é uma perda.

Para reduzir a corrente parasita a um mínimo, geralmente usa-se um núcleo laminado. O núcleo laminado é feito de placas de ferro isoladas eletricamente umas das outras. O isolamento entre elas reduz as correntes parasitas, porque ele é transversal ao sentido em que estas correntes tendem a fluir. Entretanto, ele não tem efeito no circuito magnético. Quanto mais finas forem as laminações, mais efetivamente este método reduz as perdas por corrente parasita.

Inspeção e manutenção de motores CC

Seguem-se as seguintes instruções durante a checagem de inspeção e manutenção dos motores CC.

- 1- Testar o funcionamento da unidade acionada pelo motor, de acordo com as instruções específicas.
- 2- Testar toda a fiação, conexões, terminais, fusíveis e interruptores quanto à condição geral e segurança.
- 3- Manter os motores limpos e os parafusos de montagem apertados.
- 4- Checar as escovas quanto às condições, comprimento e tensão da mola. Os comprimentos mínimos da escova, a correta tensão da mola, e os procedimentos de substituição das escovas são dados nas instruções fornecidas pelo fabricante.
- 5- Inspeccionar o coletor quanto à limpeza, corrosão ou queimadura. Checar a "mica alta" (se o cobre estiver com desgaste abaixo da mica, ela isolará as escovas do coletor). Limpar o coletor com um pano umedecido com o solvente adequado para limpeza. Lixar a parte áspera ou corroída dos coletores com uma lixa (000 ou mais fina), e soprar com ar comprimido. Nunca utilizar lixa de esmeril, pois ela contém partículas metálicas que podem causar curtos. Substituir o motor se o coletor estiver queimado, pi-

cotado profundamente, com fendas ou desgaste, a tal ponto que o isolamento da mica esteja nivelado com a superfície do coletor.

- 6- Inspeccionar todas as fiações expostas quanto à possível evidência de aquecimento. Substituir o motor se o isolamento dos fios ou enrolamentos estiver queimado, rachado ou esfiapado.
- 7- Lubrificar somente se estiver nas instruções do fabricante para o motor. A maioria dos motores, usados nos aviões atualmente, não necessita de lubrificação durante as revisões.
- 8- Ajustar e lubrificar a caixa de engrenagens, ou a unidade a qual o motor aciona, de acordo com as instruções do fabricante sobre a unidade.

Quando ocorrer pane no sistema do motor CC, checa-se primeiro para determinar a fonte da pane.

O motor é substituído somente quando a pane for devido a um defeito nele mesmo. Na maioria dos casos, a falha de operação de um motor é provocada por um defeito no circuito elétrico externo, ou pela falha no mecanismo acionado pelo motor.

Verifica-se se o circuito elétrico externo está frouxo, ou se as conexões estão sujas ou, ainda, se a conexão da fiação está inadequada. Pesquisa-se quanto a circuitos abertos, massas e curtos, sempre seguindo as instruções do fabricante.

Se o fusível não estiver queimado, a falha de operação do motor geralmente é devido a um circuito aberto.

Um fusível queimado indica comumente uma massa accidental, ou um curto-circuito. A trepidação do relé-interruptor, que controla o motor, geralmente é provocada por uma bateria fraca.

Quando a bateria está fraca, a voltagem de circuito aberto da bateria é suficiente para fechar o relé, mas com o grande consumo de corrente do motor, a voltagem é reduzida abaixo do nível necessário para manter o relé fechado.

Quando o relé abre, a voltagem da bateria aumenta o suficiente para fechar o relé novamente. Este ciclo se repete e provoca trepidação, que é muito prejudicial ao relé-interruptor

devido à grande intensidade da corrente, causando um centelhamento que queimará os contatos. Verifica-se a unidade acionada pelo motor quanto à falha na unidade ou no mecanismo de transmissão. Se o motor for avariado como resultado de uma falha na unidade acionada, a falha deve ser corrigida antes de se instalar um motor novo.

Se for confirmado que a falha é mesmo no motor (pela verificação da voltagem correta nos terminais do motor e falha na unidade acionada), inspeciona-se o coletor e as escovas.

Um coletor sujo ou defeituoso, ou escovas presas podem resultar em mau contato entre as escovas e o coletor. Limpa-se o coletor, as escovas e os porta-escovas com um pano umedecido com solvente adequado.

Se as escovas estiverem danificadas ou com desgaste que reduza seu comprimento ao valor mínimo especificado, instala-se escovas novas de acordo com as instruções do fabricante do motor. Se o motor continuar com falha, ele é substituído por outro.

MOTORES CA

Devido as suas vantagens, muitos tipos de motores elétricos de aviação são projetados para funcionar com corrente alternada. Em geral, os motores CA são mais econômicos do que os motores CC.

Em muitos casos, os motores CA não usam escovas nem coletores e, portanto, o centelhamento nas escovas é evitado.

Eles são muito confiáveis e necessitam de pouca manutenção.

Além disso, eles são bem adaptados a aplicações de velocidade constante, e certos tipos são fabricados para que tenham, dentro de certos limites, características de velocidade variável.

Os motores CA são projetados para operar em linhas monofásicas ou polifásicas e em diversos valores de voltagem.

O estudo dos motores CA é muito extenso e nenhuma tentativa será feita para abranger toda a matéria.

Somente os tipos de motores CA mais comuns aos sistemas de avião serão explicados detalhadamente.

A velocidade da rotação de um motor CA depende do número de pólos e da frequência da fonte de força elétrica:

$$\text{rpm} = \frac{120 \times \text{frequência}}{\text{número de polos}}$$

Visto que os sistemas elétricos do avião operam com 400 Hz, um motor elétrico nesta frequência opera com quase sete vezes a velocidade de um motor comercial de 60 Hz com o mesmo número de pólos.

Devido a essa alta velocidade de rotação, os motores CA de 400 Hz são apropriados para operação de pequenos rotores de alta velocidade, através de engrenagens de redução, levantando ou movimentando cargas pesadas, tais como os flapes da asa, trem de pouso retrátil e partida dos motores. O motor do tipo indução de 400 Hz opera com velocidade que variam de 6.000 a 24.000 rpm.

Os motores CA são classificados pela potência (Hp) de saída, voltagem de operação, corrente com carga total, velocidade, número de fases e frequência. Se os motores operam contínua ou intermitentemente (em pequenos intervalos), é também considerado na classificação.

Tipos de motores C.A.

Há dois tipos de motores CA usados nos sistemas de avião: motores de indução e motores síncronos. Qualquer um dos dois tipos pode ser monofásico, bifásico ou trifásico.

Os motores de indução trifásicos são usados onde são requeridos grandes valores de potência. Eles operam aparelhos, tais como motores de partida, flapes, trens de pouso e bombas hidráulicas.

Os motores de indução monofásicos são usados para operar dispositivos, tais como travas de superfícies, portas de radiadores e válvulas de corte de óleo, nos quais a potência exigida é baixa.

Os motores síncronos trifásicos operam com velocidades síncronas constantes, e geralmente são usados para operar sistemas sincronizadores de bússolas e de hélices.

Os motores síncronos monofásicos geralmente são as fontes comuns de energia para operar relógios elétricos e outros instrumentos pequenos de precisão. Eles necessitam de alguns métodos auxiliares para produzirem velocidades síncronas, isto é, colocá-los em movimento. Geralmente o enrolamento de arranque consiste em um enrolamento de estator auxiliar.

Motor de indução trifásico

Este tipo de motor também é conhecido como motor de gaiola. Tanto os motores monofásicos como os motores trifásicos operam sob o princípio de um campo magnético rotativo.

Um ímã do tipo ferradura, seguro sobre a agulha da bússola, é um exemplo simples do princípio do campo rotativo. A agulha assume a posição paralela ao fluxo magnético passando entre os dois pólos do ímã. Se o ímã for girado, a agulha da bússola o seguirá. Um campo magnético rotativo pode ser produzido por um fluxo de corrente bifásico ou trifásico, fluindo através de dois ou mais grupos de bobinas enroladas nos pólos que se projetam internamente de uma carcaça de ferro.

As bobinas em cada grupo de pólos são enroladas alternadamente em sentido oposto para produzir polaridade oposta, e cada grupo é ligado a uma fase separada de voltagem. O princípio de operação depende do campo magnético rotativo para produzir torque. A chave para a compreensão do motor de indução é o entendimento completo do campo magnético rotativo.

Campo magnético rotativo

A carcaça do campo mostrado em "A" da figura 9-81, possui pólos cujos enrolamentos são energizados pelas voltagens trifásicas a, b e c. Estas voltagens possuem intensidade igual, mas diferem em fase, como mostrado em "B" da figura 9-81.

No instante de tempo mostrado como "0" em "B" da figura 9-81, o campo magnético resultante produzido pela aplicação das três voltagens tem maior intensidade na extensão do sentido do pólo 1 para o pólo 4. Sob esta condição, o pólo 1 pode ser considerado como pólo norte e o pólo 4 como pólo sul.

No instante de tempo mostrado como 1, o campo magnético resultante terá sua maior intensidade na extensão do sentido do pólo 2 para o pólo 5. Nesse caso, o pólo 2 é o pólo norte e o pólo 5 é o pólo sul. Assim sendo, entre o instante "0" e "1", o campo magnético gira no sentido horário.

No instante 2, o campo magnético resultante tem sua maior intensidade no sentido do pólo 3 para o pólo 6 e, o campo magnético resultante continua a girar no sentido horário.

No instante 3, os pólos 4 e 1 podem ser considerados como pólos norte e sul, respectivamente, e o campo gira ainda mais.

Nos instantes posteriores, o campo magnético resultante gira para outras posições enquanto se desloca no sentido horário, ocorrendo apenas uma rotação do campo em um ciclo. Se as voltagens de excitação tiverem uma frequência de 60 cps, o campo magnético faz 60 rotações por segundo ou 3.600 rpm. Esta velocidade é conhecida como velocidade síncrona do campo móvel.

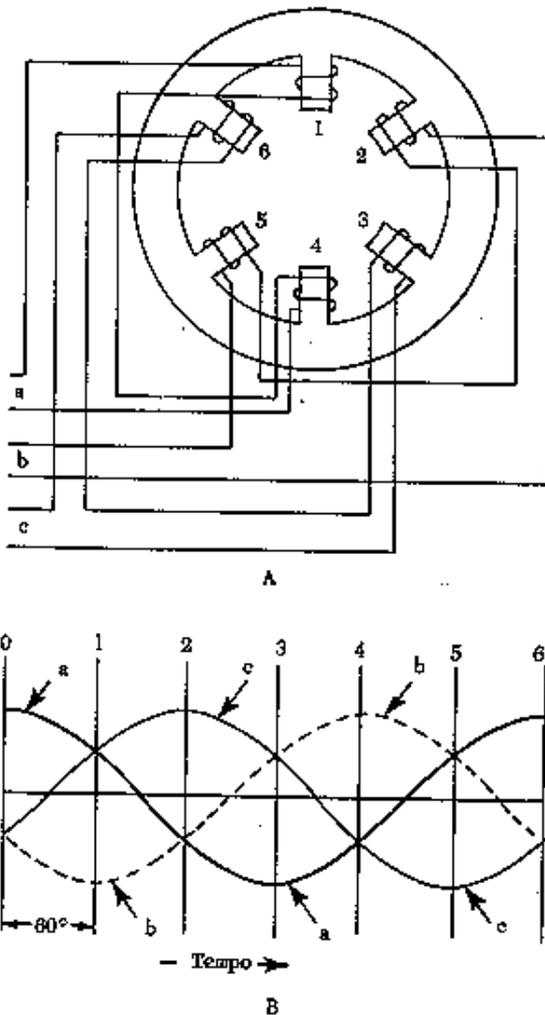


Figura 9-81 Campo magnético rotativo produzido pela aplicação de voltagens trifásicas.

Construção do motor de indução

A parte estática de um motor de indução é chamada de estator, e o elemento rotativo é chamado de rotor. Ao invés de pólos salientes no estator, como mostrado em "A" da figura 9-81, são usados enrolamentos distribuídos; estes enrolamentos são colocados em fendas em volta da periferia do estator.

Geralmente é impossível determinar o número de pólos em um motor de indução apenas por inspeção visual, mas a informação pode ser obtida pela placa de identificação do motor. A placa de identificação geralmente fornece o número de pólos, e a velocidade na qual o motor foi calculado para girar.

Esse valor, ou velocidade não síncrona, é um pouco menor do que a velocidade síncrona. Para determinar o número de pólos por fase no motor, divide-se 120 vezes a frequência pelo valor da velocidade, na forma de equação:

$$P = \frac{120 \times f}{N}$$

onde: "P" é o número de pólos por fase "f" é a frequência em cps (Hz), "N" é a rotação especificada em rpm e 120 é uma constante.

O resultado será quase igual ao número de pólos por fase. Por exemplo, um motor trifásico com 60 ciclos, com uma rotação de 1.750 rpm. Neste caso:

$$P = \frac{120 \times 60}{1750} = \frac{7200}{1750} = 4,1$$

Sendo assim, o motor possui 4 pólos por fase. Se o número de pólos por fase for dado na placa de identificação, a velocidade síncrona pode ser determinada, dividindo-se a frequência vezes 120 pelo número de pólos por fase. No exemplo usado acima, a velocidade síncrona é igual a 7.200 dividido por 4 ou 1.800 rpm.

O rotor de um motor de indução consiste em um núcleo de ferro doce com fendas longitudinais ao redor de sua circunferência, onde encontram-se embutidas grandes barras de cobre ou alumínio.

Estas barras estão soldadas a um anel pesado, de alta condutibilidade, em cada uma de suas extremidades. Este tipo de construção é, às vezes, chamado de gaiola; e os motores que possuem tal rotor são chamados motores de indução tipo "gaiola" (ver figura 9-82).

Deslizamento (SLIP) do motor de indução

Quando o rotor de um motor de indução estiver sujeito ao campo magnético rotativo produzido pelos enrolamentos do estator, uma voltagem será induzida nas barras longitudinais.

A voltagem induzida faz com que haja um fluxo de corrente através das barras. Esta corrente, por sua vez, produz seu próprio campo

magnético que, em combinação com o campo rotativo, faz com que o motor adquira uma posição onde a voltagem induzida seja reduzida.

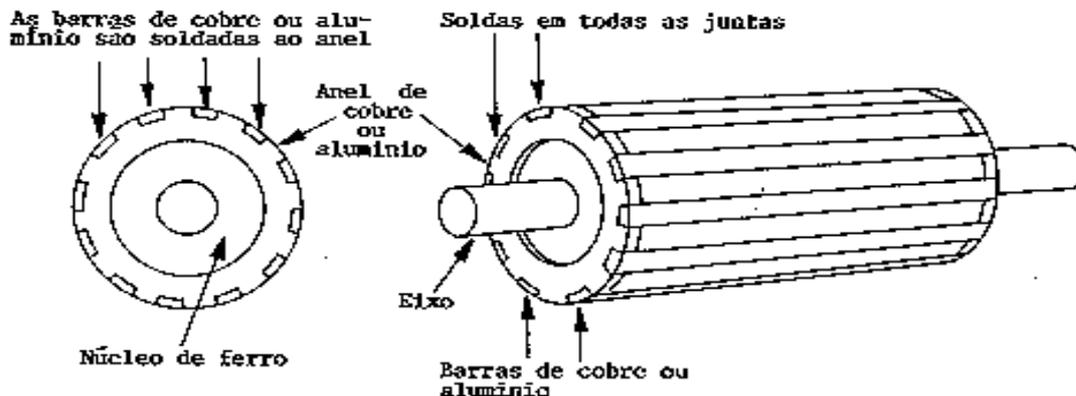


Figura 9-82 Rotor tipo gaiola para um motor CA de indução.

Como consequência, o rotor gira com uma velocidade muito próxima da velocidade síncrona do campo do estator, sendo que a diferença na velocidade é somente suficiente para induzir a intensidade correta de corrente no rotor para compensar as perdas mecânicas e elétricas.

Se o rotor girasse com a mesma rotação elétrica do campo, os condutores do rotor não seriam cortados por nenhuma linha de força magnética, e nenhuma força eletromotriz seria induzida neles, nenhuma corrente fluiria e não haveria torque. O rotor então perderia rotação. Por esta razão, deve haver sempre uma diferença na velocidade entre o rotor e o campo giratório.

Esta diferença é chamada de deslizamento e é expressa como uma porcentagem da velocidade síncrona. Por exemplo, se o rotor girar com 1750 rpm, e a velocidade for de 1.800 rpm, a diferença na velocidade será de 50 rpm. O deslizamento é então igual a $50/1.800$ ou 2,78%.

Motor de indução monofásico

A apresentação anterior referiu-se somente aos motores polifásicos. Um motor monofásico tem somente um enrolamento no estator. Este enrolamento gera um campo que simplesmente pulsa ao invés de girar.

Quando o rotor estiver parado, a expansão e o colapso do campo magnético do estator induz correntes no rotor. Estas correntes geram no rotor um campo de polaridade oposta àquele do rotor. A posição do campo exerce uma força de torção sobre as partes superior e inferior do

rotor tentando girá-lo 180° além de sua posição. Considerando que estas forças são exercidas através do centro do rotor, a força de torção é igual em cada sentido. Como resultado, o rotor não gira.

Se o rotor fosse girado inicialmente, ele continuaria a girar no sentido inicial, visto que a força de torção naquele sentido é auxiliada pela energia cinética do rotor.

Motor de indução de pólo sombreado

O primeiro passo no desenvolvimento de um motor monofásico de arranque automático foi o motor de indução de pólo sombreado (figura 9-83). Esse motor possui pólos salientes e uma parte de cada pólo é envolvida por um anel de cobre maciço.

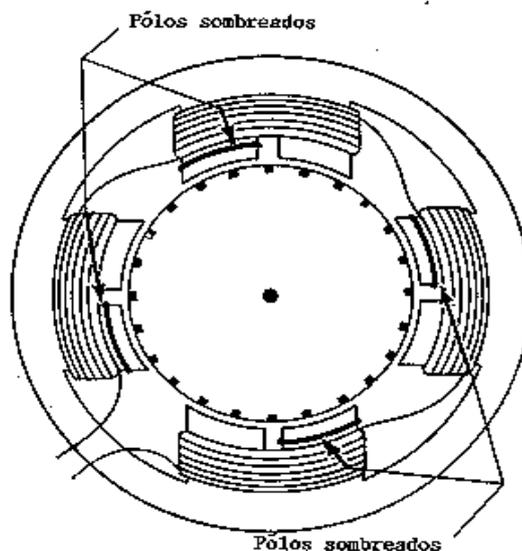


Figura 9-83 Motor de indução de pólo sombreado.

A presença do anel faz com que o campo magnético nesta parte se retarde apreciavelmente da outra parte do conjunto polar. O efeito total é a produção de uma componente de pequena rotação do campo, suficiente para fazer o rotor girar. À medida que o rotor acelera, o torque aumenta até atingir a velocidade especificada. Tais motores têm um torque de arranque baixo e encontram sua maior aplicação nos motores de ventilador pequeno, onde o torque inicial necessário é baixo.

Na figura 9-84, acha-se o diagrama de um pólo e do rotor. Os pólos do motor de pólo sombreado assemelham-se aos do motor CC.

Uma bobina de baixa resistência em curto-circuito, ou um anel de cobre maciço é colocado em volta de cada pequeno pólo. O rotor deste motor é do tipo gaiola.

À medida que a corrente no enrolamento do estator aumenta, o fluxo também aumenta. Uma parte deste fluxo corta a bobina sombreada de baixa resistência. Isto induz uma corrente nesta bobina e, pela lei de Lenz, a corrente cria um fluxo que se opõe ao fluxo induzindo a corrente. Conseqüentemente, a maior parte do fluxo passa pela parte não sombreada dos pólos, como mostrado na figura 9-84.

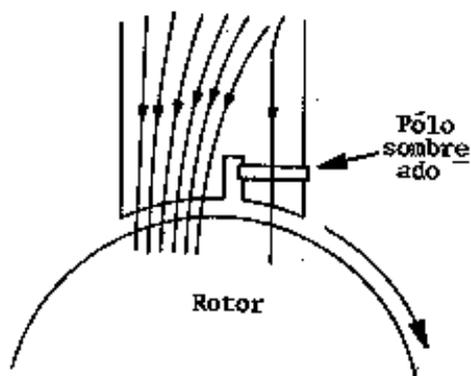


Figura 9-84 Diagrama do motor de pólo sombreado.

Quando a corrente no enrolamento e o fluxo principal atingem um valor máximo, a razão de variação é zero; e assim sendo, nenhuma força eletromotriz é induzida na bobina sombreada. Pouco depois, a corrente na bobina sombreada que provoca o retardo da força eletromotriz atinge o valor zero, sem fluxo oposto. Portanto, o fluxo do campo principal passa através da parte sombreada do pólo do campo.

O fluxo do campo principal, que agora está diminuindo, induz uma corrente na bobina

sombreada. Pela lei de Lenz, esta corrente cria um fluxo que se opõe ao decréscimo do fluxo do campo principal na parte sombreada do pólo. O efeito é concentrar as linhas de força na parte sombreada do pólo do campo.

Com efeito, a bobina sombreada retarda em fase, a parte do fluxo que passa pela parte sombreada do pólo. Este atraso na fase do fluxo na ponta sombreada faz com que o fluxo produza o efeito de varredura através da face do pólo, da esquerda para a direita no sentido da ponta sombreada. Este fluxo se comporta como um campo magnético rotativo muito fraco, e um torque suficiente é produzido para dar partida em um motor pequeno.

O torque de arranque do motor de pólo sombreado é extremamente fraco e o fator de potência é baixo. Conseqüentemente, ele é fabricado em tamanhos adequados para acionar aparelhos pequenos como ventiladores.

Motor de fase dividida

Há vários tipos de motores de partida automática, conhecido como motores de fase dividida.

Esses motores têm um enrolamento de partida defasado 90 graus elétricos do enrolamento principal ou trabalho. Em alguns tipos, o enrolamento de partida possui uma resistência razoavelmente alta, que faz com que a corrente neste enrolamento esteja fora de fase com a corrente no enrolamento principal. Esta condição produz, com efeito, um campo rotativo e o rotor gira. Um interruptor centrífugo desliga o enrolamento de partida automaticamente, após o rotor atingir aproximadamente 25% do seu valor nominal de velocidade.

Motor com capacitor de partida

Com o desenvolvimento dos capacitores eletrolíticos de alta capacidade, foi fabricada uma variação do motor de fase dividida, conhecido como motor com capacitor de partida.

Aproximadamente todos os motores de potência (HP) fracionária usados atualmente nos refrigeradores, queimadores de óleo ou outras aplicações semelhantes são deste tipo. Ver figura 9-85. Nesta adaptação, o enrolamento de partida e o enrolamento principal são do mesmo tamanho e valor de resistência.

O deslocamento de fase entre as correntes nos dois enrolamentos é obtido pelo uso de capacitores ligados em série com o enrolamento de partida.

Os motores com capacitor de partida têm um torque inicial comparável aos seus torques

em velocidade nominal, e podem ser usados em aplicações onde a carga inicial for grande. Neste tipo, é necessário também, um interruptor centrífugo para desligar o enrolamento de partida quando a velocidade do rotor for de aproximadamente 25% da velocidade nominal.

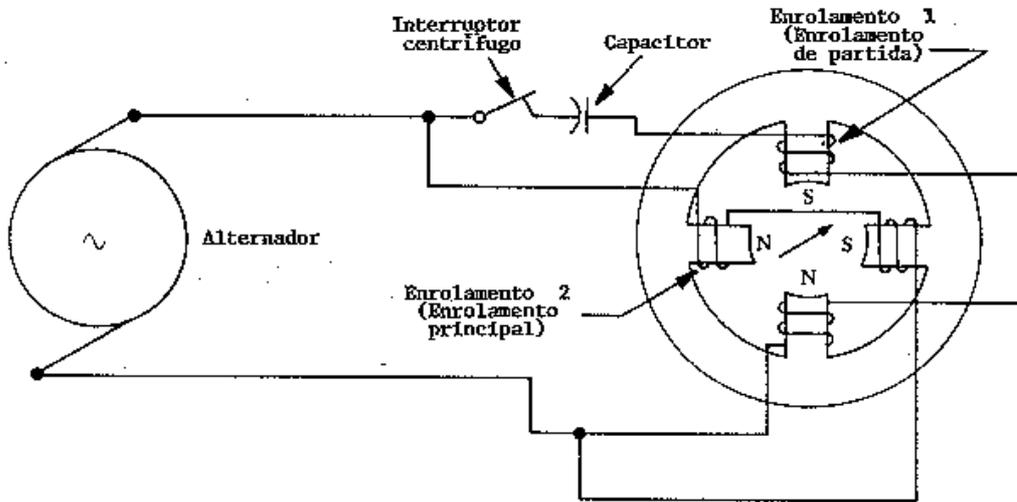


Figura 9-85 Motor monofásico com capacitor de partida.

Embora alguns motores de indução monofásicos possuam potência nominal até dois Hps, o campo principal de aplicação é igual a 1 HP, ou menos, numa especificação de voltagem de 115 volts para os tamanhos menores, e 110 a 220 volts para os de $\frac{1}{4}$ HP e maiores.

Os motores polifásicos geralmente são usados para motores com maior potência nominal, pois eles possuem um torque inicial de características excelentes.

Sentido de rotação dos motores de indução

O sentido de rotação de um motor de indução trifásico pode ser modificado pela simples inversão de dois fios ligados ao motor.

O mesmo efeito pode ser obtido num motor bifásico, invertendo-se as ligações para uma fase.

No motor monofásico, invertendo-se as ligações para o enrolamento de partida inverte-se o sentido da rotação. Muitos motores monofásicos construídos para aplicação geral têm provisão para se inverter rapidamente as ligações para o enrolamento de partida.

Nada pode ser feito para que um motor de pólo sombreado inverta o sentido da rotação, porque esta é determinada pela localização física do anel de cobre maciço.

Se, após a partida, uma ligação do motor trifásico for interrompida, o motor continuará a girar, mas fornecerá somente $\frac{1}{3}$ da potência nominal. Por outro lado, um motor bifásico funcionará com a metade de sua potência caso uma das fases seja desligada. Nenhum dos motores citados partirão sob aquelas condições anormais.

Motor síncrono

O motor síncrono é um dos tipos principais de motores CA. Exatamente como o motor de indução, o motor síncrono utiliza um campo magnético rotativo. Entretanto, o torque desenvolvido não depende da indução de correntes no rotor.

De forma resumida, o princípio de operação do motor síncrono é o seguinte: uma fonte polifásica de corrente alternada é aplicada aos enrolamentos do estator e é produzido um campo magnético rotativo. Uma corrente contínua é aplicada ao enrolamento do rotor e um outro campo magnético é produzido. O motor síncrono é projetado e construído de forma que os dois campos reajam entre si provocando o arraste do rotor, fazendo-o girar com a mesma velocidade do campo magnético produzido pelos enrolamentos do estator.

Uma boa compreensão da operação do motor síncrono pode ser obtida pela observação do motor simples na figura 9-86.

Supondo que os pólos "A" e "B" estejam girando no sentido horário por algum dispositivo mecânico, a fim de produzir um campo magnético rotativo, eles induzem pólos de polaridade oposta no rotor de ferro doce, e forças de atração existem entre os pólos correspondentes norte e sul.

Consequentemente, quando os pólos "A" e "B" giram, o motor é arrastado na mesma velocidade. Entretanto, se uma carga for aplicada ao eixo do rotor, ele se atrasará momentaneamente em relação ao campo rotativo mas, depois disso, continuará a girar com o campo na mesma velocidade enquanto a carga permanecer constante. Se a carga for muito grande, o rotor sairá de sincronismo com o campo rotativo e, como resultado, não girará com a mesma velocidade daquele. Diz-se, então, que o motor está sobrecarregado.

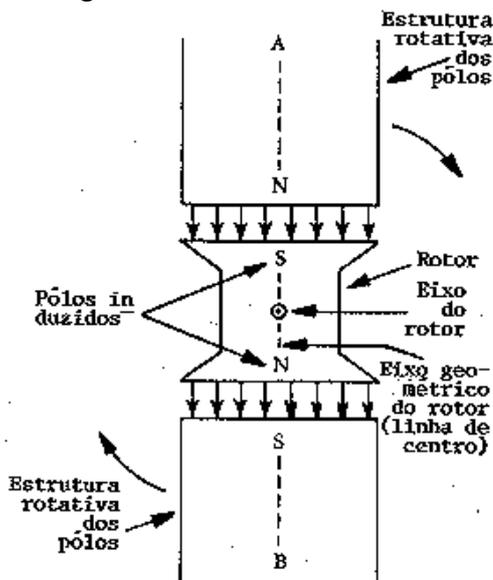


Figura 9-86 Ilustração do funcionamento de um motor síncrono.

Tal motor mostrado na figura 9-86 nunca é usado. A idéia de utilizar meios mecânicos de rotação dos pólos é impraticável, porque seria necessário outro motor para que este trabalho fosse realizado. Além disso, esta elaboração é desnecessária porque um campo magnético rotativo pode ser produzido eletricamente pelo uso de voltagens CA. Neste aspecto, o motor síncrono é semelhante ao motor de indução.

O motor síncrono consiste em um enrolamento de campo, semelhante ao estator do

motor de indução. O enrolamento do estator produz um campo magnético rotativo. O rotor pode ser um ímã permanente, como nos motores síncronos monofásicos de tamanho reduzido, usados por relógios e outros pequenos equipamentos de precisão, ou pode ser também um eletroímã energizado por uma fonte de força DC, e alimentado através de anéis coletores nas bobinas de campo do rotor, como um alternador. Na realidade, um alternador pode ser operado como um alternador ou um motor síncrono.

Visto que um motor síncrono tem um torque inicial pequeno, algumas medidas são tomadas com o intuito de produzir uma velocidade síncrona. O método mais comum é dar partida no motor sem carga, permitir que ele atinja a velocidade máxima, e então energizar o campo magnético. O campo magnético do rotor acompanha o campo magnético do estator, e o motor opera numa velocidade síncrona.

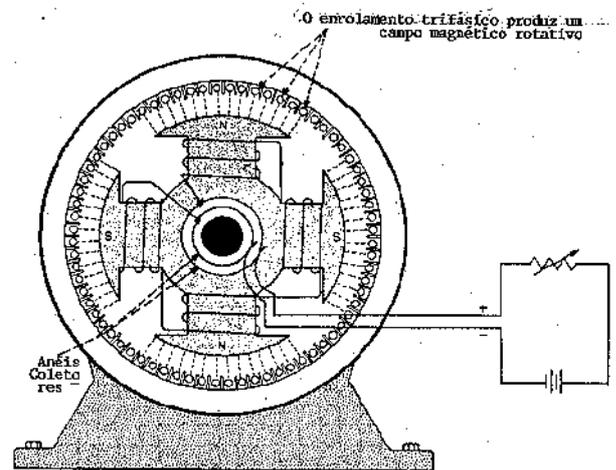


Figura 9-87 Motor síncrono.

A intensidade dos pólos induzidos no rotor, mostrado na figura 9-87, é tão pequena que não pode ser desenvolvido torque suficiente para a maioria das cargas práticas.

Para evitar esta limitação na operação do motor, um enrolamento é colocado no rotor, e energizado com corrente contínua. Um reostato colocado em série com a fonte CC proporciona ao operador da máquina meios para variar a intensidade dos pólos do rotor, colocando o motor sob controle de variação de carga.

O motor síncrono não é um motor de partida automática. O rotor é grande e, do ponto morto, é impossível levar o campo magnético do rotor junto com o campo magnético rotativo. Por esta razão, todos os motores síncronos têm algum tipo de dispositivo de partida.

Um tipo de motor de partida simples é um outro motor, seja CA ou CC, que leva o rotor até aproximadamente 90% da sua velocidade síncrona.

O motor de partida é então desligado, e o rotor acompanha o campo rotativo. Um outro método de partida é um enrolamento secundário do tipo “gaiola” no rotor. Este enrolamento de indução leva o rotor até uma velocidade quase síncrona e, quando a corrente contínua é ligada aos enrolamentos do rotor, este entra em sincronismo com o campo. O último método é o mais comumente usado.

Motor em série CA

Um motor em série CA é um motor monofásico, mas não é um motor de indução ou síncrono. Ele é semelhante a um motor CC porquanto possui escovas e um coletor.

O motor em série CA opera em circuitos CA ou CC. Isto faz lembrar que o sentido da rotação de um motor em série CC é independente da polaridade da voltagem aplicada, considerando que as ligações do campo e do rotor permanecem invariáveis.

Assim sendo, se um motor em série CC for ligado a uma fonte CA, um torque será desenvolvido, provocando a rotação do rotor num sentido.

Entretanto, um motor em série CC não opera satisfatoriamente com alimentação CA pelas seguintes razões:

- 1- O fluxo alternado cria grandes dissipações de correntes parasitas e histereses na parte não laminada do circuito magnético, provocando um aquecimento excessivo e eficiência reduzida.
- 2- A auto-indução dos enrolamentos do campo e do rotor provoca um baixo fator de potência.
- 3- O fluxo alternado do campo cria elevadas correntes nas bobinas que são curto-circuitadas pelas escovas; esta ação provoca grande centelhamento no coletor.

Para construir um motor em série com desempenho satisfatório em CA, deverão ser feitas as seguintes modificações:

- 1- As perdas por correntes parasitas são reduzidas pela laminação dos pólos do campo, da carcaça e do rotor.
- 2- As perdas por histereses são reduzidas, usando-se laminações de ferro-silício de alta permeabilidade do tipo transformador.
- 3- A reatância dos enrolamentos do campo é mantida satisfatoriamente baixa, usando-se peças polares delgadas, com poucas espiras, baixa frequência (geralmente 25 ciclos para motores maiores), baixa densidade de fluxo e baixa relutância (uma folga pequena).

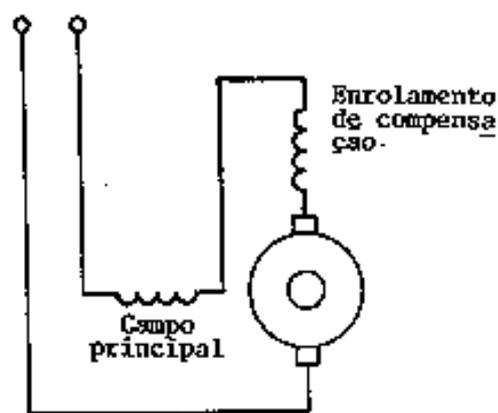


Figura 9-88 Induzido condutivamente compensado de motor em série.

- 4- A reatância do rotor é reduzida, usando-se um enrolamento de compensação embutido nas peças polares. Se o enrolamento de compensação estiver ligado em série como mostrado na figura 9-88, o rotor é compensado condutivamente. Se o enrolamento de compensação for projetado como mostrado na figura 9-89, o rotor será compensado indutivamente. Se o motor for construído para operar em circuitos CC e CA, o enrolamento de compensação será ligado em série com o rotor. O eixo deste enrolamento será deslocado do eixo do campo principal por um ângulo de 90°. Esta adaptação é semelhante ao enrolamento de compensação usado em alguns motores e geradores CC para sobrepujar a reação do rotor. O enrolamento de compensação estabelece uma força contra-magnetomotriz,

neutralizando o efeito da força magnetomotriz do rotor, evitando distorção do fluxo do campo principal e reduzindo a reatância do rotor. O rotor compensado indutivamente atua como o primário de um transformador, cujo secundário é curto-circuitado pelo enrolamento de compensação. O secundário em curto recebe uma voltagem induzida pela ação do fluxo alternado do rotor, e o fluxo de corrente resultante através das espiras do enrolamento de compensação cria uma força magnetomotriz de posição, neutralizando a reatância do rotor.

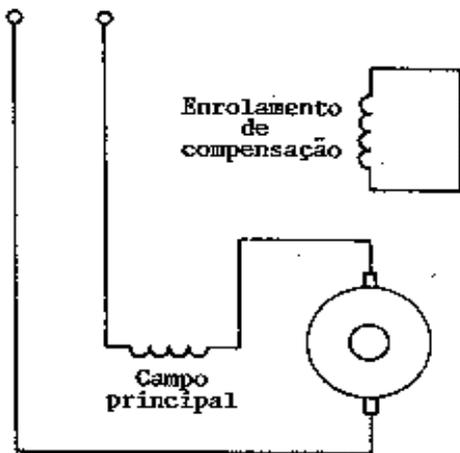


Figura 9-89 Induzido condutivamente compensado de motor em série C.A.

- 5- O centelhamento do coletor é reduzido pelo uso dos fios preventivos P1, P2, P3 e assim por diante, como mostra a figura 9-90, onde um rotor em forma de anel é mostrado por simplicidade. Quando as bobinas em "A" e "B" estiverem em curto com as escovas, a corrente induzida será limitada pela resistência relativamente alta dos fios. O centelhamento das escovas é também reduzido pelo uso das bobinas do rotor tendo somente uma única volta e campos multipolares. O torque alto é obtido pelo grande número de condutores no rotor e grande diâmetro do rotor. Assim sendo, o coletor possui um grande número de barras muito finas, e a voltagem do rotor é limitada em cerca de 250 volts.

Os motores em série CA com potência fracionária são denominados de motores universais. Eles não têm enrolamentos de compensação ou fios preventivos. Eles são usados am-

plamente para operar ventiladores e ferramentas portáteis, tais como furadeiras, rebolos e serras.

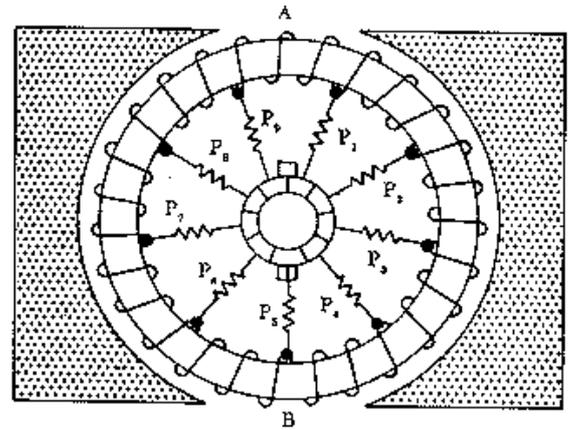


Figura 9-90 Bobinas preventivas num motor em série.

MANUTENÇÃO DE MOTORES C.A.

A inspeção e manutenção dos motores CA é muito simples. Os rolamentos podem ou não necessitar de lubrificação constante. Se eles forem do tipo selado, lubrificados na fábrica, não necessitarão de inspeção. Certificamo-nos de que as bobinas estão secas, sem vestígios de óleo ou qualquer outra anomalia.

A temperatura de um motor é geralmente seu único fator de limite operacional. Uma boa regra prática, é que, uma temperatura muito quente para a mão é muito alta para a segurança do motor.

Juntamente com a temperatura, o ruído de um motor ou gerador é o melhor indicador de pane. Quando opera corretamente, ele deve soar uniformemente. Se ele estiver sobrecarregado, ele roncará. Um motor trifásico com um fio desligado não partirá e ficará rosnando. Um ruído de batida geralmente indica um afrouxamento na bobina do rotor, um eixo fora de alinhamento ou arraste do induzido devido ao desgaste dos rolamentos. A inspeção e manutenção de todos os motores CA devem ser realizadas de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante.

Pesquisa de panes

Os procedimentos de pesquisa de panes que se seguem não são aplicáveis a um determinado motor AC, mas são incluídos como exemplos dos procedimentos gerais de pesquisa de panes fornecidos por vários fabricantes de motores CA.

PANE	CAUSA PROVÁVEL	CORREÇÃO
Motor com baixa rotação.	Sem lubrificação. Voltagem aplicada baixa. Defeito na fiação do motor.	Lubrificar quando necessário. Verificar a fonte de voltagem do motor. Fazer o teste de continuidade da fiação.
Motor em alta rotação.	Voltagem aplicada excessiva. Enrolamento de campo do motor em curto.	Verificar e ajustar o nível de fornecimento de voltagem do motor. Consertar os enrolamentos em curto ou substituir ou fazer a revisão do motor.
Motor não funciona. . Motor sem voltagem de entrada.	Fiação solta ou interrompida dentro do motor. Interruptor do motor defeituoso. Enrolamento do rotor ou campo do circuito aberto. Desgaste excessivo das escovas. Molas das escovas quebradas ou muito fracas. Prendimento das escovas nos porta-escovas.	Fazer o teste de continuidade do motor. Testar interruptor e a fiação usando um medidor de continuidade. Consertar o enrolamento aberto ou substituir o motor. Substituir as escovas. Substituir as molas das escovas. Substituir ou limpar, ou ajustar as escovas.
Vibração do motor.	Montagens do motor frouxas ou quebradas. Eixo do motor torto. Rolamentos do motor com desgaste excessivo.	Consertar ou substituir montagens do motor. Substituir o eixo, ou revisar, ou substituir os rolamentos ou revisar o motor.
Centelhamento excessivo nas escovas do motor.	Desgaste excessivo das escovas. Molas das escovas fracas. Prendimento das escovas nos porta-escovas. Escovas instaladas incorretamente. Coletor sujo ou com desgaste excessivo ou picotado. Bobina do rotor com circuito aberto.	Substituir as escovas. Substituir as molas, ou substituir ou limpar as escovas. Posicionar as escovas corretamente. Limpar ou consertar o coletor adequadamente. Consertar o circuito aberto ou substituir o motor.
Motor funciona, mas superaquece.	Rolamentos do motor incorretamente lubrificados. Voltagem excessiva aplicada. Enrolamento do campo em curto-circuito. Centelhamento excessivo da escova.	Lubrificar os rolamentos. Verificar a voltagem e ajustar para o nível exato. Consertar o curto-circuito, ou revisar ou substituir. Substituir e ajustar as escovas.
Motor não funciona, mas consome alta corrente.	Curto-circuito no motor. Enrolamento do campo aberto no motor em paralelo. Parada mecânica. Carga excessiva no motor.	Localizar e consertar o curto-circuito. Consertar, revisar ou substituir o motor. Verificar se os rolamentos do motor estão emperrados ou se há empeno no mecanismo acionado pelo motor. Reparar ou substituir os componentes defeituosos. Reduzir a carga ou instalar um motor capaz de suportar maior carga.

CAPÍTULO 10

PRINCÍPIOS DA INSPEÇÃO

INTRODUÇÃO

As inspeções são exames, visuais e manuais, para determinar a condição de um componente ou de um avião. A inspeção do avião pode se estender desde uma simples caminhada em volta do mesmo até um exame detalhado, compreendendo uma completa desmontagem, e a utilização de complexos auxílios à inspeção.

Um sistema de inspeção consiste de diversos processos, compreendendo:

1) As reclamações feitas pela tripulação ou inspetor do avião; e

2) As inspeções regularmente programadas para o avião. O sistema de inspeção é projetado para manter o avião na melhor condição possível. As inspeções gerais e periódicas devem ser consideradas a coluna mestra de um bom programa de manutenção. A inspeção irregular ou ocasional resultará certamente na deterioração gradual e total de uma aeronave. O tempo que deverá ser gasto na conseqüente recuperação será bem mais longo que o tempo ganho nas rápidas inspeções de rotina e manutenção.

Está provado que as inspeções regularmente programadas e a manutenção preventiva asseguram boas condições de vôo. As falhas operacionais e defeitos do equipamento são apreciavelmente reduzidos, se o desgaste ou pequenos defeitos, forem detectados e corrigidos o mais cedo possível.

Não se pode deixar de enfatizar a importância das inspeções e a utilização correta das fichas de inspeção.

As inspeções da estrutura do avião e do motor podem compreender, desde os testes de pré-vôo às verificações detalhadas.

O tempo dedicado aos períodos de inspeção varia com o modelo do avião e, de acordo com os tipos de operações levadas a termo.

As instruções do fabricante do avião e do motor devem ser consultadas ao serem estabelecidos os intervalos entre as inspeções.

O avião pode ser inspecionado, utilizando as horas de vôo como base de programação, ou sob um sistema de calendário. Neste último caso,

a inspeção adequada é executada ao se expirar o prazo correspondente a um número específico de semanas. Este sistema é bastante eficiente sob o ponto de vista de controle da manutenção. A substituição programada de componentes que possuem horas limites operacionais é, normalmente, efetuada durante a inspeção sob calendário mais próximo destas limitações.

Em alguns casos, é estabelecido um limite para as horas de vôo, compreendidas entre os intervalos das inspeções pelo sistema de calendário.

A inspeção programada, sob o sistema de horas de vôo, tem lugar quando é acumulado um número específico de horas voadas. Também, neste caso, os componentes que possuem horas limites operacionais são substituídos durante a inspeção mais próxima destas limitações.

INSPEÇÕES OBRIGATÓRIAS

O órgão regulador do governo estipula a inspeção de toda aeronave civil a intervalos específicos, dependendo geralmente do tipo de operação que realiza, com a finalidade de comprovar seu estado geral. Alguns aviões devem ser inspecionados de 12 em 12 meses, enquanto outros a cada 100 horas de vôo.

Em certos casos, um avião pode ser inspecionado de acordo com um sistema que possibilite sua inspeção total ao longo de determinado tempo ou de horas voadas.

A fim de determinar as normas e exigências de uma inspeção específica, deve-se consultar o órgão regulador do governo que determina os critérios para inspeção e manutenção da aeronave, dependendo da atividade operacional.

TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

Antes de iniciarmos uma inspeção, verificamos se todas as tampas, portas de acesso, carenagens e capotas acham-se abertas ou removidas; bem como se a estrutura encontra-se limpa.

Ao se abrir as tampas de inspeção ou capotas, e antes de deixar a área limpa verificamos a presença de óleo ou qualquer outra evidência de vazamento.

FICHAS DE INSPEÇÃO

Utiliza-se sempre uma relação de itens ao realizar a inspeção.

A lista de verificações pode ser de sua própria confecção, fornecida pelo fabricante do equipamento sob inspeção, ou obtida de alguma outra fonte.

A ficha de inspeção deve incluir:

1) Setor da fuselagem e equipamentos:

- a) Entelagem e chapeamento - quanto à deterioração, empenos, outras evidências de falha, bem como fixações inseguras ou defeituosas.
- b) Sistemas e componentes - quanto à correta instalação, defeitos aparentes e operação satisfatória.
- c) Tanques celulares de combustível, tanques de lastro e partes relacionadas - quanto ao estado.

2) Setor das cabines de comando e passageiros:

- a) De um modo geral - quanto à limpeza e fixação de equipamentos
- b) Poltronas e cintos de segurança - quanto ao estado e fixação.
- c) Janelas e pára-brisas - quanto a deterioração e rachaduras.
- d) Instrumentos - quanto ao estado, fixação, marcações e, quando possível, operação adequada.
- e) Controles de vôo e dos motores - quanto à correta instalação e operação.
- f) Baterias - quanto à correta instalação e carga.
- g) Todos os sistemas - quanto à correta instalação, estado geral, defeitos aparentes e segurança da fixação.

3) Setor do motor e da nacela:

- a) Seção do motor - quanto à evidência de vazamento de óleo, combustível ou fluido hidráulico, e o motivo de tais vazamentos.
- b) Prisioneiros e porcas - quanto ao aperto correto e defeitos evidentes.

- c) Interior do motor - quanto à compressão dos cilindros, e quanto à existência de partículas metálicas ou de origem estranha nas telas e bujões dos reservatórios de drenagem. Se a compressão dos cilindros estiver fraca, verificar qualquer irregularidade nas condições e tolerâncias internas.
- d) Berço do motor - quanto a rachaduras, folgas nos montantes de fixação ou entre o motor e seus montantes.
- e) Amortecedores flexíveis de vibração - quanto ao estado e deterioração.
- f) Controles do motor - quanto a defeitos inerentes aos comandos e à correta frenagem.
- g) Tubulações, mangueiras e braçadeiras - quanto a vazamentos, estado geral e aperto.
- h) Descarga do motor - quanto a rachaduras, defeitos e à correta fixação.
- i) Acessórios - quanto a defeitos aparentes na segurança da fixação.
- j) Todos os sistemas - quanto à instalação correta, defeitos nas condições gerais e fixação adequada.
- k) Capota - quanto a rachaduras e defeitos.
- l) Acionamento e verificação funcional do motor no solo - quanto ao seu desempenho e a operação adequada dos controles do motor e dos instrumentos.

4) Setor do trem de pouso:

- a) Todos os componentes - quanto ao estado e segurança da fixação:
- b) Amortecedores - quanto ao correto nível do óleo.
- c) Hastes, articulações e suportes - quanto ao desgaste excessivo, fadiga do material e deformações.
- d) Mecanismo de retração e distensão - quanto à operação correta.
- e) Tubulações hidráulicas - quanto a vazamento.
- f) Sistema elétrico - quanto a desgaste e operação correta dos interruptores.
- g) Rodas - quanto a rachadura e estado dos rolamentos.
- h) Pneus - quanto a cortes e desgaste.
- i) Freios - quanto ao ajuste correto.

5) Asas e seção central:

- a) Todos os componentes - quanto ao estado e fixação.
- b) Entelagem e chapeamento - quanto à deterioração, empenos, outras evidências de falha; bem como fixações inseguras ou defeituosas.
- c) Estrutura interna (longarinas, nervuras e elementos de compressão) - quanto a rachaduras, empenos e fixação.
- d) Superfícies móveis - quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixação imperfeita da entelagem ou das chapas e deslocamento correto.
- e) Mecanismo de controle - quanto à liberdade de movimento, alinhamento e fixação.
- f) Cabos de controle - quanto à tensão correta, esgarçamento, desgaste e passagem adequada pelas guias e polias.

6) Setor da empenagem:

- a) Superfícies fixas - quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixadores frouxos e fixação adequada.
- b) Superfícies móveis de controle - quanto a avarias ou defeitos evidentes, fixadores frouxos, entelagem frouxa ou empenos nas chapas.
- c) Entelagem ou chapeamento - quanto a desgaste, rasgos, cortes ou defeitos, deformação, e deterioração.

7) Setor da hélice:

- a) Conjunto da hélice - quanto a rachaduras, mossas, empenos e vazamento de óleo.
- b) Parafusos - quanto ao aperto correto e à frenagem.
- c) Dispositivos contra formação de gelo - quanto à operação correta e defeitos evidentes.
- d) Mecanismos de controle - quanto à operação correta, fixação adequada e deslocamento.

8) Setor de comunicações e navegação:

- a) Equipamento rádio e eletrônico - quanto à instalação correta e fixação adequada.
- b) Fiação e cablagens - quanto à disposição correta, fixação adequada e defeitos evidentes.
- c) Ligação à massa e blindagem - quanto à instalação correta e condição.
- d) Antenas - quanto ao estado, fixação adequada e operação correta.

9) Equipamentos diversos (miscelânea):

- a) Equipamento de emergência e primeiros-socorros quanto ao estado geral e armazenagem correta.
- b) Pára-quadras, barcos salva-vidas, pára-quadras luminoso, etc - inspecionar de acordo com as recomendações do fabricante.
- c) Sistema de piloto automático - quanto ao estado geral, fixação adequada e operação correta.

DOCUMENTAÇÃO DO AVIÃO

"Documentação do Avião" é um termo usado neste manual, que compreende o livro de bordo e todos os registros suplementares referentes ao avião. O livro e os registros fornecem um histórico da manutenção e operação, controle das programações de manutenção e informações concernentes à época da substituição dos componentes ou acessórios.

O livro de bordo é o documento no qual são registradas todas as informações relativas ao avião. Elas indicam o estado do avião, as datas das inspeções e o tempo da estrutura e dos motores. O livro de bordo reflete a história de todos os acontecimentos importantes relativos à estrutura, seus componentes e acessórios, apresentando, ainda, um local para o registro da execução de serviços, exigido pelos órgãos governamentais ou boletins de serviço dos fabricantes.

INSPEÇÕES ESPECIAIS

Durante a vida útil de uma aeronave, poderão sobrevir ocasiões em que sejam realizados pousos com excesso de peso, ou, em que, parte de um vôo possa ter ocorrido sob turbulência

severa. Pousos com impactos severos também ocorrem por motivos diversos.

Na ocorrência de qualquer destas situações, deverão ser observados procedimentos especiais de inspeção, com a finalidade de verificar se houve qualquer dano à estrutura do avião. Os procedimentos descritos nas páginas seguintes são de ordem geral e objetivam familiarizar o mecânico do avião com as áreas que devem ser inspecionadas. Qualquer uma destas inspeções especiais executadas, segue sempre os procedimentos detalhados do manual de manutenção do fabricante.

Inspeção devido a pouso com impacto ou excesso de peso

O esforço estrutural exigido durante um pouso depende não somente do peso total do avião, mas também da intensidade do impacto. Entretanto, devido à dificuldade em calcular a velocidade vertical durante o contato, é difícil julgar se um pouso foi suficientemente "duro", a ponto de causar dano estrutural. Por este motivo, uma inspeção especial, após um pouso com peso ou impacto excessivo, deverá ser executada, mesmo que o impacto tenha ocorrido, estando o avião com o peso dentro do limite estipulado.

Os sinais mais facilmente detectados de esforço excessivo, imposto durante o pouso, são rugas nas chapas das asas.

Outra indicação que pode ser facilmente detectada é o vazamento de combustível ao longo de chapas rebitadas.

Alguns locais possíveis de danos são na "alma" da longarina, anteparos, chapas e fixações das naceles, chapa de paredes de fogo, e nervuras das asas e fuselagem.

Se nenhuma dessas áreas apresentar sinais de terem sido adversamente afetadas, pode-se concluir, razoavelmente, que não houve a ocorrência de avaria grave. Se qualquer irregularidade for detectada, uma inspeção mais prolongada pode se tornar necessária, além de uma verificação de alinhamento.

Inspeção devido a turbulência severa

Quando o avião enfrenta rajadas, a carga de ar imposta sobre as asas excede a carga normal de sustentação do peso do avião. A rajada procura acelerar o avião, enquanto que, sua inércia, age no sentido de resistir a esta ação. Se a

combinação da velocidade da rajada com a velocidade do avião exceder certos limites, o esforço induzido pode ocasionar danos estruturais.

Uma inspeção especial deve ser executada após o vôo em turbulência severa. Muita atenção deve ser dada às superfícies dorsal e ventral das asas, quanto a empenos excessivos ou marcas permanentes de rugas. Onde quer que estas últimas ocorram, deve-se remover alguns rebites e examinar seus corpos quanto a cisalhamento ou deformações.

Inspeciona-se as almas das longarinas, desde a raiz até a ponta das asas, através dos painéis de inspeção e outras aberturas acessíveis. Verifica-se as suas fixações quanto a empenos, rugas ou cisalhamento. Devemos inspecionar se há empenos nas zonas ao redor das naceles, principalmente no bordo de ataque da asa.

Qualquer vazamento de combustível considerável é sinal de que uma área possa ter recebido sobrecargas que romperam a vedação e abriram as costuras da chapa.

Se o trem de pouso foi baixado durante a turbulência severa, inspecionamos cuidadosamente as superfícies quanto a rebites frouxos, fissuras ou empenos. O interior da cavidade do trem de pouso pode apresentar outras indicações decorrentes das rajadas.

O revestimento superior e o inferior da fuselagem devem ser inspecionados. Um momento excessivo de torção pode ter provocado rugas de natureza diagonal nestas áreas.

Inspecionamos o revestimento da empenagem quanto a empenos, rugas ou fixações cisalhadas. Verificamos também, a área de fixação da empenagem à fuselagem.

As inspeções acima abrangem as áreas críticas. Se qualquer dano excessivo for observado em qualquer das áreas mencionadas, a inspeção deve prosseguir até que toda a avaria seja detectada.

PUBLICAÇÕES

As publicações aeronáuticas são as fontes de informação para a orientação dos mecânicos da aviação, na operação e manutenção do avião e equipamentos correlatos.

A utilização correta destas publicações auxiliarão bastante na operação e manutenção eficientes de qualquer aeronave. Elas compreendem os manuais, catálogos e boletins de serviço dos fabricantes, regulamentos dos órgãos go-

vernamentais, diretrizes de aeronavegabilidade, circulares de recomendação e especificações de avião, motor e hélice.

Boletins

Os boletins de serviço constituem um dos diversos tipos de publicações editadas pelos fabricantes de aviões, de motores e de componentes.

Os boletins podem incluir:

- 1) o motivo da publicação;
- 2) o nome da célula, motor ou componente a que se refere;
- 3) instruções detalhadas para manutenção, ajustagem, modificação ou inspeção, bem como procedência de peças, caso necessárias; e
- 4) o número aproximado de homens hora para a realização do trabalho.

Manual de manutenção

O manual de manutenção do avião, fornecido pelo fabricante, contém instruções completas para a manutenção de todos os sistemas, e componentes instalados a bordo. Ele contém informações para o mecânico que trabalha normalmente nas unidades, conjuntos e sistemas quando estiverem instalados nos aviões.

Não se aplica, portanto, para o mecânico da oficina de revisão. Um manual típico de manutenção de avião inclui:

- 1) uma descrição dos sistemas tais como elétrico, hidráulico, combustível, controles de vôo, etc.;
- 2) instruções para lubrificação, estabelecendo a frequência, os lubrificantes e os fluidos que deverão ser usados nos diversos sistemas;
- 3) as pressões e cargas elétricas estabelecidas para os diversos sistemas;
- 4) as tolerâncias e ajustes necessários ao correto funcionamento do avião;

- 5) métodos para nivelamento, suspensão e reboque;
- 6) métodos de balanceamento das superfícies de controle;
- 7) identificação das estruturas das superfícies primárias e secundárias;
- 8) a frequência e a extensão das inspeções necessárias à operação correta do avião;
- 9) métodos especiais de reparo aplicáveis ao avião;
- 10) técnicas especiais de inspeção envolvendo raio x, ultra-som ou inspeção por partículas magnéticas; e
- 11) uma lista de ferramentas especiais.

Manual de revisão

O manual de revisão do fabricante contém breve informação descritiva, e instruções detalhadas, passo a passo, acerca do trabalho normalmente executado numa unidade removida do avião.

Componentes simples e baratos, tais como, interruptores e reles, nos quais a revisão é antieconômica, não são mencionados no manual.

Manual de reparos estruturais

Este manual apresenta informação e instruções específicas do fabricante para o reparo de estruturas primárias e secundárias.

São cobertos por este manual os reparos típicos de chapa (revestimento), anéis, nervuras, perfis longitudinais, etc., abrangendo também técnicas especiais de reparo e substituição de materiais e fixadores.

Catálogo ilustrado de peças

Este catálogo apresenta vistas detalhadas de componentes da estrutura e dos equipamentos na seqüência de desmontagem. Também acham-se incluídas as figuras das peças desmontadas e vistas sob diversos ângulos, abrangendo todas as fabricadas pelo construtor do avião.

Regulamentos federais para a aviação (far)

O órgão governamental dos E.E.U.U. estabeleceu por lei, para a aviação, determinados regulamentos que dispõem sobre a segurança e disciplina das operações do voo, estabelecendo ainda os privilégios e deveres dos tripulantes. O conhecimento desses regulamentos torna-se necessário no desempenho da manutenção, posto que todo trabalho executado na aeronave deve estar de acordo com os critérios então estabelecidos.

Disposições sobre a segurança do voo (diretrizes de aeronavegabilidade)

A função básica do órgão federal (no Brasil representado pela DAC) é exigir a correção de condições que comprometem a segurança do voo, encontradas nos aviões, motores, hélices ou outros dispositivos, quando tais condições existem, possam existir ou se desenvolvam em outros produtos do mesmo projeto. A condição comprometedora pode existir decorrentes de erro de projeto, de manutenção ou outras causas. As disposições sobre a Segurança do Voo definem a autoridade e responsabilidade do administrador para fazer cumprir a adoção das medidas corretivas necessárias. Os proprietários de aviões, e outras pessoas interessadas, são então notificadas sobre as condições comprometedoras, recebendo ainda orientação sobre as medidas que deverão tomar para que seus produtos possam continuar a serem operados. O cumprimento adequado das medidas corretivas deve, então, ser efetivado imediatamente, a menos que sejam concedidas isenções específicas.

As condições sobre a Segurança do Voo podem ser divididas em duas categorias:

- 1) aquelas de caráter de emergência, exigindo imediato cumprimento após notificação; e
- 2) aquelas de caráter menos urgente, estipulando um prazo para o cumprimento das medidas corretivas.

As notificações para o cumprimento das disposições acima apresentam também o modelo e números de série do produto afetado, quer seja este o avião, motor, hélice ou outro componente.

Certificado de aprovação de aeronave

Este certificado é constituído por folhas de dados que descrevem o projeto do tipo da aeronave e estabelecem as limitações estipuladas nos Regulamentos Federais para a Aviação. Nele também se incluem outras limitações e informações necessárias à emissão do certificado para um modelo determinado de avião.

As folhas de dados são numeradas na parte superior direita de cada página. Este número é o mesmo que o do Certificado de Aprovação. O nome do possuidor do tipo de aeronave, juntamente com os de todos os modelos aprovados, aparece logo abaixo do número do Certificado de Aprovação. A data da emissão do Certificado também é incluída com os dados acima, sendo o conjunto colocado em destaque por linhas limitadoras.

As folhas de dados são classificadas por seções. Cada seção é identificada por um número romano, seguido pela designação do modelo da aeronave.

A categoria, ou categorias, para as quais a aeronave pode ser aprovada aparece entre parênteses logo após o número do modelo. Inclui-se também a data da emissão do Certificado de Aprovação.

As folhas de dados encerram informações relativas a:

- 1) Designação dos modelos dos motores para os quais o fabricante do avião obteve aprovação para utilização com o modelo do avião.
- 2) Grau mínimo do combustível a ser utilizado.
- 3) Regimes de operação máximo contínuo e de decolagem dos motores aprovados, incluindo pressão de admissão (se utilizada), rotações por minuto (R.P.M.) e potência (hp).
- 4) Nome do fabricante e designação do modelo de cada hélice para a qual o fabricante do avião obteve aprovação, conjuntamente com as limitações e qualquer restrição operacional da hélice ou combinação motor-hélice.
- 5) Limites de velocidade em milhas por hora (m.p.h.) e nós.

- 6) Variação do centro de gravidade para as condições extremas de carregamento do avião, apresentada como distância em polegadas, a partir da linha de referência (*DATUM*), ou em porcentagem da Corda Média Aerodinâmica (C.M.A.).
- 7) Variação do centro de gravidade para o avião vazio, apresentada como limites dianteiros e traseiros, em polegadas. Não existindo variação, a palavra "nenhuma" seguir-se-á ao item correspondente na folha de dados.
- 8) Localização da linha de referência(*DATUM*).
- 9) Métodos disponíveis para o nivelamento do avião.
- 10) Todos os pesos máximos correspondentes.
- 11) Número de assentos e seus braços de momento.
- 12) Capacidade de óleo e combustível.
- 13) Movimentos das superfícies de controle.
- 14) Equipamento necessário.
- 15) Equipamento adicional ou especial exigido para certificação.
- 16) Placas com avisos necessários.

Não teremos todos os itens mostrados nesta relação de certificado de aprovação. A lista acima serve apenas para informar ao mecânico quanto aos tipos de assuntos que geralmente aparecem.

Especificação A.T.A. - 100

A publicação da especificação da Associação de Transporte Aéreo da América dos Assuntos Técnicos dos Fabricantes, é datada de 1º de junho de 1956.

Esta especificação criou um padrão de apresentação de dados técnicos para que os fa-

bricantes de aviões, acessórios ou componentes, identificassem seus respectivos produtos.

A fim de padronizar o melhor possível e simplificar o assunto quanto ao problema de localização, um método uniforme de distribuição do material em todas publicações tem sido desenvolvido.

A Especificação A.T.A. 100 dividiu o avião em sistemas, como o elétrico, no qual cobre basicamente o sistema elétrico (Sist. 24 sub 00). A numeração de cada sistema principal permite uma subdivisão em vários subsistemas.

Os modelos atuais de aviões, em torno de aproximadamente 12.500 unidades, têm seus Manuais de Peças e Manuais de Manutenção arranjados de acordo com o sistema A.T.A.

A seguir a tabela com Sistema, Subsistema e Título, conforme A.T.A. para uma familiarização.

ESPECIFICAÇÃO A.T.A. 100 - SISTEMAS

Sist	Sub	Título
21		AR CONDICIONADO
	00	Geral
	10	Compressão
	20	Distribuição
	30	Controle de Pressurização
	40	Aquecimento
	50	Refrigeração
	60	Controle de Temperatura
	70	Regulagem de Umidade
22		VÔO AUTOMÁTICO
	00	Geral
	10	Piloto Automático
	20	Correção de Velocidade/Altitude
	30	Controle Automático das Manetes de Potência
23		COMUNICAÇÃO
	00	Geral
	10	Frequência (HF)
	20	VHF / UHF
	30	Sistema de Comunicação com o Passageiro
	40	Interfone
	50	Áudio
	60	Descarga de Estática
	70	Monitor de Vídeo e Audio

24	FORÇA ELÉTRICA	30	PROTEÇÃO DE CHUVA E GELO
00	Geral		00 Geral
10	Acionamento do Gerador		10 Aerofólios
20	Geração AC		20 Entradas de Ar
30	Geração DC		30 Pitot e Estática
40	Força Externa		40 Janelas e Pára-brisas
50	Distribuição de Força Elétrica		50 Antenas e Radomes
25	EQUIPAMENTO DE CABINE		60 Hélices e Rotores
00	Geral		70 Linhas de Água
10	Cabine de Comando		80 Detecção
20	Cabine de Passageiro	31	INSTRUMENTOS
30	<i>Galley</i>		00 Geral
40	Lavatórios		10 Vago
50	Compartimento de Carga e Acessórios		20 Vago
60	Emergência		30 Gravações
70	Compartimento de Acessórios		40 Computador Central
26	PROTEÇÃO DE FOGO	32	50 Sistema de Aviso Central
00	Geral		TREM DE POUSO
10	Detecção		00 Geral
20	Extinção		10 Trem Principal e Portas
30	Supressor de Explosão		20 Trem do Nariz e Portas
27	CONTROLES DE VÔO		30 Extensão e Retração
00	Geral		40 Rodas e Freio
10	Aileron e Compensador		50 Direção
20	Leme e Compensador		60 Posição e Aviso
30	Profundor e Compensador		70 Trem Suplementar, <i>Skis</i> , Flutuadores
40	Estabilizador Horizontal	33	LUZES
50	Flapes		00 Geral
60	<i>Spoiler</i> , Dispositivos de Arrasto e Carenagens Aerodinâmicas Variáveis		10 Cabine de Comando
70	Travas de Comandos e Amortecedores		20 Cabine de Passageiro
80	Dispositivos de Hiper-sustentação		30 Compartimento de Carga e Serviço
28	COMBUSTÍVEL	34	40 Exterior
00	Geral		50 Iluminação de Emergência
10	Armazenagem		NAVEGAÇÃO
20	Distribuição		00 Geral
30	Alimentação		10 Previsão do Tempo
40	Indicação		20 Atitude e Direção
29	FORÇA HIDRÁULICA		30 Auxílios de Pouso e Rolagem
00	Geral		40 Sistema de Posição Independente
10	Principal	35	50 Sistema de Posição Dependente
20	Auxiliar		60 Computação de Posição
30	Indicação		OXIGÊNIO
			00 Geral
			10 Tripulação

	20	Passageiro		52		PORTAS
	30	Portátil			00	Geral
					10	Tripulação/Passageiro
36		PNEUMÁTICO			20	Saída de Emergência
	00	Geral			30	Carga
	10	Distribuição			40	Serviço
	20	Indicação			50	Interna
					60	Escada
37		VÁCUO			70	Avisos de Porta
	00	Geral			80	Trem de Pouso
	10	Distribuição				
	20	Indicação		53		FUSELAGEM
					00	Geral
38		ÁGUA / ESGOTO			10	Estrutura Principal
	00	Geral			20	Estrutura Auxiliar
	10	Potável			30	Chapas de Revestimento
	20	Lavatório			40	Elementos de Fixação
	30	Esgoto			50	Carenagens Aerodinâmicas
	40	Pressurização				
				54		NACELES / PYLONS
39		PAINÉIS ELÉTRICOS /			00	Geral
		ELETRÔNICOS	E		10	Estrutura Principal
		COMPONENTES			20	Estrutura Auxiliar
		MULTIFUNCIONAIS			30	Chapas de Revestimento
	00	Geral			40	Elementos de Fixação
	10	Instrumentos e Painel de			50	Carenagens e <i>Fillets</i>
		Controle				
	20	Prateleiras de Equipamentos		55		ESTABILIZADORES
		Elétrico/Eletrônico			00	Geral
	30	Caixa de Junção Elétrica e			10	Estabilizador Horizontal
		Eletrônica			20	Profundor
	40	Componentes Eletrônicos			30	Estabilizador Vertical
		Multifuncionais			40	Leme
	50	Circuitos Integrados			50	Elementos de Fixação
	60	Montagem de Circuito				
		Impresso		56		JANELAS
					00	Geral
49		APU			10	Cabine de Comando
	00	Geral			20	Cabine de Passageiro
	10	<i>Power Plant</i>			30	Porta
	20	Motor			40	Inspeção e Observação
	30	Combustível do Motor e Controle				
	40	Ignição e Partida		57		ASAS
	50	Ar			00	Geral
	60	Controles do Motor			10	Estrutura Principal
	70	Indicação			20	Estrutura Auxiliar
	80	Reversores			30	Chapas de Revestimento
	90	Lubrificação			40	Elementos de Fixação
					50	Superfícies de Vôo
51		ESTRUTURAS				
	00	Geral		61		HÉLICES
					00	Geral
					10	Conjunto da Hélice

	20	Controle		20	Distribuição
	30	Freio		30	Interrupção
	40	Indicação			
65		ROTOR	75		SANGRIA DE AR
	00	Geral		00	Geral
	10	Rotor Principal		10	Anti-Gelo do Motor
	20	Conjunto do Rotor Anti-Torque		20	Refrigeração dos Acessórios
	30	Acionamento de Acessórios		30	Controle do Compressor
	40	Controle		40	Indicação
	50	Freio	76		CONTROLES DO MOTOR
	60	Indicação		00	Geral
71		POWER PLANT		10	Controle da Potência
	00	Geral		20	Parada de Emergência
	10	Capotas	77		INDICAÇÃO DO MOTOR
	20	Suportes do Motor		00	Geral
	30	Parede de Fogo e Periferia		10	Força
	40	Elementos de Fixação		20	Temperatura
	50	Chicotes Elétricos		30	Analisadores
	60	Entradas de Ar			
	70	Drenos do Motor	78		DESCARGA
72		MOTOR A REAÇÃO / TURBOÉLICE		00	Geral
	00	Geral		10	Coletor
	10	Trem de Engrenagem Redutora/ Seção do Eixo (Turboélice)		20	Supressor de Ruído
	20	Seção de Entrada de Ar		30	Reversor
	30	Seção do Compressor		40	Ar Suplementar
	40	Seção de Combustão	79		LUBRIFICAÇÃO
	50	Seção da Turbina		00	Geral
	60	Acionamento de Acessórios		10	Reservatório
	70	Seção By-Pass		20	Distribuição
				30	Indicação
72		MOTOR CONVENCIONAL	80		PARTIDA
	00	Geral		00	Geral
	10	Seção Fronteira		10	Acoplamento
	20	Seção de Força	81		TURBINAS (MOTOR. CON- VENCIONAL)
	30	Seção dos Cilindros		00	Geral
	40	Seção de Compressores		10	Recuperação de Potência
	50	Lubrificação		20	Turbo-Compressor
73		COMBUSTÍVEL DO MOTOR E CONTROLE	82		INJEÇÃO DE ÁGUA
	00	Geral		00	Geral
	10	Distribuição		10	Armazenagem
	20	Controle		20	Distribuição
	30	Indicação		30	Alijamento e Purgamento
				40	Indicação
74		IGNIÇÃO	83		CAIXAS DE ACESSÓRIOS
	00	Geral		00	Geral
	10	Suprimento de Força Elétrica			

INSPEÇÃO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

A inspeção por partículas magnéticas é um método de detectar fraturas invisíveis, e outros defeitos em materiais ferromagnéticos, tais como ferro e aço.

Esse método de inspeção é um teste não-destrutivo, o que significa que ele é realizado na própria peça, sem danificá-la. Ele não é aplicável a materiais não magnéticos.

Nas peças do avião sujeitas a alta rotação, vibração, oscilação e outros reforços, pequenos defeitos se desenvolvem muitas vezes, a ponto de ocasionar dano total à peça.

A inspeção por partículas magnéticas tem provado ser de extrema confiabilidade na detecção rápida em casos de defeitos localizados próximos ou na superfície de peças. O emprego deste método de inspeção não somente indica o local da falha, como também são delineadas a extensão e a forma da mesma.

O processo da inspeção consiste em magnetizar a peça e, então, aplicar partículas ferromagnéticas no local da superfície a ser inspecionado.

As partículas ferromagnéticas (agente detector) podem estar em suspensão num líquido que é aplicado sobre a peça: a peça pode ser mergulhada no líquido de suspensão, ou as partículas, em forma de pó seco, podem ser espalhadas sobre a superfície da peça.

O processo do líquido é o mais comumente utilizado na inspeção de peças de avião.

Se alguma descontinuidade estiver presente, as linhas magnéticas de força sofrerão alteração, havendo formação de pólos opostos em ambos os lados da descontinuidade. As partículas magnetizadas formam assim uma imagem no campo magnético.

Esta imagem, conhecida como "indicação", apresenta a forma aproximada da projeção da descontinuidade, que pode ser definida como uma interrupção na estrutura ou configuração física normal de irregularidades, tais como, rachadura, sobreposição em peça forjada, costura de solda, inclusão, porosidade e outras. A descontinuidade pode ou não afetar a vida útil de uma peça.

Desenvolvimento das indicações

Quando a descontinuidade num material magnetizado encontra-se aberta à superfície, possibilitando a aplicação sobre ela de uma substância magnética, a dispersão do fluxo na descontinuidade tende a formar com o agente detector uma passagem de maior permeabilidade. (Permeabilidade é o termo usado para se referir à facilidade com que um fluxo magnético pode ser formado num determinado circuito magnético).

Devido ao magnetismo da peça e à aderência mútua das partículas magnéticas, a indicação permanece sobre a superfície da peça sob a forma de contorno aproximado da descontinuidade existente logo abaixo.

Quando a descontinuidade não se encontra aberta na superfície, tem lugar o mesmo fenômeno acima observado, mas pelo fato da dispersão do fluxo ser menor, a aderência das partículas magnéticas é mais fraca, obtendo-se uma indicação menos definida.

Se a descontinuidade estiver muito abaixo, poderá não haver indicação na superfície. A dispersão do fluxo numa descontinuidade transversal está representada na figura 10-1. A figura 10-2 mostra a dispersão numa descontinuidade longitudinal.

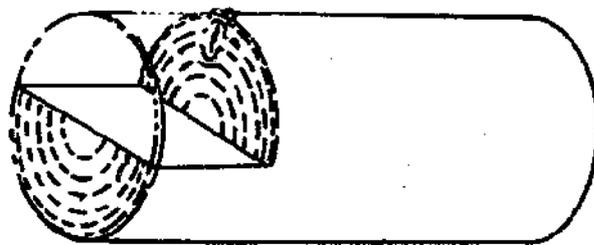


Figura 10-1 Dispersão do fluxo em descontinuidade transversal.

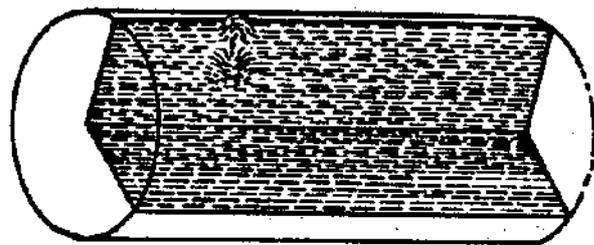


Figura 10-2 Dispersão do fluxo em descontinuidade longitudinal.

Tipos de descontinuidades detectadas

Os tipos de descontinuidades detectadas, normalmente pelo teste de partículas magnéticas, são os seguintes: rachaduras, sobreposição em peças forjadas, costuras, fechamento a frio, inclusões, fendas, rasgos, bolsas de retraimento e ocos (vazios).

Todas estas descontinuidades podem afetar a confiabilidade das peças em serviço. Rachaduras, fendas, estaladuras, rasgos, costuras, ocos e bolsas de retraimento são formados por uma separação ou ruptura real do metal sólido. Fechamento a frio e sobreposição são dobras que se formaram no metal, interrompendo sua continuidade.

As inclusões são materiais estranhos, formados por impurezas do metal durante os estágios de seu processamento. Elas podem consistir, por exemplo, de partículas do revestimento da fornalha introduzidas durante a fusão do metal básico ou de outras matérias estranhas. As inclusões interrompem a continuidade do metal porque elas não permitem a junção ou caldeamento de faces adjacentes do metal.

Preparação das peças para o teste

Graxa, óleo e qualquer sujeira devem ser removidos de todas as peças antes que elas sejam submetidas a teste.

A limpeza é muito importante, posto que a presença de graxa ou qualquer matéria estranha pode provocar indicações falsas devido à aderência das partículas magnéticas, e a esses corpos estranhos, quando a suspensão líquida é aplicada sobre a peça.

A formação da imagem correta da descontinuidade pode ser prejudicada pela presença de graxa ou outras matérias estranhas. Não é aconselhável confiar na suspensão de partículas magnéticas para limpar a peça.

Qualquer matéria estranha removida por este processo contaminará a suspensão, reduzindo, portanto, sua eficiência.

Na inspeção por partículas magnéticas, utilizando-se pó seco, é absolutamente necessário uma rigorosa limpeza.

Graxa ou outras matérias estranhas fixariam o pó magnético, daí resultando indicações incorretas, tornando ainda impossível espalhar as

partículas magnéticas por igual sobre a superfície da peça.

Todas as pequenas aberturas ou furos para lubrificação, conduzindo a passagens ou cavidades internas, devem ser fechados com parafina ou qualquer outra substância adequada não abrasiva.

Camadas leves de banho de cádmio, cobre, estanho e zinco não interferem no resultado satisfatório da inspeção por partículas magnéticas.

O resultado ficaria prejudicado se a camada fosse demasiadamente grossa ou se as descontinuidades a serem detectadas fossem extremamente pequenas.

Banhos de cromo ou níquel geralmente não interferirão nas indicações de rachaduras abertas à superfície do metal básico, mas evitarão a indicação de descontinuidades delgadas, tais como inclusões.

A camada de níquel, sendo mais fortemente magnética, é mais prejudicial que a camada de cromo ao impedir a formação das indicações de descontinuidades.

Efeito da direção do fluxo

A fim de detectar uma falha numa peça, torna-se essencial que as linhas de força magnéticas passem perpendicularmente à falha. Torna-se, portanto, necessário induzir fluxo magnético em mais de uma direção, desde que as falhas existiam em qualquer ângulo em relação ao eixo maior da peça.

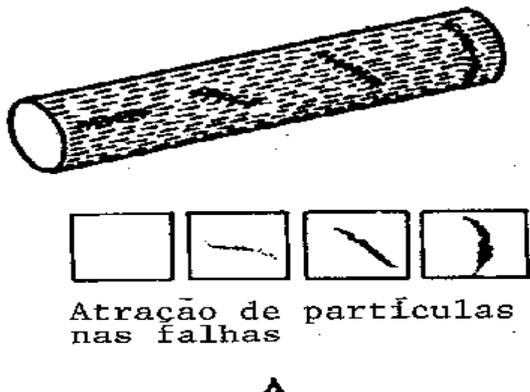
Isto exige duas operações independentes de magnetização, conhecidas como magnetização circular e magnetização longitudinal.

O efeito da direção do fluxo acha-se ilustrado na figura 10-3.

Magnetização circular é a indução de um campo magnético constituído por círculos de força concêntricos, ao redor e dentro da peça, fazendo passar a corrente elétrica através da peça.

Este tipo de magnetização localizará falhas no sentido paralelo ao eixo da peça.

Magnetização longitudinal



Magnetização circular

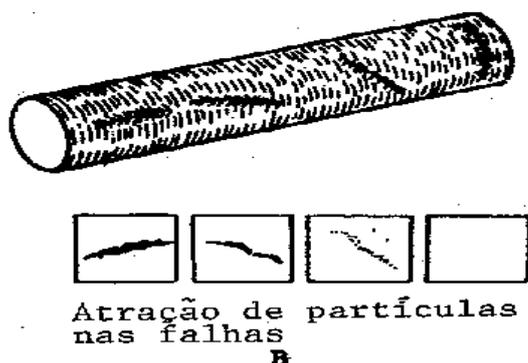


Figura 10-3 Efeito da direção do fluxo na intensidade da indicação.

A magnetização circular de uma peça de seção transversal sólida acha-se ilustrada na figura 10-4.

Cada extremidade da unidade magnetizadora é ligada eletricamente a um painel de controle, de tal modo que, ao ser fechado o contato, a corrente magnetizadora passa de uma para outra extremidade da peça, através da mesma.

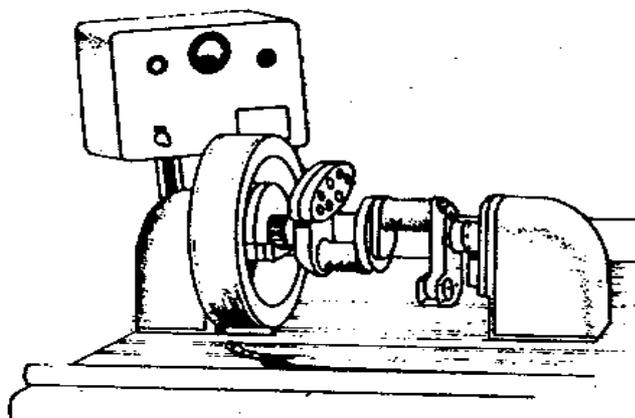


Figura 10-4 Magnetização circular de um eixo-manivela.

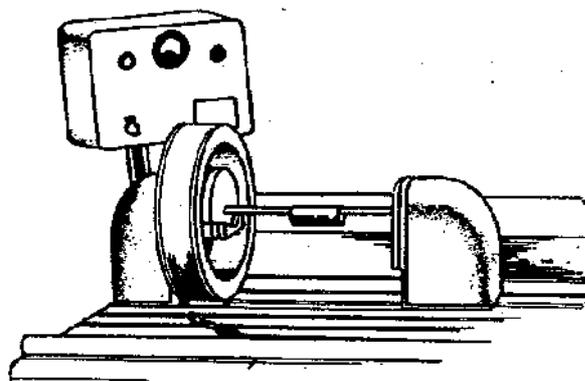


Figura 10-5 Magnetização circular de um pino de pistão com barra condutora.

A figura 10-5 ilustra a magnetização circular de uma peça de seção transversal oca, passando a corrente magnetizadora por uma barra condutora localizada no eixo da peça. Na magnetização longitudinal, o campo magnético é produzido numa direção paralela ao eixo maior da peça. Isto é feito colocando-se a peça no interior de um solenóide excitado por corrente elétrica. A peça metálica torna-se então o núcleo de um eletroímã e é magnetizada pela indução do campo magnético criado no solenóide.

Na magnetização longitudinal de peças compridas, o solenóide deve ser movimentado ao longo da peça a fim de magnetizá-la (Ver a figura 10-6). Isto é necessário para assegurar uma intensidade de campo adequada através de todo o comprimento da peça.

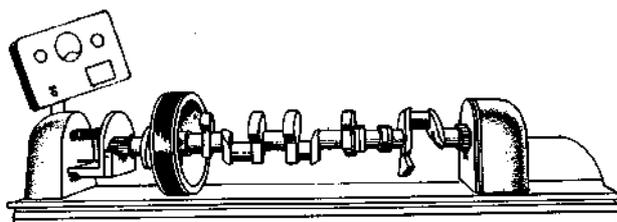


Figura 10-6 Magnetização longitudinal do eixo-manivela (método do solenóide).

Os solenóides produzem magnetização efetiva até aproximadamente 12 polegadas a partir de cada extremidade da bobina, podendo acomodar peças ou seções de até 30 polegadas de comprimento.

Uma magnetização longitudinal equivalente àquela obtida pelo solenóide pode ser realizada, enrolando-se em torno da peça um condutor elétrico flexível, como mostra a figura 10-7.

Ainda que este método não seja tão conveniente, ele apresenta a vantagem das bobinas se acomodarem melhor com o formato da peça, produzindo assim uma magnetização mais uniforme.

O método da bobina flexível é também utilizado nas peças de grande porte ou de formato irregular, para as quais não existem solenóides adequados.

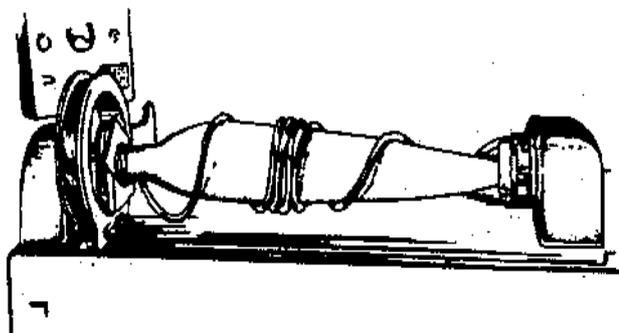


Figura 10-7 Magnetização longitudinal de pá de hélice metálica (método do cabo flexível).

Efeito da densidade do fluxo

A eficiência da inspeção por partículas magnéticas depende também da densidade do fluxo, ou intensidade do campo sobre a superfície da peça, quando é aplicado o agente detector.

À medida que é aumentada a intensidade do fluxo na peça, a sensibilidade do teste também aumenta, devido à maior dispersão do fluxo nas descontinuidades, resultando daí a formação de contornos mais detalhados de partículas magnéticas.

Entretanto, densidades de fluxo excessivamente elevadas poderão formar indicações sem importância como, por exemplo, os contornos do fluxo granular no material. Essas indicações interferirão na detecção dos contornos resultantes de descontinuidades importantes. Torna-se assim necessário utilizar uma intensidade de campo suficientemente elevada para detectar todas as possíveis falhas prejudiciais, mas não tão elevada que seja capaz de produzir indicações indevidas e confusas.

Métodos de magnetização

Quando uma peça é magnetizada, a intensidade de campo nela resultante aumenta até um certo limite, assim permanecendo, enquanto a força magnetizadora for mantida.

Identificação das indicações

A avaliação correta do caráter das indicações é extremamente importante, porém apresenta alguma dificuldade somente pela observação das mesmas.

As características principais das indicações são a forma, o tamanho, a largura e a nitidez do contorno. Estes aspectos são geralmente mais úteis em determinar o tipo de descontinuidades do que propriamente a sua importância.

Entretanto, uma observação cuidadosa do caráter do molde das partículas magnéticas deve sempre ser incluída na avaliação completa da importância de uma descontinuidade indicada.

As indicações mais rapidamente distinguíveis são as produzidas por fendas abertas na superfície. Essas descontinuidades incluem rachaduras por fadiga, por tratamento térmico, por contração em soldas e fundição, e por esmerilhamento.

A figura 10-8 ilustra uma rachadura por fadiga.

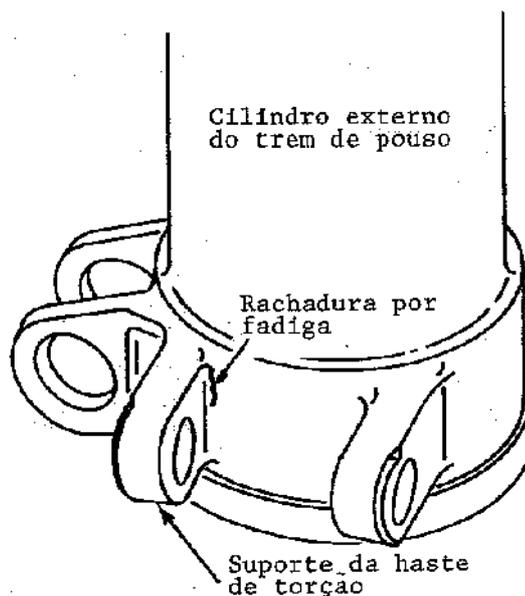


Figura 10-8 Rachaduras por fadiga num trem de pouso

As rachaduras por fadiga apresentam contornos nítidos e definidos, geralmente uniformes e sem interrupção em todo o comprimento, e de tamanho razoável.

Apresentam aparência serrilhada, comparada com as indicações retas de fadiga em costura, podendo também mudar ligeiramente de direção em certos locais.

As rachaduras por fadiga são encontradas nas peças em uso e nunca em peças novas. Geralmente situam-se em áreas submetidas a grandes esforços.

É importante compreender que mesmo uma pequena rachadura por fadiga indica que o defeito da peça acha-se positivamente em progressão.

As rachaduras provocadas por tratamento térmico apresentam um esboço suave, porém, geralmente, são menos perceptíveis e menores que as rachaduras por fadiga.

Nas peças com seções finas, como paredes de cilindros, as rachaduras por tratamento térmico podem apresentar contornos bem definidos (figura 10-9), com a forma característica consistindo de traços curtos denteados e agrupados.

As rachaduras por contração apresentam um contorno nítido e definido, embora o traçado seja comum e muito denteado. Sendo as paredes das fraturas por contração muito estreitas, suas indicações normalmente não atingem a extensão das indicações observadas nas fraturas por fadiga.

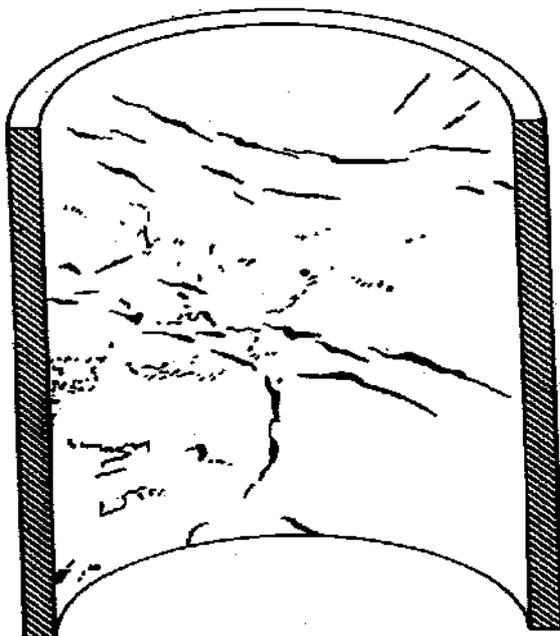


Figura 10-9 Rachaduras por tratamento térmico em parede de cilindro.

As fraturas provocadas por esmerilhamento também apresentam contornos nítidos e bem definidos, porém raramente de tamanho considerável, dada a sua profundidade limitada. Essas fraturas podem apresentar indicações que

variam de um simples a um considerável conjunto de traços. As fraturas por esmerilhamento estão geralmente relacionadas com a direção do esmerilhamento.

Exemplificando: a fratura comumente tem início e continua em ângulo reto à direção de rotação do rebolo, apresentando um contorno ligeiramente simétrico. Indicações de fraturas por esmerilhamento podem freqüentemente ser identificadas através dessa correlação.

As indicações das rupturas nas costuras de solda são geralmente retas, bem definidas e delicadas. Elas são muitas vezes intermitentes, podendo apresentar tamanho reduzido.

Os traços (linhas muito finas) são costuras muito delicadas nas quais as paredes da costura foram muito comprimidas durante a fabricação da peça.

As indicações desses traços são muito delicadas e bem definidas, com tamanho muito reduzido. As descontinuidades desse tipo somente são consideradas perigosas nas peças sujeitas a esforços elevados.

As inclusões são corpos não-metálicos, tais como materiais de escória e componentes químicos que ficaram presos nos lingotes em solidificação. Elas são comumente alongadas e esticadas à medida que o lingote passa pelas subsequentes operações de processamento.

As inclusões apresentam-se nas peças sob diversos tamanhos e formatos, desde um filete facilmente identificado pela vista, até partículas somente visíveis sob ampliação. Numa peça pronta elas podem se apresentar como descontinuidades na superfície ou sob ela.

As indicações das inclusões subsuperficiais são geralmente largas e indefinidas. São poucas vezes contínuas ou de mesma espessura e densidade ao longo de seu comprimento. Inclusões maiores, principalmente aquelas próximas ou abertas à superfície, apresentam indicações mais facilmente definidas.

Uma inspeção mais apurada revelará geralmente sua falta de definição e o fato de que a indicação consiste de diversas linhas paralelas, em lugar de uma linha única. Tais características geralmente distinguirão uma inclusão séria de uma rachadura.

Quando cavidades acham-se localizadas bem abaixo da superfície da peça, o teste por partículas magnéticas não é um método confiável de detectá-las. Mesmo que qualquer indicação seja obtida, será provavelmente um contorno

impreciso e indefinido da cavidade, com o detector magnético procurando se distribuir sobre toda a área, em vez de apresentar claramente o contorno da descontinuidade. Defeitos desse tipo são mais facilmente detectados pelos métodos radiográficos.

As sobreposições ou dobras podem ser identificadas por sua forma e localização. Elas normalmente aparecem nas extremidades de uma forjadura e suas indicações são comumente bem marcantes e irregulares.

A indicação de uma dobra de qualquer comprimento é comumente interrompida formando ilhas e ramificações curtas, e um aspecto de escama apresentado na dobra revela invariavelmente contornos em forma de leques que partem da indicação principal.

Quando um lingote se solidifica, a distribuição dos vários elementos ou componentes não é geralmente uniforme em toda a estrutura do lingote. Poderá então ocorrer uma pronunciada separação de alguns componentes. No processo da forjadura e conseqüente laminação do lingote, essas separações são alongadas e reduzidas nos cortes transversais.

Depois de subseqüente processamento, elas podem aparecer como finas linhas ou faixas paralelas, conhecidas como enfaixamento.

A separação sob a forma de faixas é algumas vezes detectada pela inspeção por partículas magnéticas, principalmente quando se utilizam campos magnéticos de alta intensidade. Esse tipo de separação geralmente não é prejudicial.

A forma mais séria de separação ocorre provavelmente na fundição. Neste caso, a condição básica do metal permanece inalterada na peça pronta, permanecendo qualquer separação na mesma forma em que foi originada. Ela pode variar no tamanho e, normalmente, terá formato irregular, ocorrendo na superfície ou abaixo dela.

Inspeção Magnaglo

A inspeção MAGNAGLO é semelhante a de partículas magnéticas, sendo que é utilizada uma solução de partículas magnéticas fluorescentes, e a inspeção é feita sob luz negra.

A eficiência da inspeção é aprimorada pelo brilho tipo néon dos defeitos e indicações de pequenas falhas, que podem ser percebidas mais rapidamente. Esse é um excelente método para ser utilizado em engrenagens, peças rosque-

adas e componentes do motor do avião. O líquido marrom avermelhado usado na pulverização ou banho da peça consiste da pasta MAGNAGLO misturada com óleo fino na proporção de 0,10 a 0,25 onças de pasta por galão de óleo.

Após a inspeção, a peça deve ser desmagnetizada e lavada com solvente.

EQUIPAMENTO PARA MAGNETIZAÇÃO

Unidade fixa (não portátil)

Uma unidade fixa para aplicação geral acha-se apresentada na figura 10-10. Essa unidade fornece corrente contínua para processos de magnetização, contínua ou residual, por suspensão. Pode ser aplicada magnetização circular ou longitudinal, utilizando-se corrente alternada retificada ou corrente contínua.

As cabeças de contato constituem os terminais elétricos para a magnetização circular. Uma cabeça tem posição fixa. Sua chapa de contato acha-se montada num eixo envolvido por uma mola de pressão, de modo que a chapa pode ser movimentada longitudinalmente.

A chapa é mantida na posição distendida pela mola, até que a pressão transmitida pela peça através da cabeça móvel força-a para trás.

A cabeça móvel desliza horizontalmente sobre guias longitudinais e é comandada por um motor.

O controle é feito através de um interruptor. A mola permite à cabeça móvel deslocar-se até um certo limite de compressão, e assegura pressão suficiente em ambas as extremidades da peça para garantir um bom contato elétrico.

Um interruptor operado por uma haste localizada na cabeça fixa corta o circuito de comando do motor da cabeça móvel, quando a mola for suficientemente comprimida.

Em algumas unidades de magnetização a cabeça móvel é operada manualmente, e a chapa de contato é algumas vezes construída para operar por pressão de ar.

Ambas as chapas de contato são adaptadas com diferentes dispositivos para suportar a peça.

O circuito de magnetização é fechado pela compressão de um botão de pressão localizado na frente da unidade. O circuito geralmente é aberto automaticamente após cerca de meio segundo.

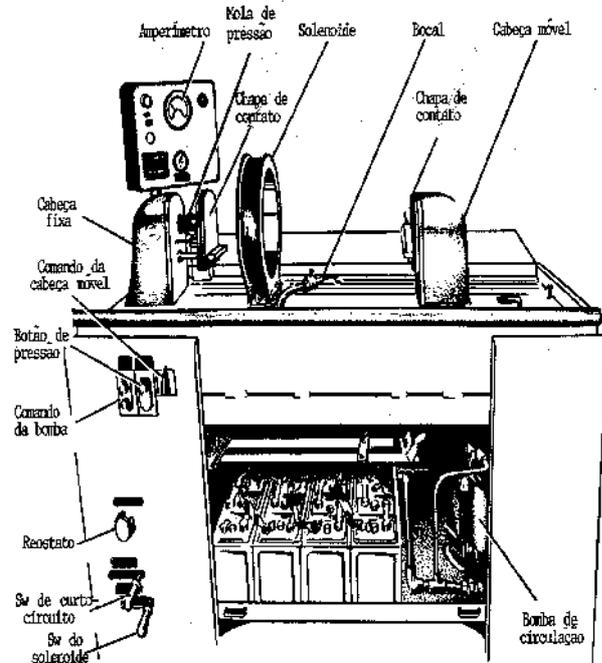


Figura 10-10 Unidade magnetizadora fixa para uso geral.

A intensidade da corrente magnetizadora pode ser ajustada manualmente no valor desejado por meio do reostato, ou aumentada até o limite de capacidade da unidade pelo interruptor de curto-circuito do reostato. A corrente elétrica utilizada é indicada no amperímetro.

A magnetização longitudinal é produzida através de um solenóide que se desloca nas mesmas guias horizontais que a cabeça móvel, sendo, ele, ligado ao circuito elétrico por meio de um interruptor.

O líquido contendo as partículas em suspensão encontra-se num reservatório, sendo agitado e circulado por uma bomba. O fluido de suspensão é aplicado à peça através de um bocal. Após escorrer pela peça, o líquido passa por uma grelha de madeira e é coletado por uma bandeja que o envia de volta à bomba. A bomba circuladora é operada por um interruptor tipo botão de pressão.

Unidade portátil para uso geral

Torna-se muitas vezes necessário executar a inspeção por partículas magnéticas em locais onde não se dispõe de unidade fixa de magnetização, ou em componentes das estruturas do avião, sem removê-las do mesmo. Isso tem ocorrido, particularmente, em trem de pouso ou suportes de motor suspeitos de terem desenvolvido rachaduras em serviço. Podem ser encontrados

equipamentos adequados a estes tipos de inspeção utilizando para magnetização corrente alternada ou corrente contínua. Um exemplo típico acha-se apresentado na figura 10-11.

Essa unidade é simplesmente uma fonte de corrente magnetizadora, não possuindo condições para suportar a peça ou aplicar a suspensão líquida. Ela opera com corrente alternada (200 volts, 60 Hz) e possui um retificador para produzir corrente contínua.

A corrente magnetizadora é fornecida através de cabos flexíveis. Os terminais dos cabos podem ser equipados com pontas (como mostra a ilustração) ou grampos ou garras de contato.

A magnetização circular pode ser obtida utilizando-se as pontas ou as garras. A magnetização longitudinal obtém-se enrolando o cabo ao redor da peça. A intensidade da corrente magnetizadora é controlada por um seletor de oito posições, e o tempo de sua aplicação é regulado por um circuito automático semelhante ao utilizado na unidade fixa já descrita.

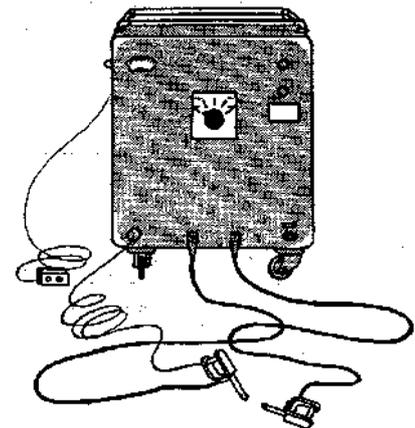


Figura 10-11 Unidade portátil para uso geral.

Essa unidade portátil serve também como desmagnetizador, para isso fornecendo corrente alternada de alta amperagem e baixa voltagem. Para a desmagnetização, a corrente alternada é passada pela peça e gradualmente reduzida por meio de um redutor de corrente.

Ao testar grandes estruturas com superfícies planas, onde a corrente deve passar pela peça, torna-se, às vezes, impossível usar as garras de contato. Nesse caso são utilizadas as pontas.

As pontas também podem ser utilizadas com a unidade fixa. A peça ou conjunto sob teste pode ser mantida acima da unidade fixa e a suspensão líquida aplicada com mangueira na área;

o excesso da suspensão é drenado para o interior do reservatório. O método seco também pode ser utilizado.

As pontas devem ser seguradas firmemente de encontro à superfície sob teste. Há a tendência da corrente de alta amperagem provocar queimaduras nas áreas de contato, mas com o devido cuidado estas queimaduras serão bem reduzidas. Para aplicações onde a magnetização por pontas é aconselhável, leves queimaduras não são tomadas em consideração.

Quando é desejável utilizar cabos com a unidade fixa como fonte de energia, tornar-se conveniente o uso de um bloco de contato. Esse consiste de um bloco de madeira em cujas extremidades são adaptadas chapas de cobre para receber os terminais dos cabos.

Quando o bloco de contato é colocado entre as cabeças da unidade fixa, os controles e interruptores da unidade podem ser utilizados para regular a corrente magnetizadora. Este processo apresenta um meio conveniente de ligar os cabos à fonte de energia, eliminando a necessidade de fixação das conexões por meio de parafusos.

Ao passar a corrente magnetizadora por uma pá de hélice de aço para magnetização circular, há possibilidade de queimar a ponta da pá se não forem tomadas certas precauções. Essa possibilidade pode ser eliminada usando-se uma garra articulada presa à cabeça móvel da unidade de inspeção. A garra é revestida com malha de cobre que fornece bom contato elétrico, ajustando-se à curvatura das faces da pá da hélice. Esse arranjo evita o contato elétrico na borda fina da ponta da pá e elimina as correntes de alta intensidade que podem causar queimadura neste ponto. A extremidade de fixação da pá da hélice é suportada por um encaixe montado na cabeça fixa da unidade.

Materiais indicadores

Os vários tipos de materiais indicadores disponíveis para utilização na inspeção por partículas magnéticas podem ser classificados em dois tipos: os utilizados no processo líquido e os utilizados no processo seco. O requisito básico para qualquer material indicador é que ele forneça indicações aceitáveis de descontinuidades nas peças.

O contraste proporcionado por um determinado material indicador de descontinuidades

na superfície, ou no interior da peça, é de particular importância. As cores mais utilizadas no processo líquido são o preto e o vermelho; no processo seco são o preto, o vermelho e o cinza.

Para uma operação aceitável, o material indicador deve ser de alta permeabilidade e baixa retentividade. A alta permeabilidade assegura que um mínimo de energia magnética será exigido para atrair o material na dispersão do fluxo causada pelas descontinuidades.

A baixa retentividade assegura que a mobilidade das partículas magnéticas não será prejudicada, pelo fato das mesmas partículas magnéticas tornarem-se magnetizadas e atraírem-se umas às outras.

A substância magnética para o processo líquido é geralmente fornecida em forma de pasta. A pasta vermelha aumenta a visibilidade nas superfícies pretas, ainda que a quantidade exata da substância magnética a ser adicionada possa variar, uma concentração de 2 onças de pasta por galão do veículo líquido tem sido considerada satisfatória.

A pasta não deve ser adicionada ao líquido de suspensão no reservatório da unidade magnetizadora, posto que o agitador e a bomba não são satisfatórios para efetuar a mistura.

O processo correto para o preparo da suspensão é colocar a quantidade adequada da pasta num vasilhame e adicionar pequena quantidade do líquido parceladamente, à medida que se vai misturando os componentes com o auxílio de uma espátula. Quando a pasta estiver totalmente diluída numa mistura líquida uniforme, ela poderá então ser despejada no reservatório.

É importante que no preparo da suspensão seja sempre utilizada substância magnética nova. Quando a suspensão se tornar descolorida, ou, de certa forma contaminada a ponto de interferir na formação dos contornos das partículas magnéticas, a unidade deverá ser drenada, limpa e reabastecida com suspensão limpa.

DESMAGNETIZAÇÃO

O magnetismo residual que permanece na peça após a inspeção deve ser removido por uma operação de desmagnetização, antes que a peça volte a serviço.

Peças de mecanismos operacionais devem ser desmagnetizadas para evitar que as peças magnetizadas atraiam limalhas ou pequenas lascas, deixadas inadvertidamente no sistema, ou

partículas de aço resultantes do desgaste operacional.

O acúmulo dessas partículas numa peça magnetizada pode causar arranhões em mancais ou outras partes trabalhantes.

Os componentes da estrutura do avião também devem ser desmagnetizados, de modo a evitar que os instrumentos sejam afetados.

A desmagnetização entre sucessivas operações de magnetização não é comumente necessária, a menos que a experiência indique que a omissão desta operação resulte em decréscimos da eficiência numa determinada aplicação.

Anteriormente, esta operação era considerada necessária para remover completamente o campo existente numa peça antes que ela fosse magnetizada numa direção diferente.

A desmagnetização pode ser efetuada por vários processos. Possivelmente, o mais conveniente para peças de avião é submeter a peça a uma força magnetizadora com reversão contínua na direção e que, ao mesmo tempo, diminua gradativamente de intensidade.

À medida que a força magnetizadora decrescente é aplicada, primeiro numa direção e em seguida na outra, a magnetização da peça também decresce.

Método padrão para desmagnetização

O processo mais simples para criar uma força magnética reversível e gradativamente mais fraca numa peça utiliza uma bobina de solenóide energizada por corrente alternada. À medida que a peça é afastada do campo alternativo do solenóide, o magnetismo na peça se reduz gradualmente.

Deve ser utilizado um desmagnetizador cujo tamanho seja o mais aproximado possível da peça; e para maior eficiência, as pequenas peças devem ser mantidas tão perto quanto possível da parede interna da bobina.

As peças que não perdem rapidamente seu magnetismo devem ser passadas vagarosamente para dentro e para fora do desmagnetizador por diversas vezes, sendo ao mesmo tempo, viradas ou giradas em várias direções. Permitir que uma peça fique no desmagnetizador com a corrente ligada resulta em pouca desmagnetização.

A operação eficiente no processo de desmagnetização consiste em movimentar a peça lentamente para fora da bobina, afastando-a do

campo de força magnética. À medida que a peça é afastada, ela deve ser mantida diretamente oposta à abertura, até que se encontre a 1 ou 2 pés do desmagnetizador. A corrente desmagnetizadora não deve ser cortada antes que a peça esteja a uma distância de 1 a 2 pés da abertura; caso contrário, a peça tornará a ser magnetizada.

Outro processo utilizado com unidades portáteis é passar corrente alternada pela peça a ser desmagnetizada, e reduzir gradativamente a corrente a zero.

INSPEÇÃO POR LÍQUIDOS PENETRANTES

A inspeção de penetração é um exame não destrutivo de defeitos abertos à superfície por peças fabricadas de qualquer material não poroso. Ela é aplicada com sucesso em metais como o alumínio, magnésio, latão, cobre, ferro fundido, aço inoxidável e titânio. Este tipo de inspeção pode também ser utilizado em cerâmica, plástico, borracha moldada e vidro.

A inspeção de penetração detectará defeitos, tais como rachaduras superficiais ou porosidade. Estas falhas podem ser ocasionadas em rachaduras por fadiga, por contração, por tratamento térmico, por esmerilhamento, porosidade de retração, fechamento a frio, costura, sobreposição por forjadura e queimaduras. A inspeção de penetração também detectará uma falta de coesão entre metais unidos.

A principal desvantagem da inspeção de penetração é que o defeito deve se apresentar aberto à superfície, a fim de permitir que o agente penetrante atinja o defeito. Por esse motivo, se a peça a ser inspecionada for construída de material magnético, recomenda-se geralmente o uso da inspeção por partículas magnéticas.

A inspeção de penetração depende, para ser bem sucedida, que o líquido penetrante entre na abertura da superfície e aí permaneça, tornando-a perfeitamente visível para o operador.

Há necessidade do exame visual da peça após o processamento da penetração, mas a visibilidade do defeito é aumentada de tal forma que pode ser detectada.

A visibilidade do material penetrante é ainda aumentada por adição de corante que pode ser de qualquer dos dois tipos: visível ou fluorescente. O conjunto para penetrante visível consiste do corante penetrante, emulsificador-removedor do corante e revelador.

O conjunto para inspeção de penetração fluorescente consiste de instalação de luz negra bem como aerossóis de penetrante, limpador e revelador.

A instalação de luz negra consiste de um transformador de força, cabo flexível e lâmpada portátil. Graças a seu tamanho, a lâmpada pode ser utilizada em qualquer posição ou localização.

Em síntese, os itens a serem observados ao se executar uma inspeção de penetração são:

- A) Completa limpeza da superfície metálica.
- B) Aplicação do penetrante.
- C) Remoção do penetrante com emulsificador-removedor ou limpador.
- D) Secagem da peça
- E) Aplicação do revelador
- F) Inspeção e interpretação do resultado.

Interpretação dos resultados

O sucesso e a confiabilidade de uma inspeção com líquido penetrante depende do cuidado com que a peça foi preparada. Os diversos princípios básicos aplicáveis à inspeção de penetração são:

1) O penetrante deve atingir o defeito a fim de formar uma indicação. É importante aguardar o tempo suficiente para que o penetrante possa preencher o defeito. O defeito deve estar limpo e livre de matérias contaminantes, de modo que o penetrante possa atingi-lo livremente.

2) Não poderá haver a formação de uma indicação se o penetrante for completamente removido do defeito durante a lavagem. Antes da revelação há, pois, a possibilidade de que o penetrante seja removido não só da superfície, como também do defeito.

3) Rachaduras limpas são normalmente fáceis de detectar. Aberturas superficiais não contaminadas, independentemente de quanto sejam delgadas, raramente serão difíceis de serem detectadas através da inspeção de penetração.

4) Quanto menor o defeito, mais longo será o tempo de penetração. Fendas finas, à semelhança de rachaduras, necessitam de mais tempo para penetração do que defeitos, tais como porosidade.

5) Quando a peça a ser inspecionada for construída de material suscetível ao magnetismo, deve-se utilizar o método da inspeção por partículas magnéticas, caso haja equipamento disponível.

6) O revelador para o tipo penetrante visível, quando aplicado à superfície da peça, secará formando uma camada branca tênue e uniforme. Durante a secagem, indicações brilhantes vermelhas aparecerão nos locais onde hajam defeitos superficiais. Se não houver indicações vermelhas, não haverá defeitos superficiais.

7) Ao proceder à inspeção de penetração com corante fluorescente, os defeitos aparecerão (sob luz negra) com coloração brilhante amarelo-verde. As áreas perfeitas apresentarão coloração azul-violeta escura.

8) É possível examinar a indicação de um defeito e determinar sua causa, bem como sua extensão. Tal julgamento pode ser feito sabendo-se algo sobre os processos de fabricação aos quais a peça foi submetida.

O tamanho da indicação, ou o acúmulo do penetrante indicará a extensão do defeito. O brilho dará a medida de sua profundidade. As indicações de rachaduras profundas comportarão mais penetrantes, sendo, portanto, mais largas e brilhantes.

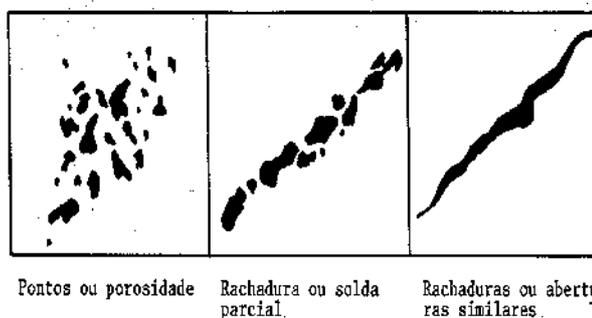


Figura 10-12 Tipos de defeitos.

Fendas muito delgadas comportam pequena quantidade de penetrantes, aparecendo portanto como linhas finas. A figura 10-12 apre-

senta alguns tipos de defeitos que podem ser localizados utilizando-se penetrantes corantes.

Indicações falsas

Na inspeção de penetração de corante não ocorrem falsas indicações, no sentido do que acontece na inspeção por partículas magnéticas. Há, entretanto, duas condições que podem ocasionar acúmulo de penetrante, confundindo-o muitas vezes com rachaduras e descontinuidade reais de superfície.

A primeira condição compreende as indicações causadas por lavagem imperfeita. Se todo o penetrante na superfície não for removido na operação de lavagem ou enxaguadura, após decorrido o tempo de penetração, o penetrante não removido ficará visível. A evidência da lavagem imperfeita é geralmente fácil de identificar, posto que o penetrante se apresenta em áreas espalhadas, ao invés dos contornos bem definidos encontrados nas indicações verdadeiras. Quando acúmulo de penetrantes não lavados forem encontrados na peça, esta deverá ser completamente reprocessada. O desengorduramento é recomendado para a remoção completa do penetrante.

As indicações falsas podem também aparecer onde as peças são encaixadas umas às outras. Se uma roda for encaixada num eixo, haverá uma indicação de penetrante na linha de encaixe. Isto é perfeitamente normal, posto que as duas peças não se acham soldadas. Indicações deste tipo são fáceis de identificar, já que apresentam formato e contorno regulares.

RADIOGRAFIA

Devido as suas características especiais de penetrar materiais e detectar descontinuidades, as radiações X e GAMA têm sido aplicadas na inspeção radiográfica (raio - x) de componentes metálicos e não metálicos.

A radiação penetrante é projetada através da peça sob inspeção, produzindo uma imagem invisível ou latente no filme. Depois de revelado, o filme se torna uma radiografia ou figura sombreada do objeto.

Esse método de inspeção, numa unidade portátil, fornece um processo rápido e seguro de testar a integridade da estrutura do avião e dos motores.

As técnicas de inspeção radiográficas são utilizadas para localizar defeitos ou falhas na estrutura do avião ou nos motores com pouca ou nenhuma desmontagem. Isso constitui um contraste marcante em relação a outros tipos de inspeção não destrutiva que, geralmente, exigem a remoção, desmontagem e retirada da tinta da peça suspeita, antes que ela possa ser inspecionada. Devido à natureza do raio-X, há necessidade de um treinamento intensivo para o preparo de um operador do equipamento, sendo que somente pessoal legalmente habilitado pode operar as unidades de raio-X.

As três principais etapas no processamento do raio-X, abordadas nos parágrafos subseqüentes são:

- 1) Exposição à radiação, incluindo a preparação.
- 2) Revelação do filme.
- 3) Interpretação da chapa radiográfica.

Preparação e exposição

Os fatores relativos à exposição radiográfica são tão interdependentes que há necessidade de todos serem levados em consideração, para qualquer tipo de exposição. Estes fatores incluem (não achando-se, porém, a eles limitados) os seguintes:

- a) Espessura e densidade do material.
- b) Forma e tamanho do objeto.
- c) Tipo de defeito a ser detectado.
- d) Características do equipamento de raios-X.
- e) A distância de exposição.
- f) O ângulo de exposição.
- g) As características do filme.
- h) Tipos de telas ampliadoras, se utilizadas.

O conhecimento das possibilidades da unidade de raio-X será útil para a consideração dos outros fatores da exposição. Além da especi-

fixação em quilovolts, o tamanho, o transporte, a facilidade de manipulação e as particularidades de exposição do equipamento disponível devem ser inteiramente conhecidos.

A experiência, previamente adquirida, com equipamentos semelhantes é também muito útil na determinação das técnicas de exposição em geral. Uma lista ou registro de exposições anteriores fornecerá dados específicos, que poderão ser utilizados como orientação para radiografias futuras.

Revelação do filme

Depois de exposta ao raio-X, a imagem latente no filme torna-se permanentemente visível, processando-a sucessivamente com uma solução química reveladora, um banho de ácido e um banho de fixação, seguido por uma lavagem com água pura.

O filme consiste de um sal de prata sensível à radiação numa suspensão gelatinosa, formando uma emulsão. A solução reveladora converte os elementos afetados pela radiação na emulsão, em prata negra metálica. São essas partículas metálicas que formam a imagem. Quanto mais tempo o filme permanecer no revelador, mais prata metálica é formada, fazendo com que a imagem se torne cada vez mais escura. Excesso de tempo na solução reveladora resulta em super-revelação.

Um enxágüe em banho ácido, conhecido como banho de parada, neutraliza instantaneamente a ação do revelador, paralisando o progresso da revelação.

Devido à emulsão macia e à qualidade não absorvente da base da maioria dos materiais negativos, é suficiente um banho de ácido bem fraco.

O objeto do banho de fixação é fixar a imagem no estágio desejado de revelação. Quando um material sensível à radiação é removido da solução reveladora, a emulsão permanece ainda com uma considerável quantidade de sais de prata que não foi afetada pelos agentes reveladores.

Esses sais são ainda sensíveis e, se forem deixados na emulsão, serão eventualmente escurecidos pela luz, obscurecendo a imagem. Logicamente, caso isso aconteça, o filme ficará imprestável.

O banho de fixação evita a descoloração, dissolvendo os sais de prata que possam ter per-

manecido na imagem revelada. Consequentemente, para se obter uma imagem permanente é preciso fixar o material sensível à radiação, removendo da emulsão todo sal de prata remanescente.

Após a fixação, torna-se necessário um enxágüe completo para remover o agente fixador. A permanência deste provocaria sua combinação com a imagem, ocasionando manchas pardacento-amareladas de sulfeto de prata e o conseqüente desbotamento da imagem.

NOTA: Todo o processo de revelação deve ser conduzido sob uma luz tênue, e, a cuja cor o filme não seja sensível.

Interpretação radiográfica

Do ponto de vista do controle de qualidade, a interpretação radiográfica é a fase mais importante da radiografia. É durante essa fase que um erro de interpretação pode trazer consequências desastrosas. Os esforços, de todo processo radiográfico, acham-se centralizados nessa fase. A peça ou estrutura é aceita ou rejeitada. Condições de falha na integridade ou outros defeitos observados superficialmente, não entendidos ou erroneamente interpretados, podem destruir a finalidade e os esforços da radiografia, podendo prejudicar a integridade estrutural de todo o avião. Um grave perigo é o falso senso de segurança, adquirido pela aceitação da peça ou estrutura, baseada em interpretação incorreta.

À primeira vista, a interpretação radiográfica pode parecer simples, mas uma análise mais detalhada do problema cedo desfaz a impressão.

O assunto da interpretação é tão variado e complexo que ele não pode ser abordado adequadamente neste tipo de manual. Assim sendo, este capítulo fornecerá somente uma revisão breve das necessidades básicas para a interpretação radiográfica, incluindo algumas descrições de defeitos comuns.

A experiência tem demonstrado que na medida do possível a interpretação radiográfica deve ser feita próxima à operação radiográfica. É bastante útil, ao observar as radiografias, ter acesso ao material submetido à inspeção.

A radiografia pode assim ser comparada diretamente com o material e indicações devidas a fatos, tais como condição da superfície ou variações na espessura podem ser determinadas imediatamente.

Os parágrafos subseqüentes apresentam diversos fatores que devem ser levados em consideração ao se analisar uma radiografia.

Há três tipos básicos de defeitos: falhas, inclusões e irregularidades dimensionais. Este último tipo de defeito não se enquadra nos comentários, pois seu principal fator diz respeito a grau, não sendo a radiografia tão detalhada. As falhas e inclusões podem aparecer na radiografia sob uma variedade de forma que vão desde um plano bidimensional a uma esfera tridimensional. Uma rachadura, rasgo ou vinco terão mais aproximadamente o aspecto de plano bidimensional, ao passo que uma cavidade se assemelhará a uma esfera tridimensional. Outros tipos de defeitos como contrações, inclusões óxidas, porosidade, etc. aparecerão com aspectos que se encaixam entre os dois extremos acima citados.

É importante analisar a geometria de um defeito, especialmente no que diz respeito à agudeza das extremidades. Num defeito tipo fenda, por exemplo, as extremidades aparecerão muito mais agudas do que em um defeito tipo esfera, tal como uma cavidade gasosa. A rigidez do material pode também ser afetada negativamente pelo formato do defeito. Um defeito apresentando extremidades pontiagudas pode estabelecer uma fonte de concentração de esforços localizados. Os defeitos esféricos afetam a rigidez do material num grau inferior aos defeitos com extremidades pontiagudas. Os padrões de especificações e referências estipulam geralmente que os defeitos com extremidades pontiagudas, tais como rachaduras, vincos, etc. são causas para rejeição.

A rigidez do material é afetada também pelo tamanho do defeito. O componente metálico de uma certa área é projetado para suportar uma determinada carga, incluindo um fator de segurança. A redução dessa área devido a um grande defeito enfraquece a peça e reduz o fator de segurança. Alguns defeitos são muitas vezes tolerados nos componentes devido aos estes fatores de segurança; nesse caso, o analista deve determinar o grau de tolerância ou imperfeição especificado pelo engenheiro do projeto. Tanto o tamanho como o formato do defeito devem ser criteriosamente levados em consideração, posto que pequenos defeitos com extremidades pontiagudas podem ser tão perigosos quanto grandes defeitos sem extremidades pontiagudas.

Outra importante consideração na análise do defeito é a sua localização. Os componentes

metálicos estão sujeitos a numerosos e variados esforços em suas atividades. De um modo geral, a distribuição destes esforços não é equalizada nas peças ou componentes; e determinadas áreas críticas podem estar mais sujeitas a esforço. O analista deve dedicar atenção especial a essas áreas. Outro aspecto na localização dos defeitos é que certos tipos de descontinuidades próximas umas às outras podem tornar-se potencialmente a fonte de concentração de esforço; portanto esse tipo de situação deve ser examinado com bastante atenção.

A inclusão é um tipo de defeito que contém material aprisionado. Esses defeitos podem ser de maior ou menor densidade que a peça que está sendo radiografada. Os comentários acima sobre o formato, tamanho e localização do defeito aplicam-se igualmente às inclusões e falhas. Além disso, um defeito portador de matéria estranha pode tornar-se uma fonte de corrosão.

Perigos da radiação

A radiação das unidades de raio-X e fontes de radioisótopos é capaz de destruir o tecido humano. Reconhecemos que ao manipularmos tais equipamentos as devidas precauções devem ser tomadas. As pessoas devem ficar afastadas todo o tempo do feixe primário do raios-X.

A radiação produz modificações em todas as matérias pelas quais ela passa. O que também é verdadeiro com respeito ao tecido humano. Quando a radiação atinge as moléculas do corpo, o efeito pode não passar pelo deslocamento de alguns elétrons, porém um excesso dessa modificação pode causar males irreparáveis. Quando um organismo complexo é exposto à radiação, o grau de lesão, caso exista, depende de quais das células do seu corpo foram atingidas.

Os órgãos mais vitais encontram-se no centro do corpo; portanto a radiação mais penetrante é passível de ser mais perigosa nessa área. A pele normalmente absorve a maior parte da radiação e, portanto, reage mais prontamente a seus efeitos.

Se todo o corpo for exposto a uma alta dose de radiação, isso poderá resultar em morte.

Em geral, o tipo e a seriedade dos efeitos patológicos da radiação dependem da quantidade de radiação recebida de uma só vez, e da porcentagem de todo o corpo exposto. As doses menores de radiação podem causar problemas sangüíneos e intestinais de pouca duração. Os efeitos

mais prolongados são leucemia e câncer. A exposição à radiação pode também provocar lesão da pele e queda do cabelo.

TESTE ULTRA-SÔNICO

O equipamento de detecção ultra-sônica tornou possível localizar defeitos em todos os tipos de materiais, sem provocar-lhes quaisquer danos. Minúsculas rachaduras, fendas e falhas, extremamente pequenas para serem vistas pelo raio-X, são localizadas pela inspeção ultra-sônica. O instrumento de teste ultra-sônico necessita de acesso a somente uma superfície do material a ser inspecionado e pode ser utilizado com a técnica do feixe em linha reta ou em ângulo.

Dois métodos básicos são aplicados na inspeção ultra-sônica. O primeiro deles é o teste de inversão. Nesse método de inspeção, a peça sob exame e a unidade de pesquisa ficam totalmente submersas num líquido que pode ser água ou qualquer outro fluido adequado.

O segundo método é denominado teste por contato, que é facilmente adaptado ao uso no hangar (esse é o método aqui apresentado). Nesse método a peça a ser inspecionada e a unidade de pesquisa são acopladas com um material viscoso (líquido ou pasta) que reveste as faces da unidade de pesquisa e o material sob exame.

Há dois sistemas básicos ultra-sônicos:

- 1) O pulsante
- 2) O de ressonância.

O sistema pulsante pode ser de eco ou de transmissão direta; o sistema de eco é o mais versátil dos dois.

Eco-pulso

Os efeitos são detectados medindo-se a amplitude dos sinais refletidos e o tempo necessário para esses sinais irem das superfícies para as discontinuidades. (Ver a figura 10-13).

A base de tempo, que é disparada simultaneamente com cada pulso de transmissão, gera um ponto luminoso que se desloca de um lado a outro do CRT (tubo de raios catódicos). O ponto varre a face do tubo da esquerda para a direita, de 50 a 5.000 vezes por segundo, ou mais rapi-

damente se selecionado para varredura automática de alta velocidade.

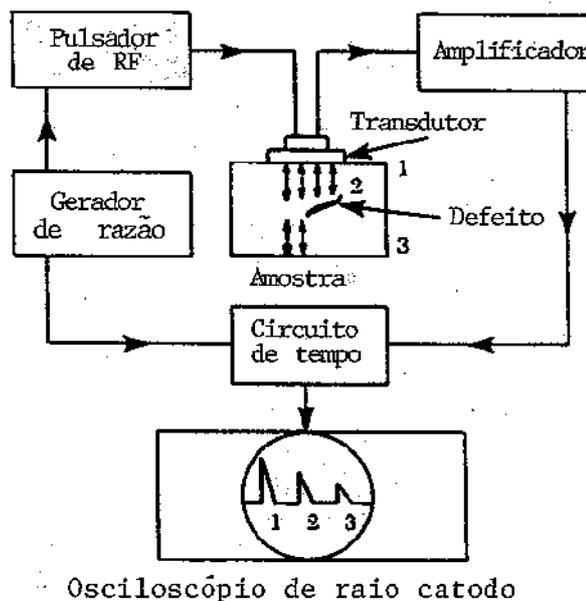


Figura 10-13 Diagrama em bloco do sistema básico de eco-pulso.

Devido à velocidade do ciclo de transmissão e recepção, a figura no osciloscópio parece estacionária. Poucos segundos, após ter início a varredura, o gerador de razão excita eletricamente o pulsador de RF, e este por seu turno emite um pulso elétrico. O transdutor converte esse pulso numa curta série de ondas de som ultra-sônicas. Se as faces de contato do transdutor e da peça estiverem devidamente orientadas, o ultra-som será refletido para o transdutor ao atingir o defeito interno e a superfície oposta da peça.

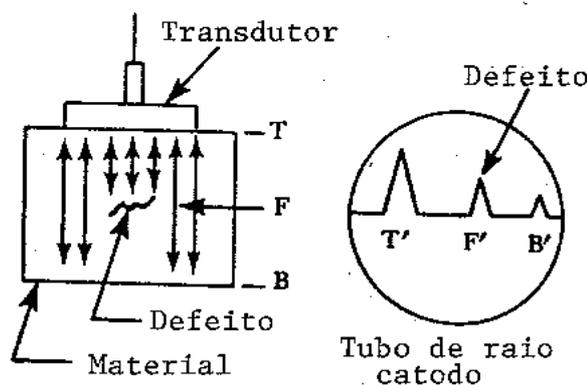


Figura 10-14 Apresentação do osciloscópio em relação à localização do defeito.

O intervalo de tempo compreendido entre a transmissão do impulso inicial e a recepção dos

sinais refletidos na peça é medido pelos circuitos de tempo

O pulso refletido recebido pelo transdutor é amplificado e então transmitido ao osciloscópio, onde o pulso recebido devido ao defeito é apresentado na tela do CRT. O PULSO é apresentado na mesma posição relativa entre os pulsos frontais e traseiros, da mesma forma que o

defeito se encontra entre as superfícies frontal e traseira da peça. (Ver a figura 10-14)

O Reflectoscópio é um equipamento tipo eco-pulso, podendo ser utilizado para detecção de defeitos tais como rachaduras, dobras, inclusões, deslaminação, soldas parciais, falhas, contrações, porosidade, escamação e outros defeitos sob a superfície.

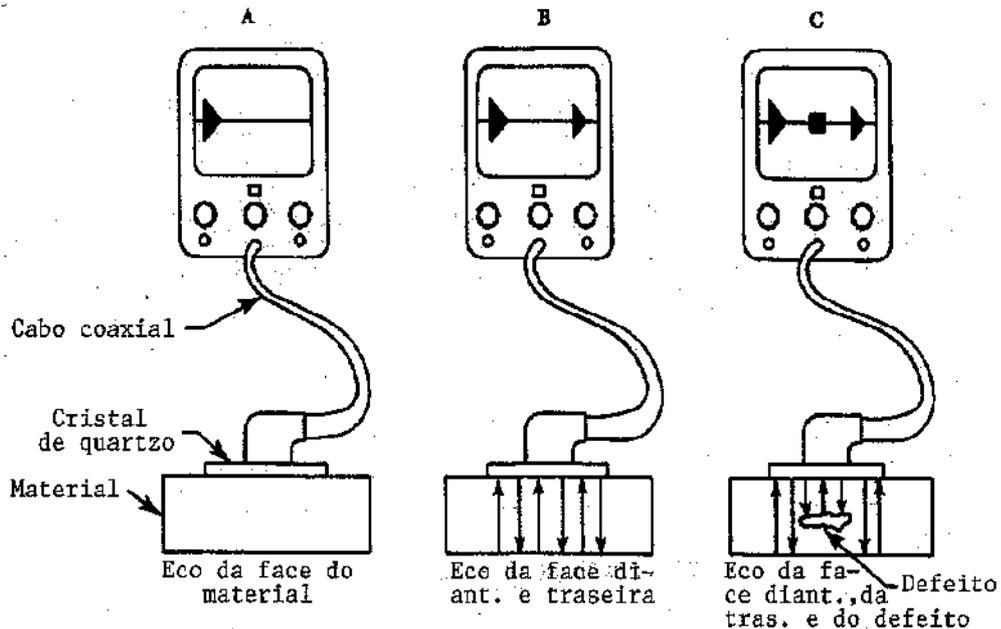


Figura 10-15 Operação do reflectoscópio - teste de feixe direto.

O princípio operacional é ilustrado na figura 10-15, onde os pulsos elétricos são transformados pelo cristal em vibrações ultra-sônicas que são transmitidas para o interior do material. O sinal refletido pelo pulso inicial provoca uma indicação no tubo de raios catódicos apresentada na figura 10-15, detalhe A. A apresentação do detalhe B correspondente ao reflexo emitido pelas vibrações que atingiram a parte inferior da peça, e retornaram à unidade de pesquisa, que as transformou novamente em pulsos elétricos.

A indicação vertical na tela, de seus ecos, é conhecida como a "primeira indicação de retorno". Se um defeito estiver presente (figura 10-15, detalhe C), uma parte das vibrações que atravessa a peça é refletida pelo defeito, provocando uma indicação extra na tela. O espaço percorrido pela varredura horizontal é correspondente ao tempo decorrido desde que as vibrações foram emitidas pelo cristal. Esse tipo de operação, designado como teste de feixe direto, é indicado para detecção de defeitos cujos planos são paralelos ao plano da peça.

A aplicação do teste de feixes em ângulo, também conhecido como teste de onda recortada, inclui os seguintes casos:

- 1) Defeitos cujos planos formam ângulo com o plano da peça.
- 2) Descontinuidade em áreas que não podem ser atingidas utilizando-se a técnica padrão do feixe direto.
- 3) Alguns defeitos internos em chapas metálicas.
- 4) Alguns tipos de defeitos internos em tubulações ou barras, tais como inclusões e pequenas fendas próximas à superfície.
- 5) Rachaduras no metal básico, provenientes de soldas.
- 6) Alguns defeitos de soldas.

O teste de feixe em ângulo difere do teste de feixe direto, somente na forma pela qual as ondas ultra-sônicas atravessam o material que está sendo testado.

Como mostra a figura 10-16, o feixe é projetado no material num ângulo agudo à superfície, devido a um corte angular no cristal que fica montado sobre um plástico.

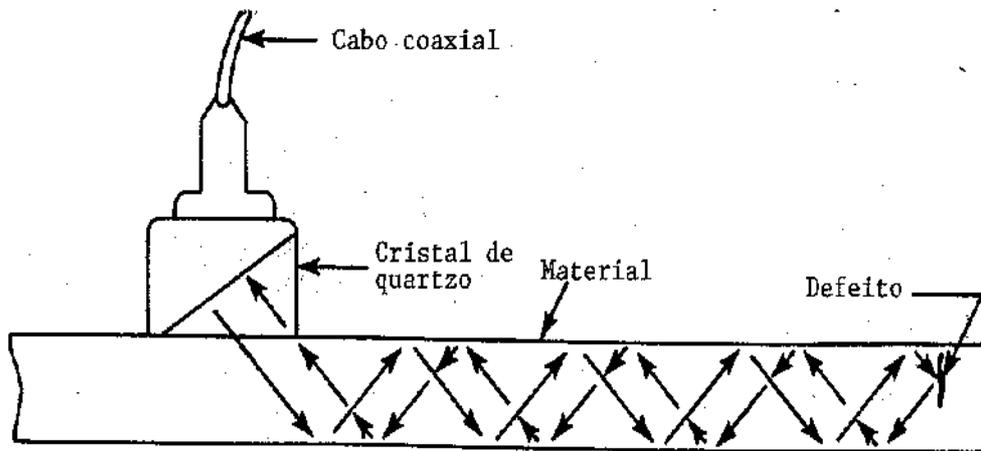


Figura 10-16 Operação do reflectoscópio - teste de feixe em ângulo.

O feixe ou parte dele reflete sucessivamente das superfícies do material, ou de qualquer outra descontinuidade, incluindo a borda do mesmo.

No teste de feixe direto, a distância horizontal na tela entre o pulso inicial e o primeiro eco representa a espessura da peça, enquanto que no teste de feixe em ângulo a distância representa o espaço entre a unidade de pesquisa e a borda oposta da peça.

Sistema de ressonância

Esse sistema difere do método pulsante no sentido de que a frequência de transmissão é, ou pode ser, continuamente variada. O método de ressonância é utilizado principalmente para medida da espessura, quando os dois lados da peça sob teste são lisos e paralelos. O ponto no qual a frequência transmitida equivale ao ponto de ressonância da peça sob teste, é o fator que determina a espessura. É preciso que a frequência das ondas ultra-sônicas, correspondente a um determinado ajuste do mostrador, seja conhecida com exatidão. Constantemente deve ser efetuado teste com frequencímetro para evitar desvio de frequência.

Se a frequência da onda ultra-sônica for tal que seu comprimento de onda seja duas vezes a espessura do material (frequência fundamental), a onda refletida chegará ao transdutor na mesma fase que a da transmissão original. Ocorrerá desta forma um reforço do sinal, o que e-

quivale dizer, a ressonância. Se a frequência for aumentada de forma que três vezes o comprimento de onda equivalha a quatro vezes a espessura, o sinal refletido chegará então completamente fora de fase com o sinal transmitido, ocorrendo o cancelamento do sinal. Tornando-se a aumentar a frequência de tal forma que o comprimento de onda seja novamente igual à espessura do material, obtém-se um sinal refletido em fase com o sinal transmitido, ocorrendo uma vez mais a ressonância. (Ver a figura 10-17)

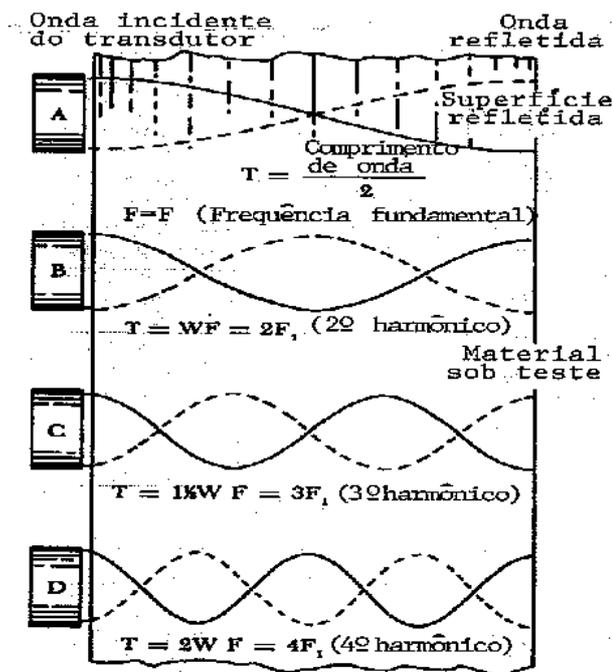


Figura 10-17 Condições de ressonância ultra-sônica numa chapa metálica.

Iniciando-se na frequência fundamental e aumentando-se gradualmente a frequência, podem ser observados os sucessivos cancelamentos e ressonâncias, bem como as leituras utilizadas para verificar a leitura da frequência fundamental.

Em alguns equipamentos, o circuito oscilador possui um condensador movimentando um motor que modifica a frequência do oscilador (Ver a figura 10-18). Em outros equipamentos, a frequência é modificada por processo eletrônico.

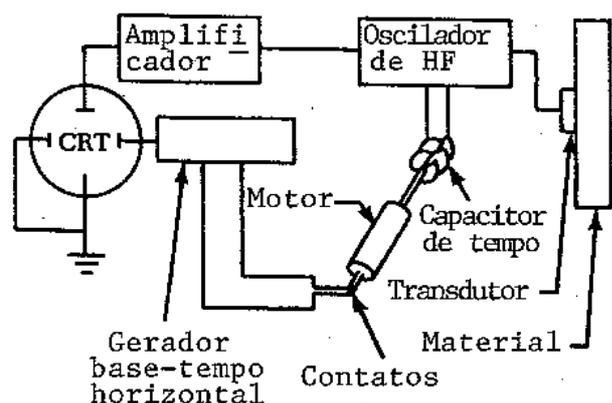


Figura 10-18 Diagrama em bloco do sistema ressonante de medição da espessura.

A variação da frequência é sincronizada com a varredura horizontal de um CRT. O eixo horizontal representa a escala de frequência. Se em seu espaçamento ocorrerem ressonâncias, o circuito é construído, de tal forma que elas se apresentarão verticalmente. Escalas transparentes calibradas são colocadas na frente do tubo, de modo que a espessura possa ser lida diretamente. Os instrumentos operam normalmente entre 0,25 e 10 MHz, em quatro ou cinco faixas.

O instrumento de medição da espessura por ressonância pode ser utilizado para testar metais como aço, ferro fundido, latão, níquel, cobre, prata, chumbo, alumínio e magnésio. Além disso, podem ser localizadas e avaliadas áreas de corrosão ou desgaste nos tanques, tubulações, chapas de asa do avião e outras estruturas.

Existem unidades de leitura direta, operadas por mostrador, que medem espessuras entre 0,025 e 3 polegadas, com precisão superior a + ou - 1%.

A inspeção ultra-sônica requer um operador habilitado que esteja familiarizado com o

equipamento utilizado, bem como o método de inspeção a ser aplicado às diversas peças submetidas a teste.

TESTE DE *EDDY CURRENT*

Análise eletromagnética é um termo na qual descreve os métodos de testes eletrônicos, envolvendo a intersecção de campos magnéticos e correntes circulatórias. A técnica mais usada é a de "*Eddy Current*".

"*Eddy Current*" são compostos por elétrons livres que passam através do metal, sob a influência de um campo eletromagnético. O *Eddy Current* é usado na manutenção para inspecionar eixo do motor da turbina à um jato, revestimento das asas e seus elementos, trem de pouso, furos de fixadores e cavidade das velas de ignição quanto a rachadura, superaquecimento e danos estruturais. Na construção de uma aeronave o "*Eddy Current*" é usado para inspecionar as carcaças, estampagens, peças mecanizadas, forjadas e extrusões.

Princípios básicos

Quando uma corrente alternada passa através de uma bobina, ela desenvolve um campo magnético ao seu redor, que por sua vez induz uma tensão de polaridade oposta da bobina que se opõe ao fluxo de corrente original. Essa bobina é colocada de tal maneira que seu campo magnético passa em um corpo de prova de bom condutor de eletricidade no qual a "*Eddy Current*" será induzida. O "*Eddy Current*" cria seu próprio campo que varia em oposição do campo original para o fluxo de corrente original. Assim a sensibilidade para o "*Eddy Current*" determina o fluxo de corrente através da bobina (Figura 10-19).

O tamanho e a fase do campo dependem basicamente da resistividade e permeabilidade do corpo de prova em evidência, e ele nos permite fazer uma avaliação qualitativa de várias propriedades físicas do material de teste.

A interação do campo de "*Eddy Current*" com o resultado do campo original é uma inversão de força que pode ser medida utilizando um circuito eletrônico similar a uma ponte de *Wheastone*.

O corpo de prova é introduzido através do campo de uma bobina de indução eletromagnética, e seu efeito na impedância da bobina ou

na saída de tensão de uma ou mais bobinas de teste é observado.

O processo pelo qual os campos elétricos são emitidos para examinar uma peça em várias condições, envolve a transmissão de uma energia através do campo de prova como a transmissão do Raio-X, calor ou Ultra-som.

Na transmissão do Raio-X, calor ou ultra-som, o fluxo de energia flui em uma amplitude máxima tendo uma direção, intensidade identificada, obedecendo as leis de absorção, reflexão, difração e difusão. Elementos receptíveis podem ser colocados dentro de um campo e uma medida de fluxo de energia é possível de se obter.

Entretanto, em testes eletromagnéticos a energia se distribui em um raio pré-determinado, passando por um processo de transformação de energia magnética para elétrica e, subseqüentemente, voltando para a energia magnética. Como a corrente induzida flui em um circuito fechado, ela não é conveniente e nem usualmente possível para interceptar os limites do fluxo do campo de prova.

Inspeção visual

Testes não destrutivos pelo método visual constituem a mais velha forma de inspeção. Defeitos que possam passar despercebidos a olho nu podem ser ampliados até tornarem-se visíveis. Telescópios, boroscópios e lentes ajudam na execução da inspeção visual.

Os comentários sobre a inspeção visual neste manual serão confinados à apreciação da qualidade de soldas pelo método visual. Embora o aspecto da solda pronta não seja uma indicação positiva da sua qualidade, mesmo assim dá uma boa idéia do cuidado com que foi executada.

Uma junção por solda bem executada é muito mais forte que o metal básico ligado por ela. As características de uma junção por solda bem executada são apresentadas nos parágrafos seguintes. (Ver a figura 10-20).

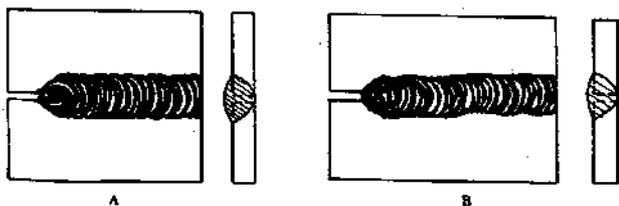


Figura 10-20 Exemplos de boas soldas.

Uma boa solda tem largura uniforme; as ondulações são uniformes e bem cunhadas no metal base, que não apresenta queimadura devido ao superaquecimento

A solda tem boa penetração, não apresentando bolhas, porosidade ou inclusões. As bordas do filete ilustrado na figura 10-20 (B) não estão em linha reta; entretanto, a solda está bem executada, pois a penetração é excelente.

Penetração é a profundidade da fusão numa solda. A fusão integral é a característica mais importante que contribui para uma solda segura.

A penetração é afetada pela espessura do material a ser unido, pelo tamanho da vareta de enchimento e do modo pela qual ela é adicionada. Na solda de topo a penetração deve corresponder a 100% da espessura do metal base. Na solda de canto angular (filete), a necessidade da penetração deve ser de 25 a 50% da espessura do metal base. A largura e profundidade do rebordo das soldas de topo e de filete acham-se apresentadas na figura 10-21.

Visando melhor determinar a qualidade de uma junção por solda, vários exemplos de soldas imperfeitas são apresentados nos parágrafos seguintes.

A solda vista na figura 10-22 (A) foi feita apressadamente. O aspecto alongado e pontiagudo das ondulações foi causado por calor excessivo ou chama oxidante.

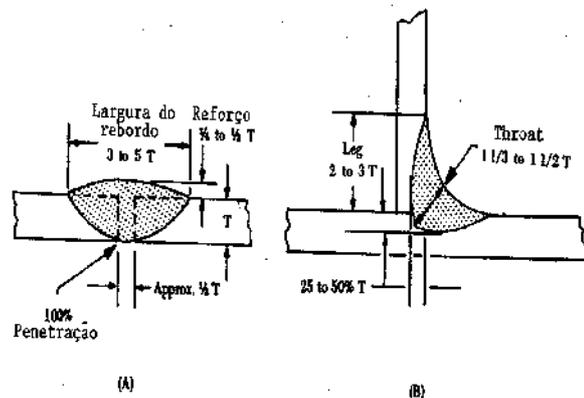


Figura 10-21 (a) solda de topo e (b) solda de filete, mostrando a largura e profundidade do rebordo.

Se a solda fosse transversal, possivelmente apresentaria bolhas de gás, porosidade e inclusão de escória.

A figura 10-22 (B) apresenta uma solda com penetração indevida e dobras frias ocasionadas por calor insuficiente. Ela parece grosseira

ra, irregular, e seus bordos não estão cunhados no metal base.

Durante o processo da solda há uma tendência de fervura, caso seja usada uma quantidade excessiva de acetileno. Isso provoca muitas vezes leves protuberâncias, ao longo do centro, e crateras na extremidade da solda. A firmeza do corpo da solda será evidenciada através de verificações cruzadas. Se a solda fosse submetida a um corte transversal, bolhas e porosidade seriam visíveis. Essa situação é apresentada na figura 10-22 (C).

Uma solda mal feita, com bordos irregulares e bastante variação na profundidade da penetração acha-se ilustrada na figura 10-22 (D).

Ela tem freqüentemente o aspecto de uma solda fria.

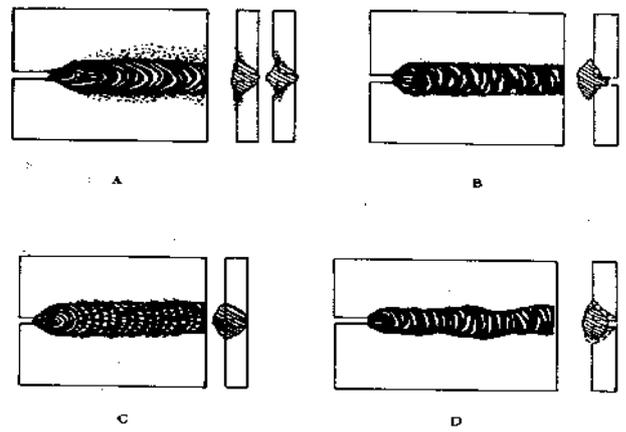


Figura 10-22 Exemplos de soldas mal feitas.

MANUSEIOS DE SOLO, SEGURANÇA E EQUIPAMENTOS DE APOIO

INTRODUÇÃO

As técnicas de manutenção em aeronaves requerem apoios de serviços, com equipamentos de solo e equipamentos para movimentação da aeronave.

A complexidade dos equipamentos de solo, e os riscos envolvidos no manuseio de dispendiosas aeronaves, requerem técnicos de manutenção que possuem um complexo conhecimento dos procedimentos de segurança usados na manutenção, táxi, testes; e no uso dos equipamentos auxiliares. As informações contidas neste capítulo são entendidas como um guia geral, para trabalhos em todos os tipos de aeronaves.

GERAL

As seguintes instruções incluem os procedimentos iniciais para motores convencionais, turboélices e turbojato. Esses procedimentos estão descritos somente como um guia geral, para a familiarização com os métodos e procedimentos típicos.

Instruções detalhadas para o manuseio de um tipo específico de motor podem ser encontradas no manual de instruções do fabricante.

Antes da partida no motor do avião:

1. Posicionamos o avião com o nariz para o vento predominante, para que ele receba adequado fluxo de ar sobre o motor, tendendo a esfriá-lo.
2. Agimos conforme o estabelecido para que não ocorram danos materiais ou pessoais, causados pelas hélices, ou na área próxima do arrasto.
3. Se a fonte externa elétrica for usada para a partida, usamos de toda atenção para que ela possa ser removida com segurança.
4. Durante os procedimentos de partida deve haver um bombeiro equipado com um extintor, próximo ao motor a ser girado.
5. Se o avião for equipado com motor a reação, a área na frente das turbinas deve estar bem

limpa, sem ninguém ou qualquer resto de material.

6. Esses procedimentos aplicados antes da partida são válidos para todos os motores convencionais, turboélices e turbojatos.

PARTIDA NOS MOTORES

Motores Convencionais

Os seguintes procedimentos são usados para partidas em motores convencionais. Existe contudo, ampla variação nos procedimentos. Não devemos tentar fazer uso dos métodos apresentados aqui para uma partida atualizada. Os procedimentos contidos nas instruções do fabricante devem ser sempre verificados.

Motores convencionais são capazes de dar partidas normais em baixas temperaturas sem o uso do aquecimento do motor, ou diluição do óleo, dependendo do grau do óleo usado.

As carenagens (asa, cauda, cabine, bequilha, etc.) devem ser afastadas do avião, antes que o motor comece a girar.

Fontes externas de força elétrica devem ser usadas na partida do motor sempre que eles forem equipados com arranques elétricos. Esse procedimento elimina um excessivo gasto na bateria do avião.

Todos os equipamentos elétricos desnecessários devem ser desligados até que o gerador comece a fornecer energia elétrica para as barras de força do avião.

Antes da partida num motor radial, que tenha sido cortado por mais de 30 minutos, verificamos se a chave de ignição está desligada, giramos a hélice três ou quatro voltas completas com o motor de arranque, ou manualmente, para detectar se existe um calço hidráulico.

Qualquer líquido existente no interior do cilindro é indicado pelo esforço anormal da rotação da hélice, ou pela parada brusca da hélice durante a rotação. Nunca se usa força para girar a hélice quando for detectado um calço hidráulico.

Força suficiente, se exercida no eixo de manivela, poderá emperrar ou travar uma biela, caso exista um calço hidráulico.

Para eliminar um calço hidráulico, removemos as velas dianteiras e traseiras dos cilindros inferiores, e giramos a hélice. Nunca devemos tentar tirar o calço hidráulico girando a hélice em sentido oposto à rotação normal, pois isso tende a injetar o óleo do cilindro para o interior do tubo de admissão. O líquido será aspirado de volta ao cilindro, com possibilidade de ocorrer outro calço hidráulico completo ou parcial na próxima partida.

Para girar o motor, o procedimento é o seguinte:

- 1 - Ligar a bomba auxiliar de combustível, se for o caso (nem toda aeronave é equipada com bomba auxiliar).
- 2 - Colocar o controle da mistura na posição recomendada para a combinação carburador e motor, do tipo que está sendo girado. Como regra geral, o controle da mistura deverá estar na posição de "marcha lenta" para os carburadores tipo pressão, e na posição "mistura rica" para os carburadores do tipo bóia.
Na maioria, os aviões leves estão equipados com um tipo de controle de mistura, acionado por hastes de comando os quais não tem posições intermediárias. Quando esses controles são empurrados no sentido do painel de instrumentos, a mistura enriquece. Do modo contrário, quando o controle é puxado todo o curso, o carburador fica na posição de marcha lenta ou totalmente pobre. Posições intermediárias não determinadas, entre esses dois extremos, podem ser selecionadas pelo operador para obter qualquer ajuste de mistura desejada.
- 3 - Selecionar a manete para a posição na qual será mantida, 1.000 para 1.200 r.p.m. (aproximadamente de 1/8 a 1/2 polegada da posição fechada).
- 4 - Manter o pré-aquecimento ou alternar o controle de ar (ar do carburador) na posição "frio" para evitar danos e incêndio no retorno de chamas. Esse dispositivo de aquecimento auxiliar deverá ser usado depois que o motor estiver aquecido. Ele previne a vaporização do combustível; evita a carbonização das velas; formação de gelo, além de eliminá-lo no sistema de indução.
- 5 - Ligar o motor de partida e, depois que as hélices tiverem feito pelo menos duas voltas completas ligar o interruptor de ignição.

Nos motores equipados com um vibrador de indução, girar a chave para a posição "ambos". Quando a partida for num motor que usa um magneto acoplador de impulso, girar a chave de ignição para "partida" quando o magneto possuir um conjunto de freio retardado. Não acionar o motor com o motor de partida por mais de 1 minuto. Deve-se esperar um período de 3 a 5 minutos, para esfriamento do motor de partida, entre duas tentativas sucessivas. De outra maneira o motor de partida poderá ser queimado devido ao superaquecimento.

- 6 - Ligar o interruptor de injeção de combustível intermitentemente, ou injetar com 1 a 3 acionamentos da bomba de injeção, dependendo de como a aeronave estiver equipada.

Quando se inicia a ignição do motor, o injetor de combustível permanece ligado, enquanto, gradualmente, vai abrindo a manete para obter uma operação suave.

Depois que o motor estiver operando com o injetor, acionamos o controle da mistura para a posição "toda rica". Soltamos o injetor tão logo haja uma queda de r.p.m., indicando que o motor está recebendo combustível adicional do carburador.

Partida manual

Se a aeronave não tiver um sistema próprio de partida, o motor pode ser acionado girando-se a hélice. O operador que irá girar a hélice, fala em voz alta para o que está na cabine, "combustível ligado, chave de ignição desligada, manete de combustível fechada, freios aplicados". O operador do motor checará esses itens e em seguida repetirá a frase.

A chave de ignição e a manete de combustível não deverão ser tocadas, antes do girador da hélice falar "contacto". Depois, o operador da cabine repete "contacto" e, só então, liga a ignição. Nunca ligamos a chave de ignição antes de ter repetido o "contacto".

Quando acionamos a hélice manualmente, algumas simples preocupações devem ser observadas para evitar acidentes. Quando tocando a hélice, sempre devemos supor que a ignição esteja ligada. A chave que controla os magnetos opera com o princípio de curto-circuito de corrente para desligar a ignição. Mesmo desligada, se estiver defeituosa, a chave

poderá permitir um fluxo de corrente no circuito primário do magneto.

É ideal que se verifique se o local de quem vai girar a hélice é seguro, e se dará um apoio bem firme. Grama escorregadia, lama, lubrificantes ou cascalhos soltos podem ser jogados para debaixo da hélice. Nunca devemos permitir que qualquer parte do seu corpo fique no percurso da hélice. Isso se aplica também a um motor que não esteja sendo girado.

Nos mantemos perto da hélice apenas o suficiente para girá-la, e nos afastamos assim que ela é acionada pelo motor. Nos afastamos para longe assim que o motor pegar, prevendo uma falha de freio. Evita-se ficar em uma posição que requeira uma inclinação na direção da hélice, para alcançá-la. Isso ocasionará o balanço do corpo e poderá causar a sua queda sobre as pás, quando o motor girar. Ao impulsionalmos a hélice, movemos a pá sempre para baixo, empurrando com a palma da mão. Não seguramos a pá com os dedos curvados sobre a borda desta, uma vez que o retrocesso poderá quebrá-los ou lançar seu corpo na órbita da hélice.

Abertura excessiva da manete, ou escorvamento intermitente após a queima, são as principais causas de contra-explosão durante a partida abertura gradual da manete enquanto se "escorva" continuamente, reduzirá a mistura demasiado rica para uma mistura gradativamente melhor, à medida que o motor ganha aceleração. O motor, operando com uma mistura muito rica, é lento, porém não sofre contra-explosão.

Dando-se partida no motor usando o afogador, selecionamos a posição "Full rich", se não estiver previamente posicionada, quando o motor começar a queimar. Se o motor não pegar imediatamente retornamos o controle para "idle cutoff". Se isso não for feito, acarretará um acúmulo de combustível no carburador, constituindo risco de incêndio.

Evita-se escorvar o motor antes deste ser virado pelo motor de partida. Isso pode resultar em incêndios, cilindros e pistões riscados ou desgastados, e falhas no motor devido a travamento hidráulico. Se o motor for inadvertidamente banhado ou superafogado, desligamos a chave de ignição e selecionamos a posição "full open". Para livrar o motor do excesso de combustível, ele é virado, com a mão ou pelo motor de partida. Se for necessária força excessiva para virá-lo paramos imediatamente. Não se força a rotação do motor. Na dúvida, as velas de

ignição do cilindro de baixo são removidas. Se ocorrer grande sobrecarga, poderá ser necessário remover os tubos de admissão dos cilindros de baixo. Para reduzir a probabilidade de dano ao motor devido ao superafogamento em aeronaves médias ou grandes, as válvulas de sangria do motor deverão ser checadas frequentemente, verificando-se se há bloqueios ou entupimentos.

Imediatamente após a partida no motor, checamos o indicador de pressão do óleo. Se a indicação não for dada em 30 segundos, cortamos o motor e identificamos a causa. Se a pressão do óleo for indicada, a manete é ajustada para a r.p.m. especificada pelo fabricante, para aquecimento do motor. A rotação de aquecimento deve estar na faixa de 1.000 a 1.300 r.p.m.

A maioria dos aviões de motor convencional tem refrigeração a ar e dependem da velocidade de avanço da aeronave para manter a refrigeração. Portanto, é necessário cuidado especial na operação desses motores no solo. Durante todo teste no solo, operamos o motor com a hélice em passo mínimo e contra o vento com a capota do motor colocada, a fim de proporcionar uma melhor refrigeração.

Os instrumentos do motor devem ser sempre monitorados rigorosamente. Não devemos fechar os flapes da capota do motor durante o seu aquecimento. Isso pode causar aquecimento dos fios das velas. Aquecendo o motor certificamo-nos de que não há pessoas, equipamentos passíveis de dano, ou outra aeronave na esteira da hélice.

Extinção de fogo no motor

Em todos os casos um bombeiro deve estar a postos com um extintor de CO₂, por ocasião da operação de partida. É uma precaução necessária contra incêndio, durante tal operação. Ele deve estar familiarizado com o sistema de indução do motor para que em caso de incêndio, possa direcionar o jato de CO₂ para a tomada de ar do motor a fim de extinguir o incêndio.

Um incêndio pode ocorrer também no sistema de exaustão do motor, através do combustível líquido sendo queimado no cilindro e sendo expelido durante a rotação normal do motor.

Se aparecer um incêndio durante o procedimento de partida devemos continuar tentando a partida do motor, para que este possa des-

carregar o fogo por exaustão. Se o motor não pegar e o incêndio continuar, interrompa-se a partida. O bombeiro deve extinguir o fogo usando o equipamento disponível; além disso deve observar todas as normas de segurança sempre que assistir o procedimento de partida.

MOTORES TURBOÉLICE

Procedimentos anteriores à partida

As diversas coberturas de proteção da aeronave devem ser removidas. Os coletores de escapamento do motor devem ser cuidadosamente inspecionados quanto a presença de combustível ou óleo.

Uma inspeção visual, de todas as partes acessíveis do motor e seus controles, deverá ser feita, seguida por uma inspeção de todas as áreas da nacele, para determinar que todas as janelas de acesso e de inspeção estão bem fixadas.

Os aparadores de óleo deverão ser checados pela presença de água. As entradas de ar deverão ser inspecionadas quanto a condições gerais e presença de matérias estranhas. O compressor deverá ser checado quanto à livre rotação, caso a instalação permita que as palhetas sejam giradas com a mão.

Os procedimentos a seguir são típicos daqueles usados para a partida dos motores turboélice.

Existe, contudo, grandes variações nos procedimentos aplicados para um grande número de motores turboélice. Esses procedimentos são apresentados somente como um guia geral para familiarização com tais tipos de motores. Para partidas dos motores turboélice, observamos os procedimentos detalhados, contidos nas instruções do fabricante, ou equivalentes, por ele aprovados.

O primeiro passo na partida de um motor a turbina é prover uma adequada fonte de força para o motor de partida.

Onde um motor de partida operado com ar da turbina for usado, ele poderá ser suprido com o ar obtido através de um compressor de turbina a gás (GTC), uma fonte de ar externa ou um motor operando, o qual poderá enviar o ar comprimido através do sistema de sangria de ar (*Bleed air*).

Para a partida do primeiro motor, usa-se um GTC ou baixa pressão de um reservatório de grande volume. Para a partida dos motores seguintes, usa-se o ar do motor que está girando.

Durante a partida de um motor, sempre se observa o seguinte:

- 1- Nunca comandar o motor de partida, enquanto o motor estiver girando.
- 2- Não mover a manete de potência de um motor quando ele estiver alimentando uma partida através do sistema de sangria.
- 3 - Não efetuar uma partida no solo, se a temperatura da entrada da turbina estiver acima do especificado pelo fabricante.
- 4 - Não usar o ar do sistema de sangria de um motor que está em fase de aceleração.

Procedimentos de partida

Para a partida de um motor no solo, executamos as seguintes operações:

- 1 - Colocar a chave do seletor de partida para o motor desejado.
- 2 - Ligar as bombas de reforço de combustível da aeronave.
- 3 - Ligar a chave de combustível e ignição.
- 4 - Posicionar o interruptor de baixa r.p.m. para a posição baixa ou normal (alta).
- 5 - Certificar-se de que a manete de potência está na posição de partida. Se a hélice não estiver na posição, poderá haver dificuldade para completar o ciclo de partida.
- 6 - Posicionar a chave de partida e, se uma injeção de combustível for necessário, comprimir o botão de injeção.
- 7 - Certificar-se de que a luz de paralelo da bomba de combustível acende a, ou acima de 2.200 r.p.m., e permanece até 9.000 r.p.m.
- 8 - Checar a pressão e a temperatura do óleo. Manter a manete de potência na posição de partida, até que a mínima temperatura do óleo seja atingida.
- 9 - Desconectar a fonte externa de força.

Se alguma das seguintes ocorrências acontecer na sequência da partida, desligamos a chave do combustível e da ignição, descontinuando imediatamente a partida, e fazendo uma investigação e relato da ocorrência.

- 1 - Temperatura da entrada da turbina excede o máximo especificado. "Pique" da temperatura, observado e anotado.
- 2 - O tempo da aceleração da rotação da hélice, para estabilizar a r.p.m., excede o tempo especificado .
- 3 - Não há indicação da pressão do óleo até 5.000 r.p.m. na caixa de redução ou no motor.
- 4 - Labareda (chama visível na saída dos gases, que não seja do normal enriquecimento) ou excessiva fumaça é observada durante o acendimento inicial.
- 5 - Falha da ignição do motor até 4.500 r.p.m. ou máxima rotação do motor de partida (o que ocorrer primeiro), e estagnação da rotação do motor ou início de queda.
- 6 - Anormal vibração é notada ou ocorre um afluxo ("surge") no compressor (indicado por retorno de chama).
- 7 - Há combustível saindo pelo dreno da nacelle, indicando que a válvula dreno não está fechada.
- 8 - Alarme sonoro de fogo (isto pode ser devido tanto a um foco de fogo no motor quanto a falha na válvula de corte antigelo não fechando).

MOTORES TURBOJATO

Operação de pré-vôo

Diferente dos procedimentos dos motores convencionais de avião, o turbojato não requer aquecimento de pré-vôo, é necessário somente investigar se há suspeita de algum vazamento ou mal funcionamento.

Antes da partida, verificamos se todas as tampas protetoras das entradas da turbina foram retiradas.

Se possível, colocamos o avião com o nariz contra o sentido do vento, para obter melhor refrigeração, partida mais rápida e melhor desempenho do motor.

É especialmente importante que a aeronave esteja contra o vento, se o motor tiver que ser calibrado.

A área de cheque em torno das turbinas deve estar livre tanto de pessoal como de equipamentos soltos.

As áreas de entrada e as de escapamento perigosas dos turbojatos são ilustradas na figura 11-1. Cuidados devem ser tomados, na área onde são feitos os testes dos motores, quanto à limpeza, principalmente de porcas, parafusos, pedras, farrapos de pano ou outras matérias soltas.

Um grande número de acidentes sérios ocorre envolvendo pessoas nos arredores da entrada de ar das turbinas.

Os tanques de combustível de aeronaves devem ser checados quanto a presença de água ou gelo, e a entrada de ar do motor deve ser inspecionada, quanto ao estado geral e a presença de objetos estranhos.

As palhetas dianteiras do compressor e a entrada das aletas-guia devem ser inspecionadas visualmente quanto a mossa e outros danos.

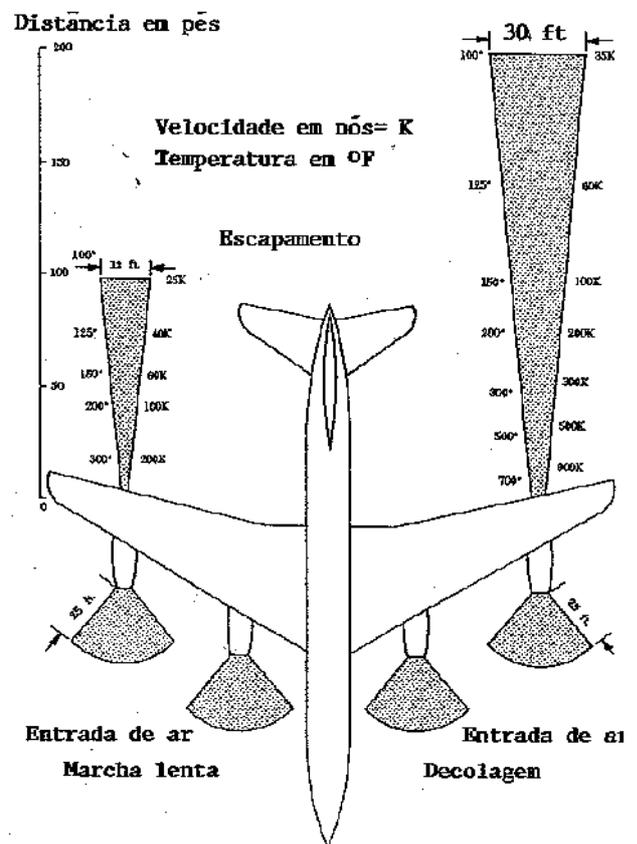


Figura 11-1 Áreas perigosas de entrada de ar e de escapamento.

Se possível, o compressor deve ser checado quanto a livre rotação, girando-se as palhetas com a mão.

Todos os controles do motor devem ser operados e os instrumentos do motor e as luzes

de alarme devem ser checadas quanto a uma adequada operação.

Partida num motor turbojato

Os seguintes procedimentos são típicos daqueles usados para partidas em muitos tipos de motores turbojato. Existem, contudo, grandes variações nos procedimentos, e de um modo geral, não pode ser feito o uso de um padrão básico. Esses procedimentos são apresentados somente como um guia geral para familiarização com os procedimentos e métodos típicos. Numa partida de todos os motores turbojato, dê atenção aos procedimentos detalhados contidos nas instruções aplicadas pelos fabricantes, ou equivalentes, por eles aprovados.

A maior parte dos motores turbojato podem ser girados por outra turbina a ar ou motores de partida do tipo à combustão. Motores de partida das turbinas usam ar comprimido, proveniente de fontes externas. Essas fontes podem ser unidades de fontes externas ou ar vindo do sistema de sangria, ou vindo de um motor do avião que já esteja operando.

Motores de partida a combustão são pequenos motores de turbina a gás, que obtêm potência através da expansão dos gases gerados na câmara de combustão. Esses gases aquecidos são produzidos pela queima do combustível e ar ou, em alguns casos, uma combustão lenta de monopropelente sólido ou líquido, especialmente compostos para aquelas unidades de partida.

A passagem do combustível é controlada pelo movimento da manete de potência ou pela abertura da válvula de corte.

Se um motor de partida de turbina a ar for usado, o motor da aeronave deverá girar ou acender, dentro de aproximadamente 20 segundos após o combustível ter sido ligado. Esse intervalo de tempo é uma escolha arbitrária que, se for excedido, indica que um defeito possivelmente tenha ocorrido e a partida deverá ser descontinuada. Uma outra partida só poderá ser tentada, após uma inspeção e ter sido sanado o defeito.

Se um motor de partida a combustão for usado, o intervalo de 20 segundos não necessita ser observado, desde que a operação do motor de partida seja desconectada automaticamente depois de um intervalo de tempo predeterminado.

Os procedimentos seguintes são incluídos para mostrar a sequência de eventos numa partida de motor turbojato:

1. Mover a manete de potência para a posição do batente mínimo ("*off*"), a menos que o motor seja equipado com o sistema reverso. Se isso ocorrer, colocar a manete na posição de marcha lenta ("*idle*").
2. Ligar a fonte elétrica para o motor.
3. Ligar a chave da válvula de corte do combustível para a posição ligada.
4. Ligar a chave da bomba de reforço.
5. A pressão de entrada do combustível será indicada no instrumento com 5 p.s.i., confirmando o fluxo e o funcionamento da bomba.
6. Ligar a chave do motor de partida quando o motor começar a girar, verificar a subida da pressão do óleo.
7. Ligar a chave de ignição, depois que o motor começar a girar.
8. Mover a manete para a marcha lenta (se o motor não for equipado com reverso).
9. A partida do motor (ignição) é indicada pelo aumento da temperatura dos gases de escapamento.
10. Depois que o motor estabilizar em marcha-lenta, assegurar-se de que nenhum dos limites do motor foram excedidos.
11. Desligar a chave do motor de partida após o motor pegar.
12. Desligar a chave de ignição.

Partidas problemáticas em turbojato

1. PARTIDA QUENTE

Uma partida quente ocorre quando o motor funciona, mas a temperatura dos gases de exaustão excedem os limites especificados. Isso é usualmente causado por uma mistura de combustível/ar excessivamente rica, entrando na câmara de combustão. Por isso o combustível para o motor deverá ser cortado imediatamente.

2. PARTIDA FALSA OU INTERROMPIDA

Ocorre quando o motor dá a partida e aparenta estar funcionando normalmente, mas a r.p.m. mantem-se numa gama mais baixa do que o mínimo de marcha lenta. Isto é, muitas vezes, o resultado de força insuficiente para o motor de

partida, ou o motor de partida corta antes de completar o ciclo inicial da partida do motor. Nesse caso, o motor deverá ser cortado.

3. O MOTOR NÃO PEGA

O motor não pega dentro do tempo limite pré-estabelecido. Isto pode ser causado pela carência de combustível para o motor, força elétrica insuficiente ou nenhuma, ou mau funcionamento no sistema de ignição.

Se o motor falha em completar a partida, dentro do tempo prescrito, torna-se necessário interromper imediatamente a partida.

Em todos os casos de mau funcionamento do motor de partida, o combustível e a ignição deverão ser desligados.

Devemos continuar girando o compressor por aproximadamente 15 segundos, para remover o combustível acumulado no motor. Se o motor de arranque for incapaz de girar o motor, aguardamos uns 30 segundos para o combustível ser drenado, antes de tentar uma outra partida.

FORÇA ELÉTRICA

Unidades de fonte de força variam muitíssimo em tamanho e tipo. Geralmente elas podem ser classificadas como rebocadas ou com tração própria.

A rebocadas variam em tamanho e classificação pela potência de força. As menores unidades são simples baterias de alta capacidade, usada para partidas em aeronaves pequenas. Essas unidades são normalmente montadas sobre rodas ou carrinhos e, são equipadas com um cabo longo, terminando com uma tomada adaptadora.

As grandes unidades (Figura 11-2) são equipadas com geradores. Essas unidades são providas de uma grande gama de fornecimento de força.

As unidades de força são normalmente feitas para suprir corrente contínua, voltagem variável C.C., energia elétrica para partidas em motores a reação, e possuem corrente contínua com voltagem constante para partidas em motores convencionais de aeronaves. Esse tipo de fonte externa a reboque adquire uma grande inércia; conseqüentemente deve ser rebocada com velocidade restrita, e as manobras bruscas devem ser evitadas.

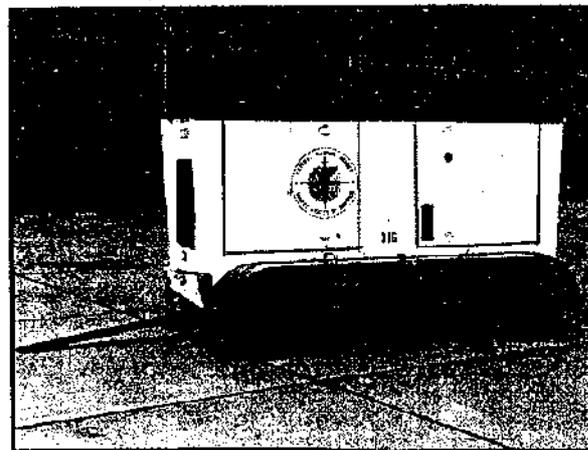


Figura 11-2 Unidade de fonte de força elétrica - GPU (rebocável)

Unidades de força com tração própria são normalmente mais dispendiosas do que as unidades rebocadas e, na maioria das vezes, podem suprir uma grande gama de saídas de voltagens e frequências. Por exemplo, a fonte de tração própria mostrada na figura 11-3 é capaz de fornecer energia C.C. em grandes quantidades, bem como 115/200 volts, 3 fases, 400 ciclos C.A. com potência continuada por 5 minutos.

Quando usando fonte externa de força, é importante colocá-la cuidadosamente numa posição de segurança. Ela deve ser posicionada para evitar uma colisão com a aeronave que está sendo alimentada, ou outras que estejam nas proximidades, no caso de falha dos freios da fonte externa. Ela poderá ser parqueada, garantindo todo o serviço, através do cabo estendido até a aeronave.

Todas as precauções de segurança devem ser observadas quando energizando uma aeronave, e a fonte externa nunca deve ser removida enquanto os cabos estiverem acoplados à aeronave, ou quando o gerador do sistema estiver fornecendo energia.

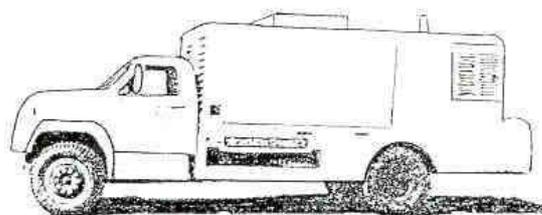


Figura 11-3 Unidade conjugada de fonte de força elétrica e de ar para partidas, auto-propulsora.

FORÇA HIDRÁULICA

Bancadas portáteis de testes hidráulicos são fabricadas em diversos tamanhos e gama de custos. Algumas têm um limite de operação, enquanto outras podem ser usadas para executar testes em todos os sistemas onde os equipamentos fixos das oficinas podem executar.

Por exemplo, um tipo de unidade portátil de teste de grande desempenho realiza as seguintes funções:

1. Drena o sistema hidráulico da aeronave.
2. Filtra todo o fluido hidráulico da aeronave.
3. Reabastece o sistema da aeronave com um fluido hidráulico limpo e filtrado micrônicamente.
4. Testa o desempenho dos sistemas e subsistemas da aeronave.
5. Testa o sistema hidráulico da aeronave quanto a vazamentos internos e externos.

Esse tipo de teste hidráulico portátil é normalmente operado com energia elétrica. Ele usa um sistema hidráulico capaz de suprir uma variação de volume de fluido de zero até aproximadamente 24 galões por minuto, com uma variação de pressão até 3.000 p.s.i.g.

A unidade de teste e seus componentes são montados em uma base metálica, com tampas removíveis.

A base é normalmente montada sobre quatro rodas pneumáticas, para facilitar o seu deslocamento por tração própria ou ser rebocada por um veículo, ou ser empurrada e manobrada manualmente.

UNIDADES DE AR CONDICIONADO E DE AQUECIMENTO

Unidades móveis de ar condicionado e de aquecimento são equipamentos de solo destinados a suprir ar condicionado para o aquecimento ou refrigeração das aeronaves.

Elas são capazes de liberar uma grande quantidade de fluxo de ar sob pressão, através de dutos flexíveis para o interior da aeronave. Comparado com a capacidade do ar condicionado, a capacidade de aquecimento é normalmente considerada um acessório opcional, mas em alguns climas a capacidade de aquecimento é frequentemente tão usada quanto a do ar frio.

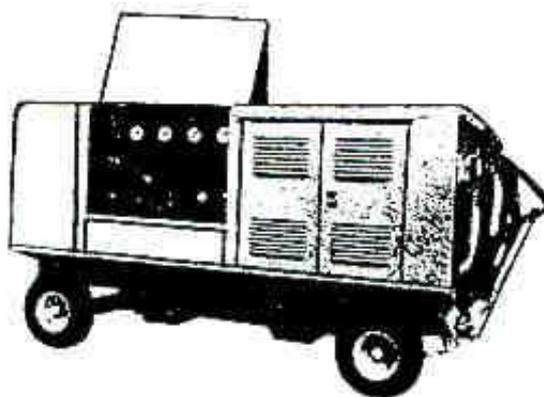


Figura 11-4 Unidade de teste do sistema hidráulico.

A figura 11-5 mostra uma unidade móvel típica, equipada com equipamento de ar condicionado e sistema de aquecimento. Essa unidade é capaz de liberar até 3.500 pés cúbicos de ar frio por minuto. Ela é capaz de transformar e manter a temperatura do interior de uma aeronave de grande porte de 40° C para aproximadamente 28° C. Sua capacidade de aquecimento proporciona uma saída superior a 400.000 B.t.u. por hora. Um único motor supre força para o carro e para o equipamento de ar condicionado. Isso é executado por meio de uma variação de força montada em uma transmissão auxiliar. Pelo simples comando de mudança de posição de várias combinações de engrenagens, um operador pode dirigir o carro, operar apenas a ventilação ou operar a ventilação e o equipamento de refrigeração. Todos os controles e interruptores para as operações estão na cabine do carro.

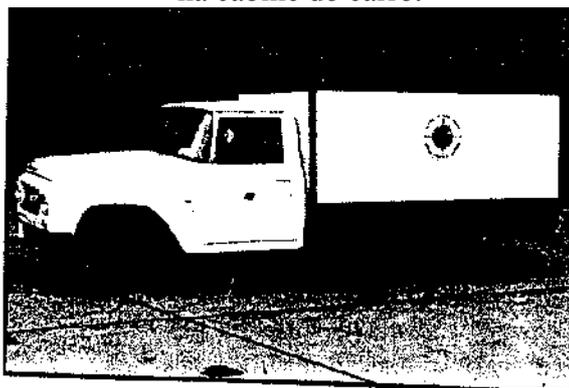


Figura 11-5 Unidade de ar condicionado e de aquecimento.

FONTES DE AR PARA PARTIDAS

As unidades de fonte de ar fornecem um suprimento de ar comprimido, para operar mo-

tores de partida pneumáticos em motores turbo-élice e turbojato. As unidades de partida a ar podem ser montadas em unidades móveis para serem rebocadas até a aeronave, ou podem ser montadas em veículos, semelhantes ao mostrado na figura 11-3.

Uma fonte de ar típica consiste dos seguintes componentes: um compressor de turbina a gás (GTC), uma bateria de alta capacidade de armazenamento, o combustível necessário, óleo, sistemas elétricos, controles e linhas de ar comprimido.

O GTC típico é basicamente um compressor centrífugo de dois estágios, acoplado diretamente a uma turbina radial de fluxo interno. Além de fornecer ar para a linha de sangria, o compressor supre ar comprimido por combustão para girar o disco da turbina.

O gás da combustão é passado através da câmara de combustão para o conjunto da turbina. A força extraída pelo disco da turbina é transmitida para o compressor, seção de acessórios e componentes do sistema de controle.

EQUIPAMENTO DE PRÉ-LUBRIFICAÇÃO

A pré-lubrificação nos motores convencionais de aeronaves é normalmente necessária antes da partida de um motor novo ou estocado, ou um que tenha ficado parado por um longo período de tempo.

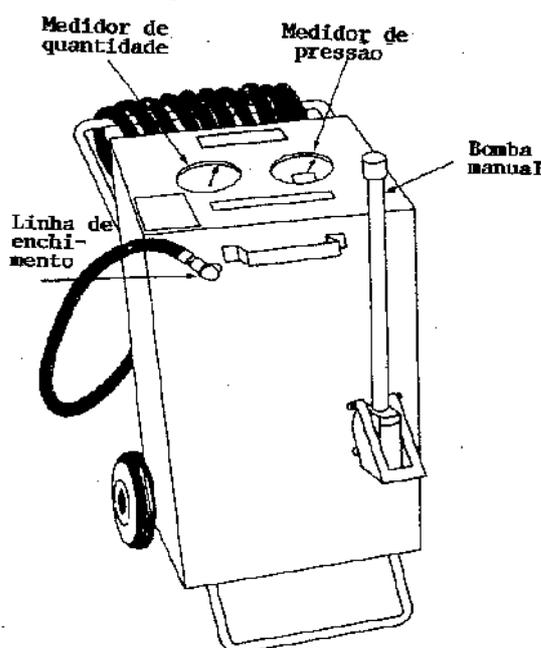


Figura 11-6 Equipamento de pré-lubrificação.

Usando um pré-lubrificador (ver a figura 11-6) para motores convencionais de aeronaves, o trabalho de pré-lubrificação é simplificado. Essas unidades fornecem óleo pré-aquecido sob pressão para assegurar adequada lubrificação antes da partida de um motor.

O pré-lubrificador portátil, fornece baixa pressão de óleo para o sistema de lubrificação de motores a turbina.

As condições para a pré-lubrificação de um motor à turbina, são essencialmente as mesmas para um motor convencional. além disso, se uma conexão da linha de lubrificação tiver sido desconectada em um motor a turbina, o motor deverá ser pré-lubricado antes de ser novamente girado.

ABASTECIMENTO DE AERONAVES

Todas as precauções de segurança contra incêndios devem ser observadas durante os processos de abastecimento. Não é permitido fumar na aeronave, ou ao seu redor, durante o abastecimento. Do mesmo modo, são proibidos lampiões a óleo, velas ou fósforos. Interruptores elétricos, comutadores, dínamos ou motores, equipamentos elétricos que produzam centelhas, ou qualquer material que provoque faísca, não é permitido em uma área de 30 metros (100 pés) de uma aeronave que esteja sendo abastecida ou destanqueada.

Para a iluminação, são permitidas apenas as lâmpadas à prova de explosão, dentro do espaço de 30 metros dessas operações; lâmpadas de qualquer espécie não podem ser colocadas em locais que permitam que elas entrem em contato com combustível derramado. Sinais de aviso deverão ser colocados como medida de precaução.

Todos os combustíveis de aeronaves, ou outros combustíveis líquidos que forem acidentalmente derramados devem ser removidos imediatamente com jatos de água, ou cobertos com camadas de espuma para evitar ignição, ou neutralizados por outros meios.

A equipe contra incêndios deverá ser notificada, se necessário.

Se houver indicação de vazamento de combustível líquido no subsolo, a área deverá ser isolada adequadamente, e a equipe contra incêndios deverá ser notificada imediatamente.

É recomendado que os tanques de combustível sejam encheidos antes de recolhidos a hangares, para que não fiquem espaços para a formação de vapores explosivos. Essa prática é também recomendada após cada vôo, para evitar a condensação de água nos tanques.

Os tanques de combustível não deverão ser encheidos completamente até o topo quando a aeronave estiver recolhida ao hangar, principalmente se a temperatura externa for mais baixa do que a de dentro de hangar. Se dentro do hangar estiver mais quente do que a parte externa, o combustível se expandirá nos tanques, transbordando, através do sistema de ventilação, criando um perigo de incêndio.

Ferramentas que não produzam centelhas deverão ser usadas, quando trabalhando em qualquer parte de um sistema ou unidade, destinada a estocar ou conduzir combustíveis líquidos.

A utilização de tanques ou linhas de combustível com vazamentos não é permitida. Reparos devem ser feitos logo que descobertos, e com a devida urgência que o perigo exige.

Todo combustível é filtrado e passado através de equipamento separador de água, existente nos tanques de armazenagem, quando ele é liberado para os veículos reabastecedores; ou no caso de pontos de abastecimento, quando ele passa para as conexões de suprimento. Os veículos reabastecedores também passam o combustível através de um sistema de filtros e equipamento separador de água, antes que ele seja liberado para a aeronave. Esses filtros e separadores são normalmente checados pela manhã, quanto a evidência de sujeira e água, e todas as vezes após o veículo reabastecedor ter sido carregado. Quando o veículo reabastecedor for carregado, aguarda-se, no mínimo, 15 minutos e, então checa-se quanto a presença de água, antes do abastecimento de qualquer aeronave.

Quando usando combustível que tenha sido estocado em latões ou tambores, ele deverá ser passado em um funil-coador antes de ser colocado em uma aeronave. Essa prática é necessária por causa da condensação e da ferrugem que se desenvolvem dentro dos latões e tambores.

Se for usada camurça na filtragem do combustível, aumenta-se o perigo pelo aumento da eletricidade estática pela passagem da gasolina pelo filtro. A camurça deve ser aterrada e permanecer assim até que todo o combustível ti-

ver escoado. Isso pode ser feito por contato com uma tela metálica de suporte que esteja aterrada. Nunca devemos usar um funil de plástico, ou material isolante semelhante, quando estivermos transferindo o combustível de latões ou tambores.

As aeronaves devem ser abastecidas em uma área segura. Não se abastece ou destanqueia uma aeronave dentro de hangares ou outros ambientes fechados, exceto no caso de uma emergência. Não deve haver nenhum perigo de fogo, os interruptores elétricos devem estar desligados e a aeronave deve estar calçada antes de iniciar o reabastecimento ou destanqueio.

Uma pessoa que conheça os perigos existentes na operação, deverá estar portando um extintor de CO₂. Ele deve estar protegido contra a inalação de vapores de hidrocarbonetos, que podem causar mal estar e tonturas, ou pode ser até fatal. Deve-se observar medidas adequadas de ventilação para evitar o acúmulo de gases.

Devido ao seu alto teor de chumbo, o combustível não deve tocar nas vestimentas, na pele ou nos olhos. Qualquer peça de vestimenta molhada de gasolina deve ser removida o quanto antes, e as partes do corpo devem ser lavadas com água e sabão. O uso de roupas molhadas com gasolina cria um grande perigo de incêndio e pode ainda gerar bolhas dolorosas semelhantes àquelas causadas por queimaduras, devido ao contato direto. Se houver contato com os olhos, deve-se buscar atendimento médico imediatamente.

Deveres da tripulação durante o reabastecimento

Quando uma aeronave vai ser reabastecida por gravidade, ela deve estar no pátio ou em um local afastado e não deve estar nas vizinhanças de possíveis fontes de ignição dos vapores do combustível. Deve-se levar em consideração a direção do vento, de forma que os vapores não sejam levados em direção a fontes de ignição.

O caminhão tanque deve ser estacionado tão longe da aeronave quanto o comprimento da mangueira permita, e de preferência do lado da aeronave que receber o vento. Ele deve ficar estacionado paralelo à asa, ou de tal forma que possa ser removido rapidamente em caso de incêndio (A da Figura 11-7). Tão logo a operação termine, o caminhão deve ser removido das pro-

proximidades da aeronave. As tampas do tanque do caminhão abastecedor devem ser mantidas fechadas, exceto quando o caminhão estiver sendo abastecido.

Preferivelmente, a equipe de reabastecimento para aeronave de grande porte deve ser formada por quatro homens. Um deles opera o equipamento contra incêndio; um outro fica no caminhão; um terceiro manuseia a mangueira e o painel de transferência do caminhão; e o quarto homem manuseia a mangueira e o painel de reabastecimento da aeronave, e enche os tanques (A e B da figura 11-7).

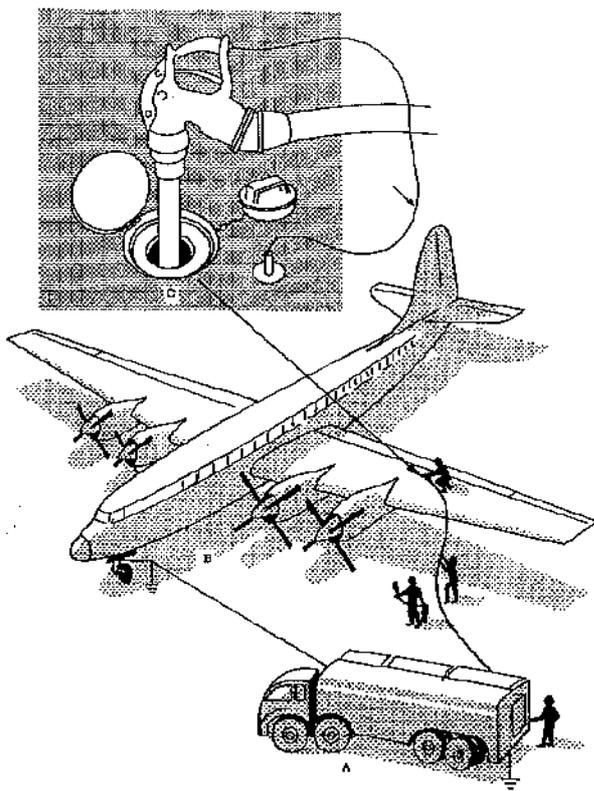


Figura 11-7 Reabastecendo uma aeronave.

Deve-se observar o tipo de combustível suprido pelo caminhão antes de se iniciar o abastecimento. Os técnicos de aviação devem conhecer os vários tipos de combustíveis e seus cuidados, de forma que o combustível adequado seja usado.

Deve-se também verificar se todos os interruptores, de rádio e elétricos, não necessários à operação de reabastecimento estão desligados, e se as fontes elétricas não essenciais estão desconectadas da aeronave. Um membro da equipe verifica se a aeronave e o caminhão estão corretamente aterrados para evitar centelhas de eletricidade estática.

Operações de reabastecimento

No reabastecimento por gravidade, o homem com o extintor de CO_2 fica perto da aeronave. O operador da mangueira do caminhão desenrola-a e passa-a para o operador do painel da aeronave, que fará o reabastecimento. Deve-se ter cuidado na colocação da mangueira no bocal de abastecimento para não danificar o revestimento da aeronave.

Na ponta da mangueira há um fio de aterramento que deve ser ligado próximo ao tanque a ser abastecido.

Outro tipo de fio de aterramento possui uma garra jacaré em sua extremidade, e ela serve como uma conexão terra contínua para o bocal (C da figura 11-7).

O caminhão possui dois fios-terra; um é conectado a um ponto local de aterramento (A da Figura 11-7), e o outro é conectado à aeronave (A e B da figura 11-7). A aeronave também deve ser aterrada ao solo.

Esse arranjo de aterramento pode ter outras formas. Em muitos casos, o caminhão é aterrado por uma corrente que é arrastada no chão; a aeronave é aterrada por uma tira de carbono embutida nos pneus; e a aeronave e o caminhão são mantidos em um potencial elétrico comum por um fio condutor, circulando a mangueira de sua ponta para o bocal do tanque.

Tudo isso é para evitar um centelhamento causado pela eletricidade estática, que pode ser criada quando o combustível flui através da mangueira para dentro do tanque da aeronave.

O reabastecimento de aeronaves leves envolve menos problemas. Enquanto as responsabilidades do reabastecedor são as mesmas, a operação geralmente requer um ou dois elementos.

O perigo de danos ao revestimento é reduzido, uma vez que a altura e localização do bocal do tanque permite um acesso fácil. Além disso, aeronaves pequenas podem ser empurradas manualmente para uma posição próxima a um tanque ou ponto de abastecimento. A figura 11-8 mostra uma pequena aeronave sendo reabastecida.

Quando o tanque da aeronave estiver quase cheio, a razão do fluxo de combustível deve ser reduzida para enchê-lo totalmente; ou seja, o tanque deve ser abastecido vagarosamente até a boca, sem derramar sobre a asa ou o solo.

A tampa do bocal é reinstalada, o fio-massa é removido e o abastecedor leva a mangueira para o próximo tanque a ser abastecido. Esse procedimento é repetido até que todos os tanques tenham sido abastecidos. Então, os fios-massas são desconectados da aeronave e a mangueira é reenrolada no caminhão.

Durante esse procedimento o bico metálico da mangueira não deve arrastar no chão.

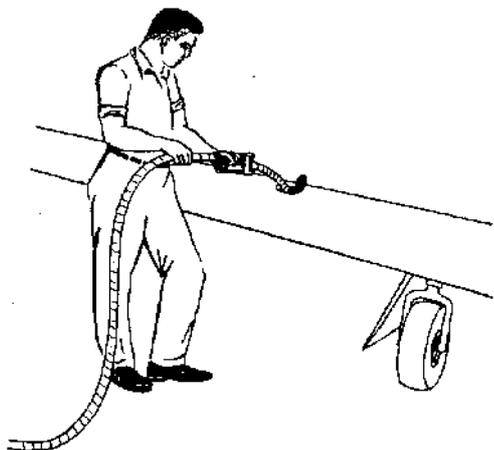


Figura 11-8 Reabastecimento de aeronaves leves.

Reabastecimento por pressão

Esse tipo de reabastecimento é usado em muitas aeronaves modernas. Esse processo, às vezes chamado de "ponto único" ou "sub-alar", reduz em muito o tempo requerido para abastecer grandes aeronaves.

Há também outras vantagens no reabastecimento sob pressão. Ele elimina os riscos de danos ao revestimento da aeronave e ao pessoal, e reduz as chances de contaminação do combustível. O reabastecimento sob pressão também reduz as chances de ignição dos vapores do combustível pela eletricidade estática.

Devido à limitada área do tanque, há poucas vantagens na aplicação desse processo em aeronaves leves. Sendo assim, ele geralmente é incorporado em jatos executivos de médio porte e em grandes aeronaves de transporte comerciais ou militares.

A maioria dos sistemas consiste em uma mangueira de reabastecimento por pressão, um painel de controle, e instrumentos que permitam a um só homem abastecer ou destanquear todos os tanques de combustível da aeronave. O sistema de reabastecimento por ponto único é geralmente desenhado, de forma que uma tubula-

ção seja acessível próxima à ponta da asa ou sob a asa, próxima à sua raiz. As válvulas de conexão dos vários tanques à linha principal de abastecimento são geralmente atuadas pela pressão do combustível.

Os procedimentos de abastecimento e destanqueio são normalmente demonstrados na porta de acesso ao painel de controle de abastecimento.

O operador deve conhecer bem o sistema de combustível da aeronave para reconhecer os sintomas de panes. Uma vez que o o desenho de sistemas de abastecimento por pressão varia um pouco de avião para avião, o operador deve consultar as instruções dos fabricantes para os procedimentos detalhados.

Devido às variações nos procedimentos de destanqueio das aeronaves, é importante consultar o manual aplicável antes de iniciar qualquer procedimento.

FOGO

Tipos de incêndio

A Associação Nacional de Proteção contra Incêndio classificou os incêndios em três tipos básicos:

Classe A - fogo em materiais comuns, como madeira, tecido, papel, e materiais de revestimento interno, etc.

Classe B - fogo em produtos inflamáveis do petróleo ou líquidos combustíveis como graxas, solventes, tintas, etc.

Classe C - fogo em equipamentos elétricos energizados, onde a não condutividade do agente extintor é um fator importante. Na maioria dos casos, onde os equipamentos elétricos estão desenergizados, os extintores aplicáveis às classes A e B também são adequados.

Uma quarta classe de incêndio, a classe D, é definida como um fogo em metais inflamáveis. A classe D não é considerada um tipo básico, uma vez que está geralmente associada a um incêndio classe A, B ou C.

Esses incêndios geralmente envolvem magnésio. Tanto em estoque como em rodas de aeronaves. Qualquer um desses tipos de incêndio pode ocorrer durante a manutenção, ou ope-

ração. Há um extintor mais adequado a cada tipo de incêndio.

Extinção de incêndio

Três fatores são requeridos para um incêndio. O combustível: algo que na presença de calor, combine-se com o oxigênio, liberando mais calor, e transformando-se em outro composto químico. O calor: que pode ser considerado o catalisador que acelera a combinação do combustível com o oxigênio, liberando ainda mais calor. O oxigênio: elemento que se combina quimicamente com outra substância através da oxidação. Uma oxidação rápida, acompanhada por uma liberação apreciável de calor e luz é chamada de combustão ou queima (figura 11-9). Ao se remover qualquer um desses fatores o fogo se apaga.



Figura 11-9 Três fatores para o fogo.

Tipos de incêndio versus agente extintor

O fogo classe A cede melhor a água ou a extintores de água, que esfria o combustível abaixo das temperaturas de combustão. Os extintores classe B e C são também efetivos, mas não se igualam a ação de resfriamento do extintor classe A.

O fogo classe B cede bem ao dióxido de carbono (CO_2), aos hidrocarbonos halogenados (Halons) e aos pós químicos secos; todos eles deslocam o oxigênio do ar, tornando a combustão impossível. A espuma é efetiva, especialmente quando usada em grandes quantidades.

A água não é efetiva em fogo classe B e ainda espalhará o fogo.

O fogo classe C envolvendo fiação, equipamento ou corrente elétrica, cede melhor ao dióxido de carbono (CO_2), que desloca o oxigênio da atmosfera, tornando a combustão improvável. O equipamento de CO_2 deve ser pro-

vido de uma corneta não-metálica aprovada para uso em fogo elétrico. Dois motivos devem ser considerados:

1. A descarga de CO_2 através de uma corneta (difusor) metálica pode gerar eletricidade estática. A descarga estática poderá provocar nova ignição.
2. O difusor metálico, em contato com a corrente elétrica daria um choque no operador.

Os hidrocarbonos halogenados são muito eficazes em fogo classe C. Os vapores reagem quimicamente com a chama extinguindo o fogo. O pó químico é eficaz, mas possui a desvantagem de contaminar o local com o pó. Além disso, se utilizado em equipamento elétrico energizado e molhado, ele pode agravar a fuga de corrente.

A água ou a espuma não são adequados ao uso em fogo de equipamentos elétricos.

O fogo classe D cede à aplicação de pó químico seco, que evita a oxidação e a chama resultante. Técnicas especiais são necessárias no combate ao fogo em metais. As recomendações do fabricante devem ser seguidas sempre. As áreas que possam estar sujeitas a esse tipo de fogo devem possuir a instalação do equipamento protetor adequado.

Sob nenhuma condição deve-se usar água em um fogo classe D. Ela provocará uma queima ainda mais violenta, podendo causar uma explosão.

Verificação periódica dos extintores de incêndio.

1. O extintor adequado no local correto.
2. Selos de segurança intactos.
3. Remover toda sujeira e ferrugem externa.
4. Manômetro na faixa operacional.
5. Checar quanto ao peso correto.
6. Bico desobstruído.

Agentes extintores

A. Água e agentes à base de água.

A água pode ser combinada com compostos anticongelantes ou materiais que acelerem a penetração da água. A água é usada em materiais de carbono. Ela extingue o fogo, refri-

ando o combustível abaixo da temperatura de combustão.

1. A soda-ácida e a espuma agem em um fogo da mesma maneira que a água, baixando a temperatura. A espuma age sobre o fogo em produtos do petróleo, evitando que o oxigênio chegue até ao foco do fogo.
2. Uma carga de fluxo contendo um anticongelante tão eficaz como um retardador de chama.

B. Pó químico seco.

Quatro tipos de produtos são usados:

1. Bicarbonato de sódio (fórmula H). Para incêndios classe B e C.
2. Fosfato de amônia (Multiuso). Para incêndios classe B e C.
3. Bicarbonato de potássio (Púrpura K). Para incêndio de alto risco classe B e C.
4. Pó químico multiuso (ABC). Para uso em incêndios classe A, B e C. O pó químico extingue o fogo baixando-o, retirando o oxigênio; e a camada de pó evita o reacendimento do fogo. Ele também oferece ao operador alguma proteção contra o calor. Todos os pós químicos não conduzem eletricidade.

C. Gás.

1. Dióxido de Carbono (CO₂) - Possui uma toxicidade (Laboratório *Underwriter*) 5A, especialmente recomendado para uso em incêndios classe B e C. Ele extingue o fogo, dissipando o oxigênio na área do disparo.
2. Hidrocarbonos halogenados (Freon), são numerados de acordo com as fórmulas químicas e números do Halon.

Tetracloroeto de Carbono (Halon 104). Fórmula CCL₄. Toxicidade UL, 3. Venenoso e tóxico. Vapores de Ácido Hidroclórico, clorine e fogsênio são produzidos sempre que o tetracloroeto de carbono é usado.

A quantidade de gás fogsênio é aumentada sempre que o tetracloroeto de carbono entra em contato direto com o metal quente, certas substâncias químicas ou um arco voltaico contínuo. Ele não é mais aprovado para o uso como extintor de incêndio.

Metil Bromido (Halon 1001). Fórmula CH₃Br - um gás liquefeito, toxicidade UL, 2. Efetivo, porém muito tóxico e, também, corrosivo em ligas de alumínio, magnésio e zinco. Não recomendado para uso aeronáutico.

Clorobromometano (Halon 1011). Fórmula CH₂ClBr - um gás liquefeito, toxicidade UL, 3. Não recomendado para uso aeronáutico.

GRUPO	DEFINIÇÃO	EXEMPLO
6 (menos tóxico)	Gases ou vapores que em concentrações até pelo menos 20% do volume, para exposições por 2 horas, não produzem danos.	Bromotrifluorometano (Halon 1301)
5a	Gases ou vapores muito menos tóxicos que o grupo 4, porém mais tóxicos que o 6.	Dióxido de Carbono
4	Gases ou vapores que em concentrações da ordem de 2 a 2 1/2% por 2 horas são letais ou produzem danos sérios.	Dibromodifluorometano (Halon 1202)
3	Gases ou vapores que em concentrações da ordem de 2 a 2 1/2% por 1 hora são letais ou produzem sérios danos.	Bromoclorometano (Halon 1011) Tetracloroeto de carbono (Halon 104)
2	Gases ou vapores que em concentrações da ordem de 1/2 a 1% por 1/2 hora são letais ou produzem sérios danos	Brometo de Metila (Halon 1001)

Figura 11-10 Tabela de Toxicidade.

MATERIAL EXTINTOR	CLASSES DO FOGO				GERAÇÃO PRÓPRIA	EXPELENTE PRÓPRIO	CARTUCHO DE GÁS N ₂	PRESSÃO ESTOCADA	MECANICAM ENTE BOMBEADO	EXTINTOR MANUAL
	A	B	C	D						
ÁGUA ANTIGONGELANTE E	X						X	X	X	X
SODA-ÁCIDA (ÁGUA)	X				X					
AGENTE LÍQUIDO (ÁGUA)	X						X			
ESPUMA	X	X			X					
CARGA DE FLUXO COM ANTIGONGELANTE	X	X	+				X	X		
PÓ QUÍMICO MULTIUSO	X	X	X				X	X		
DIÓXIDO DE CARBONO		X	X			X				
PÓ QUÍMICO SECO		X	X				X	X		
BROMOTRIFLUOROMETANO - HALON 1301		X	X			X				
BROMOCLORODIFLUOROMETANO - HALON 1211		X	X					X		
PÓ QUÍMICO (FOGO EM METAIS)				X			X			X

Figura 11-11 Operação de extintores e métodos de expelir o agente.

Dibromodifluorometano (Halon 1202). Fórmula CB_2F_2 . Toxicidade UL, 4. Não recomendado para uso aeronáutico.

Bromoclorodifluorometano (Halon 1211) Fórmula CB_1ClF_2 . - um gás liquefeito com toxicidade UL, 5.

Incolor, não-corrosivo e evapora rapidamente, não deixando resíduos. Ele não congela, e não danifica tecidos, metais ou outros materiais que toca.

O Halon 1211 age rapidamente, produzindo uma névoa pesada que elimina o ar da fonte de fogo, e mais importante, interfere quimicamente no processo de combustão. Ele possui a propriedade de evitar o reacendimento depois que o fogo for apagado.

Bromotrifluorometano (Halon 1301). Fórmula CF_3Br , é também um gás liquefeito com toxicidade UL 6. Possui todas as características do Halon 1211.

A diferença principal entre os dois é que o Halon 1211 forma uma pulverização semelhante ao CO_2 , enquanto o Halon 1301 possui uma pulverização de vapor que é mais difícil de direcionar.

D. Pó Químico.

Pó químico para fogo em metais requer cuidados especiais. Se for jogada água no magnésio em combustão, a queima é acelerada.

Pós especiais estão disponíveis para uso onde houver possibilidade de fogo em metais; sendo ele, geralmente, despejado em grandes quantidades. Pós químicos multiuso (ABC) possuem uso limitado ao fogo em metais, tais como fogo no conjunto de freios ou no magnésio (ver figura 11-10 e 11-11).

MARCAS RECOMENDADAS PARA INDICAR A APLICABILIDADE DO EXTINTOR (DO PADRÃO NFPA # 10)

As seguintes recomendações servem como um guia na marcação de extintores, e/ou locais de extinção, para indicar a adequabilidade do extintor para uma classe particular de fogo.

As marcas devem ser aplicadas por decalques, pinturas ou métodos semelhantes que possuam pelo menos uma legibilidade equivalente, assim como, também durabilidade.

Quando as marcas forem aplicadas no extintor, elas devem estar localizadas na frente do cilindro, acima ou abaixo da placa de identificação do extintor. As marcas devem ter um tamanho e formato facilmente legível a uma distância de 1 metro (3 pés). Quando as marcas forem aplicadas nas paredes, na proximidade dos extintores, elas devem ter tamanho e forma facilmente legíveis a uma distância de 7,5m (25 pés). (Ver figura 11-12 e 11-13.)

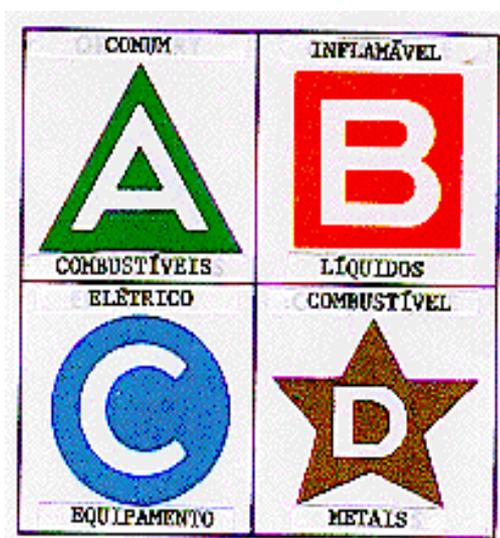


Figura 11-12 Identificação da localização dos tipos de extintores de incêndio.

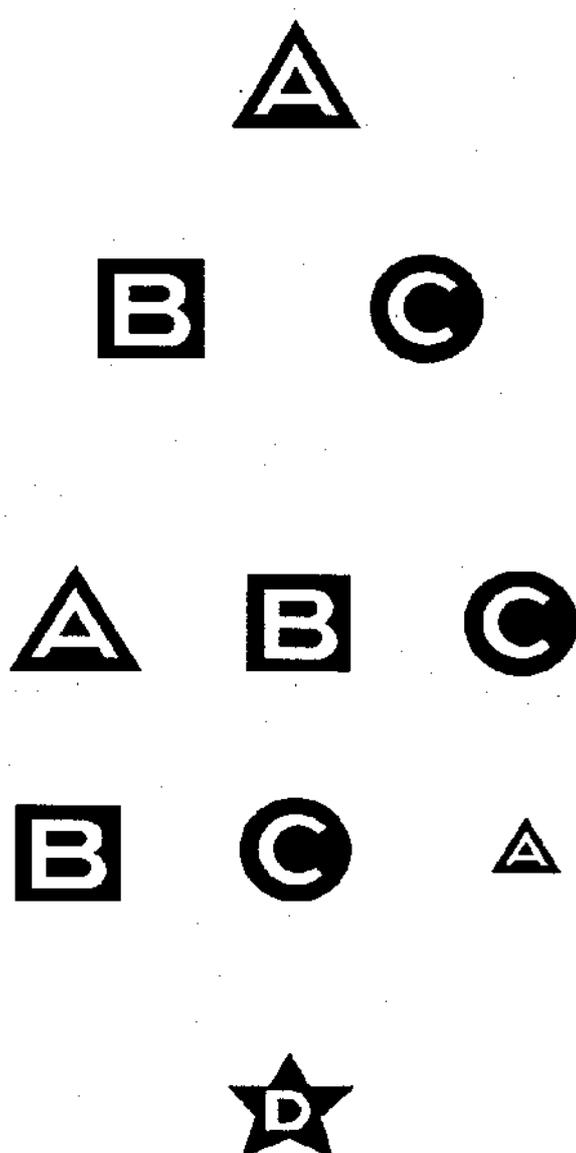


Figura 11-13 Marcações típicas de extintores.

EXTINTORES PARA AERONAVES

O fogo é uma das maiores ameaças para as aeronaves - tanto em vôo como no solo. Os sistemas de detecção e extinção de fogo, instalados nos motores e na célula, são projetados e instalados pelo fabricante em cumprimento aos RBHA's aplicáveis (FAR's).

Os requisitos dos extintores portáteis, instalados nos compartimentos da tripulação e passageiros, estabelece que os extintores devem ser aprovados, e adequados ao tipo de fogo mais provável de acontecer, e devem minimizar o perigo de gases tóxicos.

A Associação Nacional de Proteção Contra o Fogo indica o tipo, a capacidade, localização e quantidade dos extintores manuais para a proteção da aeronave, nos compartimentos ocupados por passageiros ou tripulantes.

A solução padrão dos extintores é composta de dióxido de carbono e água (solução de água).

Os extintores manuais são usados nos compartimentos de passageiros e o número de unidades é regulado pelo número de assentos de passageiros.

Dióxido de carbono é sugerido para o compartimento dos tripulantes.

O agente de extinção composto de hidrocarbono halogenado (Halon 1211 ou Halon 1301), de acordo com o Laboratório Underwriter; apresenta uma toxicidade na razão de 5 para mais de periculosidade, podendo ser substituído pelo dióxido de carbono.

Devido a eficiência do hidrocarbono halogenado ele pode ser usado em áreas livres com suficiente volume de ar, evitando dessa forma sérias irritações.

Os seguintes agentes de extintores não são recomendados para o uso aeronáutico:

1. Extintores com pó químico são muito usados em incêndios de classe B e C, mas eles deixam um resíduo de poeira ou pó. Essa composição é de difícil limpeza, e causa danos aos equipamentos eletrônicos, além de obstruir a visão.
2. O tetracloreto de carbono não é usado há muito tempo como agente de extintores de fogo. Eles produzem um gás tóxico quando em contato com metais quentes. A soda ácida e a espuma têm a condição de serem

tóxicas, e podem ser corrosivas para os materiais adjacentes.

3. O brometo de metila é mais tóxico que o CO_2 , e não pode ser usado em áreas confinadas. Ele é também muito corrosivo em peças de alumínio, magnésio e zinco.
4. O clorobromometano, embora seja um agente eficaz de extinção de fogo, é bastante tóxico.

Extintores

Os extintores do tipo lata de aerosol comum são, definitivamente, inaceitáveis como extintores do tipo portátil para o uso a bordo de aeronaves.

Como exemplo, um extintor do tipo espuma em aerosol, localizado em uma bolsa, atrás da cadeira do piloto, explodiu destruindo o estofamento do assento.

O interior da aeronave foi danificado pela espuma. Isso ocorreu quando a aeronave estava no solo e a temperatura do ar exterior era de 32°C (90°F).

Além do perigo de explosão, o tamanho do extintor é inadequado para o combate até mesmo dos menores incêndios.

Um extintor de pó químico foi instalado próximo a um aquecedor de ar do piso.

Por uma razão desconhecida a posição da unidade foi revertida, no que colocou o extintor diretamente na frente do aquecedor de ar.

Durante o vôo, com o aquecedor em operação, o extintor superaqueceu e explodiu, enchendo o compartimento com o pó químico. A proximidade dos aquecedores de ar deverá ser considerada, quando selecionando a localização de um extintor manual.

Informações adicionais relativas a extintores de incêndio de bordo, do tipo manual, poderão ser obtidas no DAC ou SERAC da região.

Extintores de solo - Tipo Manual

A seleção de extintores para instalação no solo, oficinas, pontos de abastecimento, etc., não é restrito, como os instalados a bordo de aeronaves. A gama de seleção de agentes químicos para os diversos tipos de extintores é mostrada na figura 11-11. (Veja também figuras 11-14 e 11-15.)

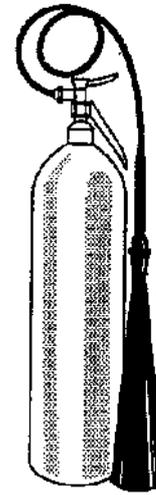


Figura 11-14 Extintor de CO_2 .



Figura 11-15 Extintor de pó químico.

Métodos de operação de extintores

Eles são convenientemente agrupados de acordo com os meios utilizados para expelir os agentes. Existem seis métodos mais comuns em uso.

1. Geração própria - A atuação causa a geração dos gases que fornecem a energia para expelir o agente.
2. Expelente próprio - Os agentes têm uma pressão de vapor, na temperatura normal de operação, para serem expelidos por eles mesmos.
3. Cartucho ou cilindro de gás - O expelente a gás é confinado sob pressão num recipiente separado do cilindro principal, até que o operador o dispare, pressurizando o agente do cilindro principal para o extintor.

4. Pressão estocada - O material de extinção e o gás expelente são armazenados num único recipiente.
5. Mecanicamente bombeado - O operador consegue energia para expelir o agente por meio de uma bomba, colocada no cilindro, que contém o agente não pressurizado.
6. Extintor manual - O agente é aplicado, despejando com balde ou bomba manual, com o tubo introduzido no balde.

Diversos materiais de extinção de fogo são utilizados por cada um dos meios citados acima.

Extintores de incêndio fora de uso (Ver figuras 11-16 e 11-17)

Existem, entretanto nos dias atuais milhões de extintores de fogo, de um formato que não é mais fabricado, sendo usados.

Eles são extintores líquidos de 5, 10 e 20 litros, do tipo "inverta e use". O último deste tipo foi feito para a capacidade de 10 litros.

Os agentes usados nesses extintores são:

- 1 - Soda-ácida.
- 2 - Espuma.
- 3 - Água com cartucho.
- 4 - Carregado sob pressão e com cartucho.

As razões que influenciaram para a decisão de não fabricarem mais esses extintores são:

1. Inverter para usar - Dificuldade para o uso devido ao peso, e um método pouco comum de ativação.
2. Limitado para os tipos de fogo para o qual ele tem aplicação. Principalmente fogo "Classe A", muito limitado a aplicação de espumas no fogo "Classe B".
3. Não aprovado para fogo de origem elétrica.
4. Aprovado somente para pequenos incêndios.

5. O recipiente não contém a pressão encontrada nos recipientes padronizados. Este é o mais importante de todos.

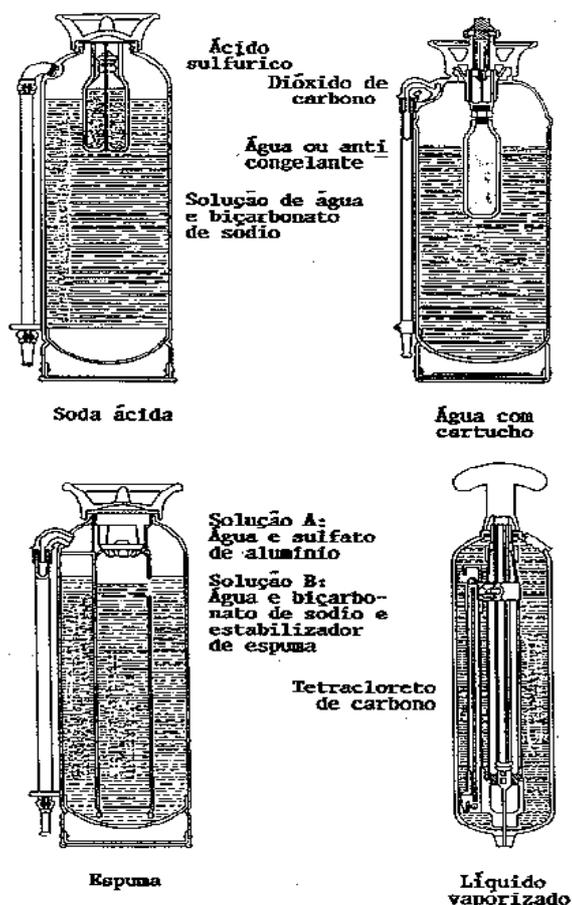


Figura 11-16 e 11-17 Extintores de incêndio fora de uso.

Fatores de comparação de segurança

Diversos tipos de extintores, obsoletos, usam uma razão de pressão variável entre 350 até 500 p.s.i. Entretanto, quando esses extintores são invertidos para operarem, as pressões geralmente são prejudicadas, totalmente diferentes das pressões dos outros tipos de cilindros.

As pressões podem variar de 100 a 300 p.s.i. para soda-ácida; e de 100 para 350 p.s.i. para extintores de espuma.

ABASTECIMENTO DE ÓLEO NAS AERONAVES

Os tanques de óleo das aeronaves são normalmente checados ao mesmo tempo em que se abastece com o combustível. Existe uma única exceção para essa regra geral, é quando os fa-

bricantes recomendam que o nível de óleo em certos motores à reação seja checado depois de um tempo da parada do motor.

Em todos os casos, as instruções, do fabricante devem ser seguidas para o específico tipo da aeronave, não somente para os procedimentos de abastecimento, mas também para o tipo e o grau do óleo a ser usado.

Os tanques de óleo das aeronaves nunca devem ser enchidos até sua capacidade máxima, ou acima da marca de cheio, no instrumento indicador ou na vareta.

Isto é devido a expansão térmica do óleo, quando aquecido, ou em grandes altitudes em que ele se expande.

O espaço extra nos tanques de óleo permite essa expansão e previne o transbordamento.

As especificações do óleo devem ser checadas nas instruções dos fabricantes da aeronave ou motor, e em hipótese alguma devem ser substituídos por um outro óleo não aprovado por eles para o uso.

Quando abastecendo o tanque de óleo, devemos nos certificar que panos de limpeza ou pedaços de estopa, ou outras substâncias estranhas, não penetrem no tanque.

Materiais estranhos no sistema de óleo restringem o fluxo do óleo, e podem causar falha no motor.

O óleo lubrificante não é explosivo, ele é muito difícil de atingir o ponto de ignição em bruto e, não é, normalmente, capaz de uma combustão espontânea. Entretanto se o óleo for inflamado, produzirá um fogo de maior temperatura do que o da gasolina.

O vapor do óleo, contudo, é explosivo quando misturado com o ar em certas proporções. Os vapores de muitos produtos do petróleo são altamente tóxicos quando inalados ou ingeridos. É necessária muita precaução ao manusearmos o óleo lubrificante.

SEGURANÇA NA MANUTENÇÃO

Um bom suprimento no hangar, nas oficinas, e na linha de vôo, é essencial para a segurança e uma manutenção eficiente.

Um alto padrão de sequência de trabalho e limpeza deverão ser observados durante a manutenção da aeronave. Onde serviços continuados com troca de turnos são estabelecidos, o turno que sai, deve conferir e guardar na ferra-

mentaria, suas ferramentas pessoais, caixas ro-lantes, todos os equipamentos de apoio, todo material de pista, extensões elétricas e caixas, as quais serão supérfluas para o término do serviço.

Faixas de segurança

Faixas para pedestres e locais de extintores de incêndio devem ser pintados em torno do perímetro interno dos hangares. Devem ser marcadas, também, as faixas para manter os pedestres fora das áreas de trabalho.

Fios de força:

1. Os fios de força devem ser do tipo industrial pesado, os quais estão protegidos para resistir a corrosões e impacto.
2. Os fios de força não devem ser passados sobre qualquer equipamento.
3. As lâmpadas devem ser à prova de explosão.
4. Todas as lâmpadas ou equipamentos deverão ser desligados, para evitar a formação de arco antes de conectar ou desconectar.
5. Os fios de força deverão ser esticados, enrolados e estocados propriamente, quando não estiverem em uso.

O descumprimento das sugestões ou normas acima pode resultar em explosões e incêndios, com perdas de milhões de reais, ou, até mesmo, perda de vidas.

Sistema de ar comprimido

Ar comprimido é idêntico a eletricidade, e um excelente sistema de auxílio quando operado sob controle.

1. Tubos de ar devem ser inspecionados frequentemente quanto a entupimentos, desgastes e rachaduras.
2. Todas as conexões devem ser mantidas sem vazamento.
3. Lubrificadores, se instalados, devem ser mantidos em condições de operação.
4. O sistema deve ter drenos de água instalados, e eles devem ser drenados em intervalos de tempo regulares.
5. O ar usado para pintura com pistola deve ser filtrado para remover óleo e água.

6. Nunca usar o ar comprimido para limpar as mãos ou as roupas. A pressão pode forçar partículas para dentro da pele, causando infecções.
7. Nunca brinque com ar comprimido.
8. As mangueiras de ar comprimido devem ser esticadas e enroladas e, adequadamente, guardadas quando não estiverem em uso.

Poças de óleo e graxa

Óleo, graxa e outras substâncias derramadas no chão do hangar, ou da oficina, devem ser removidas imediatamente, ou cobertas com um material absorvente, para evitar fogo ou danos pessoais.

Devem ser posicionadas bandejas embaixo dos motores sempre que haja algum vazamento. O óleo usado e o fluido de limpeza sujo devem ser estocados em tambores, para posterior recuperação.

Esses líquidos jamais devem ser despejados no ralo do assoalho, pois os vapores desse tipo de lixo podem pegar fogo e causar graves danos à propriedade.

Montagem de pneus de aeronave

Para prevenir possíveis danos pessoais, carrinhos para pneus e outros equipamentos apropriados ao levantamento e montagem, devem ser usados na montagem e remoção de pneus pesados. Durante o enchimento de pneus em rodas equipadas com anéis de travamento, deve-se sempre usar uma "gaiola". Devido à possibilidade de danos pessoais, deve-se ter extrema cautela para evitar uma pressão excessiva em pneus de alta-pressão. Deve-se usar reguladores de pressão adaptados às garrafas de alta pressão, para eliminar a possibilidade de estouro do pneu.

Não é necessário usar a "gaiola" durante a regulagem da pressão dos pneus, instalados na aeronave.

Soldagem

A soldagem só deve ser realizada em áreas designadas para esse fim. Qualquer peça a ser soldada, deve ser removida da aeronave sempre que possível.

O reparo será, então, realizado na oficina de soldagem sob condições de ambiente controladas. Uma oficina de soldagem deve estar equipada com mesas, ventilação, ferramental e equipamentos adequados de prevenção e extinção de incêndios.

A soldagem em uma aeronave deve ser realizada, se possível, em área externa. Se for necessário uma soldagem dentro de hangar, estas precauções devem ser observadas:

1. Não haver tanques de combustível abertos ou qualquer serviço no sistema de combustível em progresso.
2. Nenhuma pintura deve estar sendo feita.
3. Nenhuma aeronave em um raio de 35 pés. - 10 metros.
4. A área ao redor do reparo deve estar limpa.
5. Somente um soldador qualificado pode realizar o trabalho.
6. A área deve ser demarcada e identificada.
7. Um extintor de incêndio tipo 20B deve estar à mão do soldador, e um extintor 80B deve estar nas imediações.
8. Deve haver pessoal qualificado para operar os extintores acima.
9. A aeronave deve estar em condição de ser rebocada com um trator conectado, com freios soltos, com um motorista a postos e com mecânicos disponíveis para auxiliar o reboque. As portas do hangar deverão estar abertas.

ABASTECIMENTO DE SISTEMAS DE OXIGÊNIO DE AERONAVES

Antes de abastecermos qualquer aeronave, consultamos o manual de manutenção específico, para determinar o tipo adequado de equipamento a ser usado. São necessárias duas pessoas para abastecer o sistema de oxigênio gasoso.

Uma pessoa deve operar as válvulas de controle do carrinho de oxigênio, enquanto outra deve ficar em um local de onde possa observar a pressão no sistema da aeronave. É necessária comunicação bilateral para o caso de uma emergência. A aeronave não deve ser abastecida de oxigênio durante o abastecimento de combustível, de destanqueio ou outro serviço de manutenção que possa gerar uma fonte de ignição. O abastecimento de oxigênio deve ser feito fora do hangar.

Os perigos do oxigênio

O oxigênio gasoso é quimicamente estável e não-inflamável, contudo os materiais combustíveis queimam mais rapidamente e mais intensamente em uma atmosfera rica em oxigênio. Além disso, o oxigênio combina-se com óleo, graxa ou materiais betuminosos para formar uma mistura altamente explosiva, sensível a impacto. Danos físicos ou falhas de garrafas, válvulas ou tubulações de oxigênio podem resultar em uma ruptura explosiva, com perigo para a vida e a propriedade. É imperativo que o mais alto grau de organização seja observado no manuseio do oxigênio, e que somente pessoas autorizadas abasteçam a aeronave.

Além de aumentar o risco de incêndio, o oxigênio líquido causa graves queimaduras quando entra em contato com a pele, devido à baixa temperatura (ele ferve a 297° F).

Somente o oxigênio rotulado como "oxigênio para uso aeronáutico", que cumpra a especificação federal BB-O-925a, Tipo A ou equivalente pode ser usado em sistemas de respiração de aeronaves.

ANCORAGEM DE AERONAVES

A ancoragem é uma parte muito importante do manuseio no solo. O tipo de amarração será determinado pelas condições meteorológicas predominantes. Em condições normais usa-se uma amarração limitada ou normal, porém quando houver notificação de tempestades, deve-se utilizar uma amarração especial para àquela condição.

Procedimento normal de ancoragem

Pequenas aeronaves devem ser ancoradas depois de cada vôo para evitar danos, devido a tempestades súbitas. A aeronave deve ser estacionada de frente para o vento predominante.

A direção da aeronave dependerá da localização dos pontos de amarração no pátio de estacionamento.

O espaçamento dos pontos de amarração deverá deixar uma boa folga entre as pontas de asa (figura 11-18). Depois que posicionarmos corretamente a aeronave, calçamos a roda do nariz ou a bequilha, à frente e atrás da(s) roda(s).

Pontos para amarração

Todas as áreas de estacionamento devem ser equipadas para amarrações em 3 pontos. Na maioria dos aeroportos isso é facilitado pela existência de pátios concretados, com a instalação de argolas. Essas argolas ficam niveladas com o piso, ou uma polegada, acima do mesmo. Há diversos tipos de amarrações em uso.

O tipo escolhido dependerá do tipo de material usado na pavimentação do pátio, pois ele pode ser de concreto, asfalto ou não ser pavimentado.

A localização dos pontos é geralmente indicada, ou por marcas pintadas em branco, ou em amarelo, ou circundando o ponto de ancoragem com pedra moída.

As argolas de amarração para pequenos monomotores devem suportar pelo menos 3.000 libras cada. Apesar desse mínimo poder ser atingido através de estacas enfiadas em solo seco, tais estacas se soltarão assim que a terra for molhada em uma chuva torrencial, que geralmente acompanha furacões e algumas tempestades.

Cordas de amarração

Devem ser usadas cordas capazes de suportar pelo menos 3.000 libras de tração, para aeronaves pequenas.

Deve-se usar cabos de aço ou correntes para ancorar aeronaves de grande porte.

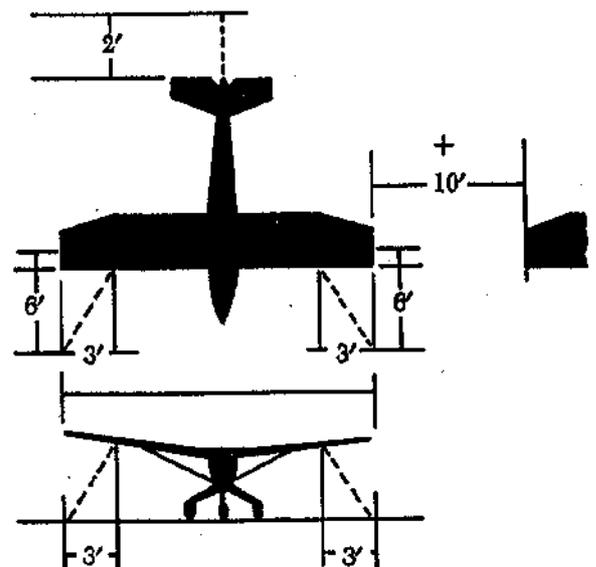


Figura 11-18 Diagrama das dimensões da amarração.

	SISAL	NYLON	DACRPM	POLYPROPYLENE AMARELO		
MEDIDA (POL.)	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO (TORCIDA)	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO (TRANÇADA)	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO (TORCIDA)	MÍNIMA RESISTÊNCIA A TENSÃO (TRANÇADA)
3/16	-	960	850	730	800	600
1/4	600	1,500	1,440	980	1,300	1,100
5/16	1,000	2,400	2,200	1,650	1,900	1,375
3/8	1,350	3,400	3,120	2,300	2,750	2,025
7/16	1,750	4,800	4,500	2,900	-	-
1/2	2,650	6,200	5,500	3,800	4,200	3,800
5/8	4,400	10,000	-	-	-	-
3/4	5,400	-	-	-	-	-
1	9,000	-	-	-	-	-

Figura 11-19 Comprovação entre as cordas comuns de amarração.

Cabo de ancoragem

Os cabos de aço são comumente usados, especialmente no caso de grandes aeronaves.

A maioria das amarrações com cabo de aço são feitas com algum tipo de esticador, para uma amarração rápida e segura de todos os tipos de aeronaves.

A figura 11-20 ilustra a operação de um típico esticador de carretel.

No item "A" da figura 11-20 o cabo é solto pressionando-se a manopla de soltura. Uma das pontas do cabo é, então, presa ao ponto de amarração da aeronave, e a outra extremidade é presa em argolas no piso do pátio.

A estrela do esticador ("B" da figura 11-20) é girada no sentido horário para apertar o cabo.

O punho de travamento é fixado à barra, quando o cabo está esticado na tensão desejada ("C" da figura 11-20).

Finalmente, como mostrado no item "D" da figura 11-20, o came de travamento é preso para completar o procedimento de ancoragem.

Correntes de amarração

As correntes são, às vezes, utilizadas como uma amarração melhor e mais forte para prender aeronaves mais pesadas.

Essa ancoragem é composta de um mecanismo de liberação rápida, um esticador e uma corrente com ganchos nas extremidades (Figura 11-21).

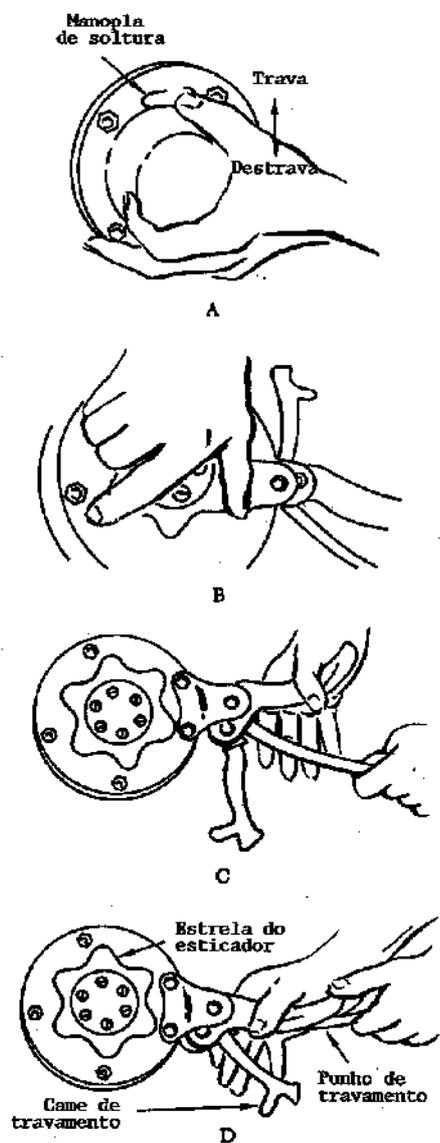


Figura 11-20 Operação de um esticador tipo carretel.

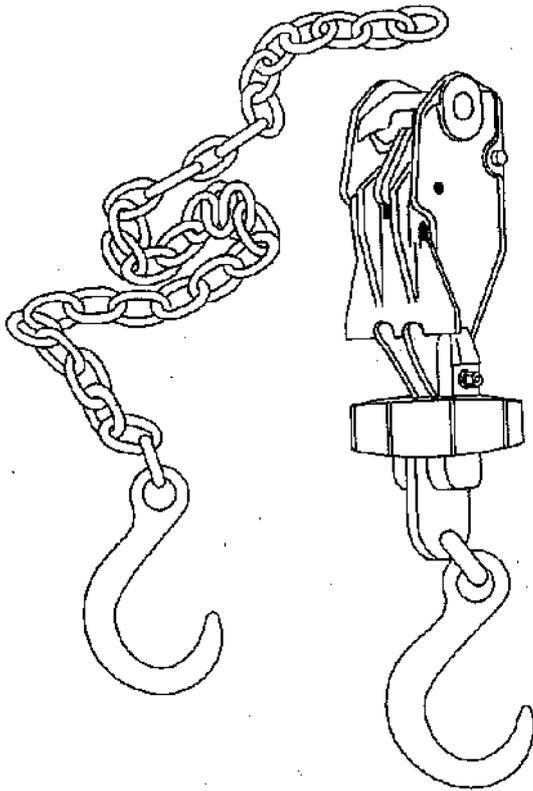


Figura 11-21 Sistema de amarração com corrente.

ANCORAGEM DE AERONAVES LEVES

As aeronaves leves são geralmente ancoradas com cordas, amarradas somente numa argola existente na parte inferior da asa e um ponto fixo no solo. As cordas nunca devem ser amarradas de tal maneira que levante a estrutura, visto que, na prática pode danificar a estrutura se a corda for amarrada muito frouxa. Braceletes de amarração evitam que a corda encolha quando molhada. Mais ou menos 2 cm deve ficar aliviado para o movimento da asa. Também deve-se permitir uma oscilação da aeronave que ocasionará trancos pequenos no ponto fixo do solo. Cordas amarradas com muita tensão podem inverter a tensão para a aeronave, danificando-a.

Uma amarração de cordas, para aguentar melhor, depende do tipo de nó que é aplicado.

Nós antiescorregadios, semelhantes ao nó de arco ou nó quadrado, são fáceis de serem aplicados e fáceis de se desfazerem (Figura 11-22). Aeronaves não equipadas com argolas sob as asas deverão ser ancoradas de acordo com as instruções do fabricante.

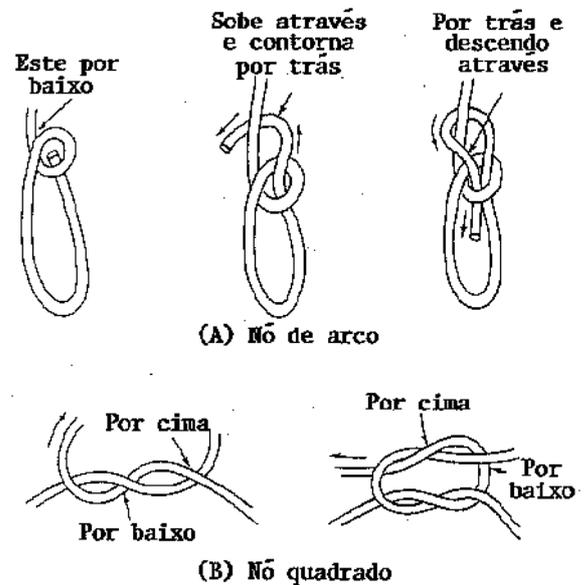


Figura 11-22 Tipos de nós comuns para amarração de aeronaves.

As cordas deverão ser presas nos finais externos dos montantes, nas aeronaves monoplanas de asa alta. Argolas adequadas deverão ser preparadas, quando as condições estruturais permitirem, caso o fabricante não tenha providenciado.

SEGURANÇA DE AERONAVES PESADAS

O procedimento normal de ancoragem para as aeronaves pesadas pode ser executado com cordas ou cabos de ancoragem. O número deles a serem utilizados depende das condições do tempo.

A maioria das aeronaves pesadas são equipadas com travas para as superfícies de controle, as quais deverão ser acopladas ou instaladas quando a aeronave estiver segura.

Uma vez que o método de travamento dos controles varia nos diferentes tipos de aeronaves, as instruções do fabricante para a instalação adequada ou procedimentos de acoplamento devem ser checados. No caso de previsão de ventos fortes, os quais poderão danificar as superfícies de controle ou os mecanismos de travamento, outros tipos de trava podem ser instalados nas superfícies de comando para evitar danos. A figura 11-23 ilustra quatro pontos de ancoragem nas aeronaves pesadas.

Em geral, os procedimentos normais de ancoragem para aeronaves pesadas, devem incluir o seguinte:

1. O nariz da aeronave direcionado para o vento predominante, sempre que possível.
2. Instalar as travas dos controles, todas as capas e proteções.
3. Calçar na frente e atrás das rodas.
4. Fixar as cordas nos pontos de ancoragem da aeronave e nas argolas do solo ou nas estacas de ancoragem. O uso das estacas é somente temporário. Para ancoragem poderá ser usado cabo de 1/4 de polegada, ou corda de sisal de 1 1/2 de polegada.

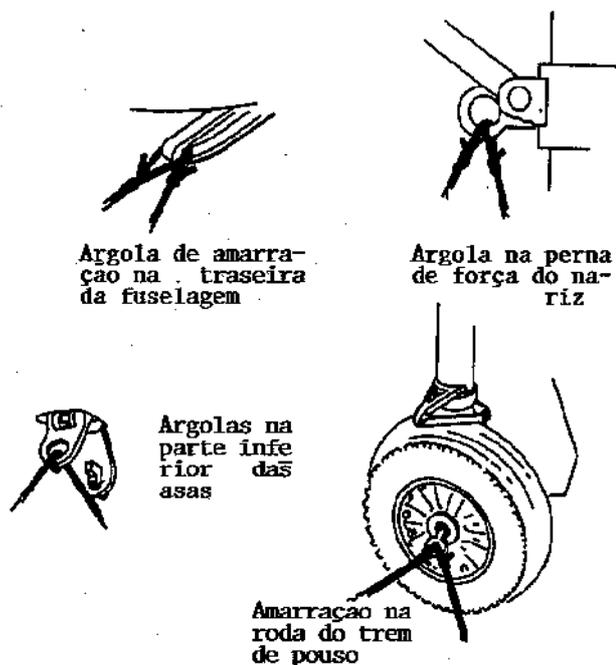


Figura 11-23 Pontos normais de amarração.

ANCORAGEM DE AERONAVES EM CONDIÇÕES DE TEMPESTADES

A cada ano muitas aeronaves são danificadas desnecessariamente, devido à negligência e deficientes procedimentos de ancoragem ao solo.

Uma tempestade ou vendaval pode transformar um estacionamento de aeroporto em um pátio de ferro velho em poucos minutos. Se uma aeronave for danificada durante um vendaval é porque ela estava ancorada de maneira inadequada, ou não estava totalmente amarrada.

Os serviços de meteorologia dos aeroportos informam com relativa antecedência a aproximação de tempestades, devendo as equipes responsáveis pelo serviço, providenciar os equipamentos e os procedimentos de segurança com relação às aeronaves estacionadas.

Precauções contra danos de tempestades

A melhor proteção contra danos causados pelas tempestades é sem dúvida, retirar a aeronave do local, se houver suficiência de tempo. O próximo meio de proteção é proteger a aeronave em um hangar à prova de tempestades ou outro abrigo conveniente. A última alternativa é assegurar uma ancoragem perfeita.

Quando se protege uma aeronave contra tempestades, todas as portas e janelas são trancadas adequadamente para minimizar os danos ao interior da aeronave.

As aberturas dos motores (entrada e escapamento), tanto convencionais como à turbina, deverão ser cobertos para evitar a entrada de matérias estranhas. Os tubos pitot-estático deverão também ser cobertos para evitar danos.

Preparar-se sempre para as piores condições de tempo; por exemplo, chuva muito forte, rajadas de vento com intermitentes torrentes de água através da pista, estacionamento e outras áreas, estando, provavelmente sem apoio disponível no hangar.

Com semelhantes condições em mente, a equipe responsável pelo serviço deverá planejar com antecedência, a familiarização com as instruções dos fabricantes das aeronaves presentes, no que se refere a: (1) cordas de ancoragem; (2) instalação de anéis de amarração para a fixação das cordas de ancoragem; (3) segurança de aeronave com roda de nariz contra aeronave com bequilha; (4) peso das aeronaves e velocidade relativa do vento, que deverão alterar os procedimentos necessários à ancoragem durante as emergências.

As sugestões a seguir, reduzirão muito os danos materiais das aeronaves durante os vendavais:

1. Aeronaves parcialmente desmontadas, que estejam fora de abrigo (particularmente aeronaves leves, com motores removidos) deverão ser recolhidas ao hangar, tão logo seja recebido o aviso do temporal. Asas soltas nunca deverão ser amarradas contra a fuselagem; elas deverão ser estocadas dentro do hangar.
2. Sempre que for possível, levar a aeronave para uma localidade fora da zona perigosa. Se for impossível, recolher a aeronave em um hangar à prova de temporal.

3. Manter a mínima tensão recomendada para as cordas de ancoragem.
4. Uma fileira simples, de sacos de areia devidamente amarrados, ou uma prancha como "spoiler" (de 2" x 2') na parte superior do bordo de ataque da asa, atuará como um eliminador de sustentação da asa. As asas com os sacos de areia não deverão ser sobrecarregadas. Se os ventos esperados forem com maior valor que a velocidade de decolagem da aeronave, os sacos de areia ou o pranchão ("spoiler"), deverão ocupar toda a extensão das asas.

Um outro processo de ancoragem de aeronaves leves (de vários tipos e tamanhos) é a utilização de contínuas extensões de corda, passadas através de olhais presos aos pontos de ancoragem do solo (figuras 11-24 e 11-25).

Correntes de amarração são fixadas às cordas com olhais presos aos pontos de ancoragem do solo (figuras 11-24 e 11-25).

Correntes de amarração são fixadas às cordas com olhais galvanizados. Isto permite que as correntes deslizem ao longo das cordas, permitindo uma distância variável entre os pontos de ancoragem, para que uma variedade de aeronaves possa usar uma amarração vertical, economizando espaço.

A ancoragem vertical reduz significativamente a carga de impacto que pode ocorrer durante as condições de vento de rajada muito forte. A distância entre as cordas dependerá dos tipos de aeronaves que usarão os pontos de ancoragem da área.

O diagrama na figura 11-25 apresenta uma adequada ancoragem vertical usando o sistema de corda de ancoragem, ligada à asa da aeronave por uma corrente.

Uma argola da ponta livre da corrente é passada então por um dos elos da parte esticada, e um tipo de presilha de segurança mantém a argola presa. Alguma carga na corrente é suportada por ela mesma, em vez da presilha.

Segurança de aeronaves multimotoras

Uma aeronave multimotora requer ancoragens resistentes, devido ao peso adicional dessas aeronaves. A amarração deve ser capaz de suportar uma força de 4.000 libras para cada

ponto das aeronaves leves, bimotoras do tipo executivo.

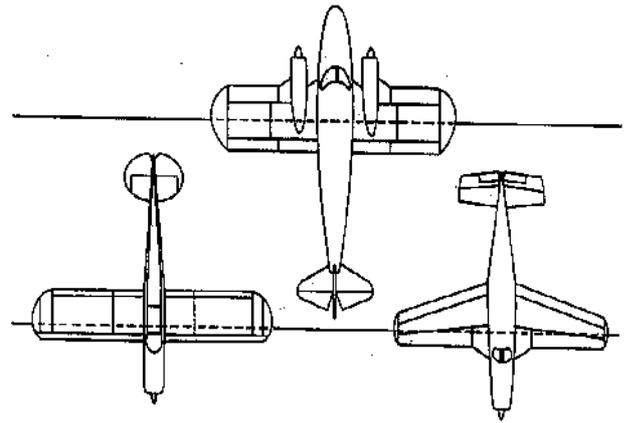


Figura 11-24 Sistema típico de amarração com cabos.

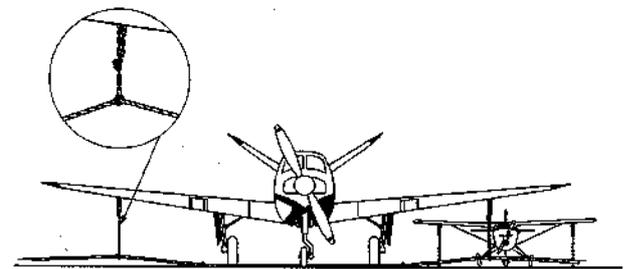


Figura 11-25 Amarração com cabos em ancoragem vertical.

Muito maior capacidade de carga é requerida para as pesadas aeronaves de transporte.

Não depende do peso, das aeronaves multimotoras, para se protegerem de danos causados pelas tempestades. Isso é possível acontecer quando um repentino e severo vendaval movimentar, danificar ou virar a aeronave.

As aeronaves multimotoras deverão, portanto, sempre estar ancoradas e com calços, quando forem permanecer estacionadas por algum espaço de tempo. Travas de comando deverão ser usadas para proteger as superfícies móveis. Se o trem de pouso usar pinos, estes deverão estar colocados enquanto a aeronave estiver estacionada.

Segurança de helicópteros

Danos estruturais poderão ocorrer, causados por ventos de superfície de alta velocidade. Portanto, se possível, os helicópteros deverão ser removidos para uma área segura se tornados ou furacões forem esperados.

Quando possível, os helicópteros deverão ser protegidos em hangares, se não, eles de-

verão ser ancorados seguramente. Helicópteros que estejam bem ancorados poderão suportar, normalmente, ventos de aproximadamente 65 m.p.h.

Como proteção adicional, os helicópteros deverão ser levados para uma área livre, de modo que não sejam danificados por objetos jogados pelo vento ou galhos de árvores próximas.

Se houver previsão de ventos fortes, com o helicóptero estacionado em campo aberto, os rotores principais deverão ser amarrados. As instruções detalhadas para a segurança e ancoragem de cada tipo de helicóptero podem ser obtidas no aplicável manual de manutenção.

Os métodos de segurança de helicópteros variam com as condições do tempo, o espaço de tempo que a aeronave deverá permanecer no solo, a localização e as características da aeronave.

Para a segurança de helicópteros são usados calços nas rodas, travas nos comandos, cordas para ancoragem, capas, amarrações de pás, conjuntos de ancoragem, freios de estacionamento e freios do rotor.

Os procedimentos típicos de segurança são os seguintes:

1. O nariz do helicóptero deverá estar voltado para a direção da qual está prevista a chegada do vento.
2. Localizar o helicóptero com um pouco mais de distância, do que a envergadura ou diâmetro do rotor principal, de outras aeronaves.
3. Colocar calços, quando aplicável, na frente e atrás de todas as rodas. Em helicópteros equipados com esquis, recolher as rodas de reboque, apoiar o helicóptero nos esquis e instalar os pinos de trava das rodas.
4. Instalar o dispositivo de amarração na ponta da pá (figura 11-26), e alinhar a pá com o cone de cauda. Prender as tiras de amarração, sob os tubos estruturais do cone. Apertar as tiras firmemente, porém sem excesso. Durante um período chuvoso, permitir alguma folga para evitar a possibilidade das tiras ficarem muito apertadas.
5. Atar as cordas ou cabos de ancoragem, para a frente e para trás, nos tubos atravessados do trem de pouso, prendendo-os ao solo em estacas ou argolas de amarração.

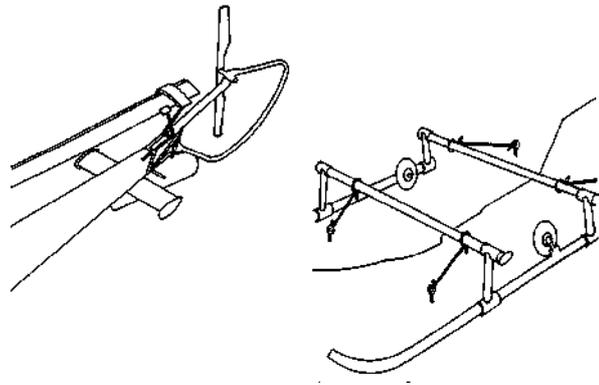


Figura 11-26 Amarração de helicópteros.

Segurança de hidroaviões e de aeronaves com esqui

Aeronaves montadas em flutuadores ou esquis deverão ser mantidas seguras, amarrando-as em âncoras ou pesos submersos na água ou no gelo.

Quando for recebido um aviso de uma iminente tempestade, e não for possível voar a aeronave para fora da área de perigo, alguns compartimentos do hidroavião poderão ser inundados, aumentando seu peso.

Além disso, a aeronave deverá ser bem presa às âncoras. Hidroaviões ancorados ao solo têm menos possibilidade de danos, se os flutuadores forem abastecidos com água, além da amarração usual. Aeronaves equipadas com esquis, algumas vezes são protegidas pelos operadores, formando blocos de neve macia em torno dos esquis para congelá-los, prendendo-os ao solo. Esse procedimento, além da amarração usual, auxilia na prevenção de danos em tempestades.

MOVIMENTAÇÃO DA AERONAVE

Generalidades

O movimento de uma grande aeronave no aeroporto, entre a linha de vôo e o hangar, é normalmente executado por um trator rebocador (algumas vezes chamado de "mula"). No caso de pequenas aeronaves, a maioria é movimentada pela mão, sendo empurrada em certas áreas da superfície da aeronave.

A aeronave poderá também ser taxiada de um lado para o outro da linha de vôo, mas somente por pessoas qualificadas.

Reboque de aeronaves

Rebocar uma aeronave pode ser uma operação perigosa, causando danos à aeronave e às pessoas, se for feita descuidadamente. Os parágrafos seguintes contêm os procedimentos gerais para rebocar uma aeronave; mas as instruções específicas para cada modelo de aeronave são detalhadas nas instruções de manutenção do fabricante, que deverão ser seguidas em todas as operações.

Antes de movimentar a aeronave que vai ser rebocada, uma pessoa qualificada deverá estar na cabine, para operar os freios no caso de falha do garfo de reboque, ou no caso de soltar-se do trator. A aeronave poderá então ser parada, evitando possíveis danos.

Alguns tipos de garfos de reboque disponíveis para uso geral (figura 11-27), podem ser usados para vários tipos de operações de

reboque. Esses garfos são projetados com suficiente resistência à tensão para puxar a maioria das aeronaves, mas não têm como objetivo se sujeitarem a cargas de torção. Embora a maioria dos garfos tenha rodinhas que permitem que eles sejam puxados pelo trator até o local de onde sairá a aeronave, os garfos sofrerão menos danos e desgaste se forem carregados e não arastados pelo trator até a aeronave.

Quando o garfo estiver conectado na aeronave, todos os mecanismos de engrazamento deverão ser inspecionados quanto a danos ou mal funcionamento, antes de movimentar a aeronave.

Alguns garfos de reboque são projetados para rebocar vários tipos de aeronaves; porém outros tipos especiais só podem ser usados em particulares tipos de aeronaves.

Esses garfos são normalmente projetados e fornecidos pelo fabricante da aeronave.

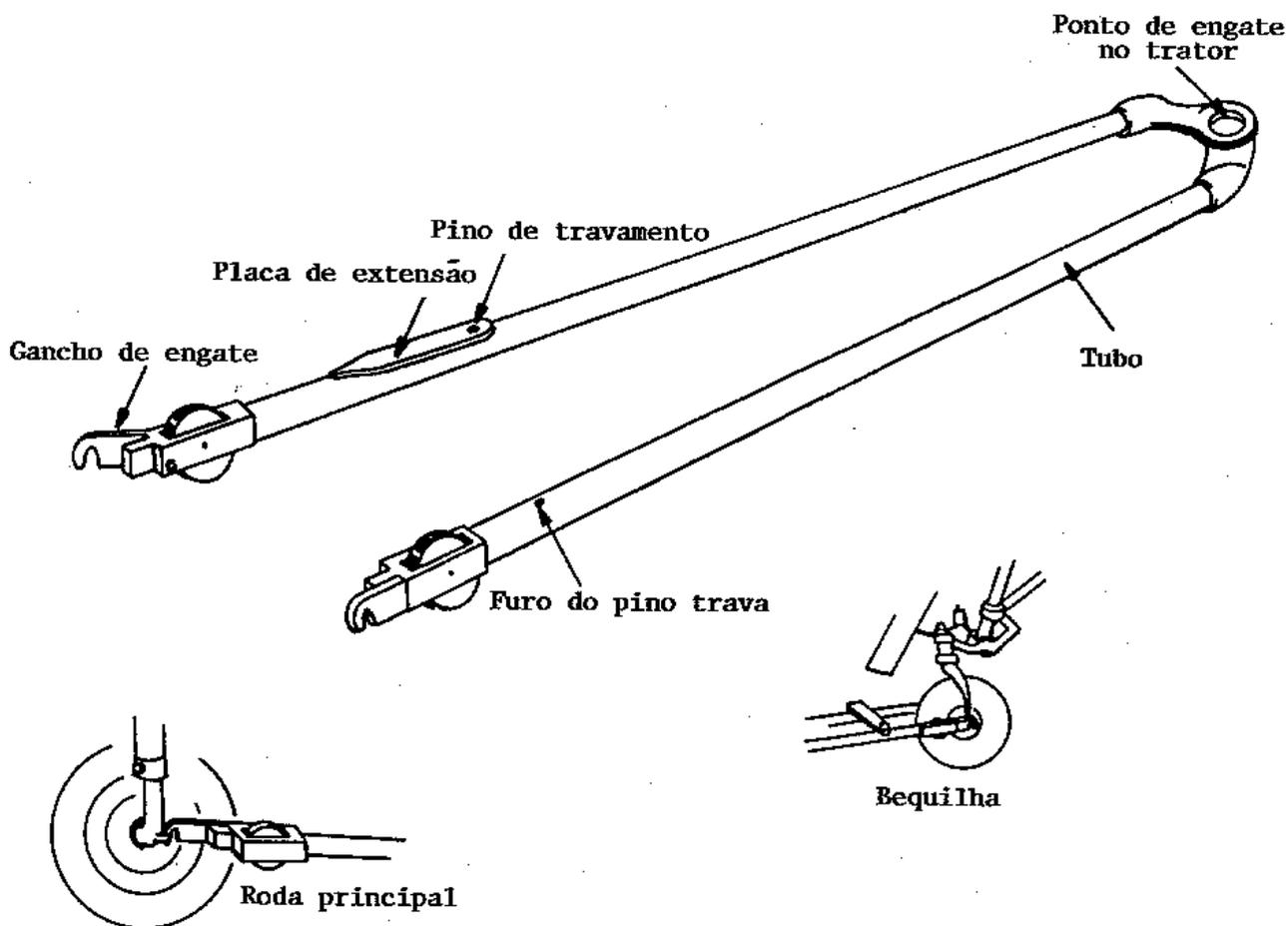


Figura 11-27 Garfo de reboque de aeronaves.

Quando rebocando a aeronave, o trator rebocador deverá manter uma velocidade moderada, e todas as pessoas envolvidas na operação deverão permanecer em alerta todo o tempo.

Quando a aeronave estiver parada, os freios do trator apenas não devem ser confiáveis em parar a aeronave. O homem na cabine deverá coordenar o uso do freio da aeronave com o do trator. Um trator típico é mostrado na figura 11-28.

A fixação do garfo de reboque varia de acordo com os diferentes tipos de aeronaves. Aeronaves equipadas com bequilhas são geralmente rebocadas pela frente, conectando o garfo em argolas próprias para o reboque, existentes nas pernas de força principais. Na maioria dos casos é permitido rebocar a aeronave de costas, conectando o garfo no eixo da bequilha. Algumas vezes quando uma aeronave equipada com bequilha é rebocada, esta deve ser destravada, ou o mecanismo de trava será danificado ou quebrado.

Aeronaves equipadas com trem de pouso, do tipo triciclo, geralmente são rebocadas pela parte dianteira, conectando um garfo de reboque no eixo da roda do nariz. Elas podem também ser rebocadas para frente ou para trás, conectando-se cabos de reboque ou mesmo garfos especialmente projetados para serem conectados nas argolas de reboque, nas pernas de força principais do trem de pouso.

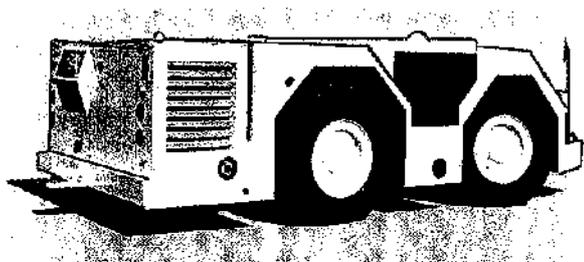


Figura 11-28 Trator de reboque.

Quando uma aeronave estiver sendo rebocada dessa maneira, um garfo de reboque deverá ser fixado na perna de força do nariz para direcionar a aeronave.

Os procedimentos a seguir, de reboque e estacionamento, são típicos de um tipo de operação. Eles são apenas exemplos, e não são necessariamente para todo tipo de operação. O pessoal de manuseio de aeronaves no solo deverá estar familiarizado com os todos o procedimentos pertinentes ao tipo de aeronave que está sendo rebocada, e aos padrões de operação do local em que a aeronave está sendo

local em que a aeronave está sendo manejada. Somente pessoas competentes e propriamente checadas devem dirigir uma equipe de reboque de aeronave.

1. O motorista do veículo rebocador é responsável pela operação do seu veículo de uma maneira segura e, obedecendo as instruções, dadas por algum membro da equipe, de parada em emergência.
2. A pessoa em comando deverá nomear dois membros da equipe como controladores das asas, eles deverão permanecer um em cada ponto da asa, em tal posição que possam assegurar adequada distância, de alguma obstrução no caminho da aeronave. Um controlador de cauda deverá ser escalado, quando curvas acentuadas tiverem que ser executadas, ou quando a aeronave tiver que ser recuada.
3. Uma pessoa qualificada deverá ocupar o assento do piloto, da aeronave rebocada, para observar e operar os freios, quando requerido. Quando necessário, uma outra pessoa deverá ser escalada para vigiar e manter a pressão do sistema hidráulico da aeronave.
4. A pessoa em comando da operação de reboque deverá verificar que, em uma aeronave com um sistema de direção da roda do nariz, a tesoura de travamento deverá estar selecionada para o curso total em reboque.
O mecanismo de travamento deverá ser reestabelecido após a remoção do garfo de reboque.
Pessoas envolvidas com a aeronave não deverão tentar acionar a direção da roda do nariz, ou direcionar a própria roda, quando o garfo de reboque estiver conectado na aeronave.
5. Sob circunstância nenhuma deverá ser permitido a qualquer pessoa andar ou ser transportada entre a roda do nariz da aeronave e o veículo rebocador, nem viajar na parte externa de uma aeronave em movimento, ou no veículo rebocador.

No interesse da segurança, nenhuma tentativa de embarcar ou de saltar de uma aeronave em movimento, ou de um veículo rebocador, deverá ser permitido.

6. A velocidade de reboque de uma aeronave não deverá exceder a dos membros da equipe que controlam a segurança da aeronave andando ao seu lado.

Os motores da aeronave, normalmente não são operados, quando a aeronave estiver sendo rebocada.

7. O sistema de freio da aeronave deverá ser carregado antes de cada operação de reboque. Aeronave com falha de freios deverá ser rebocada somente para os reparos do sistema de freios, em tal caso, somente com pessoal de sobreaviso, com calços para uso em emergência.

Os calços devem estar disponíveis imediatamente, no caso de uma emergência, durante qualquer operação de reboque.

8. Para evitar possíveis danos pessoais e prejuízos materiais para a aeronave durante as operações de reboque, as portas de entrada deverão estar fechadas, as escadas recolhidas e as travas do sistema de retração do trem instaladas.

9. Antes de rebocar alguma aeronave, checar todos os pneus e amortecedores do trem de pouso por inflação adequada. A inflação dos amortecedores do trem de pouso de uma aeronave em revisão geral e estocagem não devem ser considerados.

10. Quando movimentando uma aeronave, não andar e parar repentinamente. Para uma segurança adicional, os freios da aeronave nunca devem ser aplicados durante o reboque, exceto em emergências, e nesse caso,

somente pelo comando de um dos membros da equipe de reboque.

11. A aeronave deverá ser estacionada somente em áreas específicas. Geralmente a distância entre as fileiras de aeronaves estacionadas deverá ser grande o suficiente para permitir imediato acesso dos veículos de emergência no caso de fogo, bem como livre movimento de equipamentos e de materiais.

12. Os calços das rodas deverão ser colocados à frente e atrás das rodas das pernas de força principais de uma aeronave estacionada.

13. As travas internas e as externas dos controles (travas contra vento ou blocos) deverão ser usadas enquanto a aeronave estiver estacionada.

14. Antes de qualquer movimento da aeronave para cruzar pistas de decolagem ou de táxi, comunicar com a torre de controle, na frequência apropriada, para a liberação dos procedimentos.

15. Uma aeronave não deverá ser estacionada em um hangar, sem que seja imediatamente ligada à terra estaticamente.

Taxiando a aeronave

Como regra geral, somente pilotos com licença, e mecânicos habilitados em célula e grupo motopropulsor, são autorizados a dar partida, fazer teste de motores e taxiar aeronaves

LUZES	SIGNIFICADO
Verde piscando	Livre para o táxi
Vermelha fixa	Pare
Vermelha piscando	Livre o táxi da pista em uso
branca piscando	Retorne ao ponto de partida
Vermelha alternando com verde	Tenha extremo cuidado

Figura 11-29 Sinais padrão para o táxi.

Todas as operações deverão ser executadas de acordo com os aplicáveis regulamentos locais. A figura 11-29 contém os sinais luminosos de táxi padronizados, usados pelas torres

para autorizar e controlar o táxi das aeronaves.

A seção seguinte, "sinais de táxi", refere-se às instruções detalhadas de todos os sinais, e as instruções relativas às operações de táxi.

Sinais de táxi

Muitos acidentes de solo têm ocorrido como resultado de técnica inadequada nas operações de táxi de aeronaves. Embora o piloto seja fundamentalmente responsável pela aeronave até que o motor seja desligado, um sinaleiro de táxi pode assistí-lo em torno da linha de vôo. Em alguns tipos de aeronaves, a visão do piloto é obstruída, enquanto ele está no solo. Ele não pode ver obstáculos próximos das rodas nem sob as asas, e tem uma pequena idéia do que está por trás dele. Conseqüentemente, ele depende do sinaleiro de táxi para direcionar-se.

A figura 11-30 mostra um sinaleiro indicando sua prontidão em assumir a direção da aeronave, estendendo ambos os braços em toda extensão sobre sua cabeça, com as palmas voltada uma para a outra.

A posição padrão para um sinaleiro é ligeiramente à frente e em linha com a ponta da asa esquerda da aeronave. Quando o sinaleiro olha para a aeronave, o nariz da aeronave está a sua esquerda (figura 11-31).

O sinaleiro deve ficar afastado o bastante à frente da ponta da asa para que o piloto possa vê-lo facilmente, e deverá seguir um teste à prova de enganos para certificar-se de que o piloto está vendo sua sinalização.



Figura 11-30 Sinaleiro.

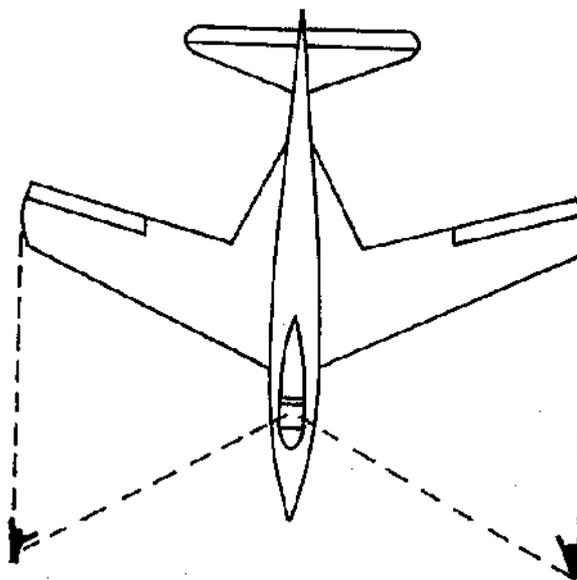


Figura 11-31 Posição dos sinaleiros.

A figura 11-32 apresenta os sinais padronizados para aeronaves em táxi, publicados no Manual de Informação dos tripulantes pela F.A.A. Deverá ser enfatizado que existem outros sinais padronizados, semelhantes aos publicados pelas Forças Armadas. Adicionalmente, as condições de operação em muitas áreas podem determinar uma série de modificações dos sinais de táxi.

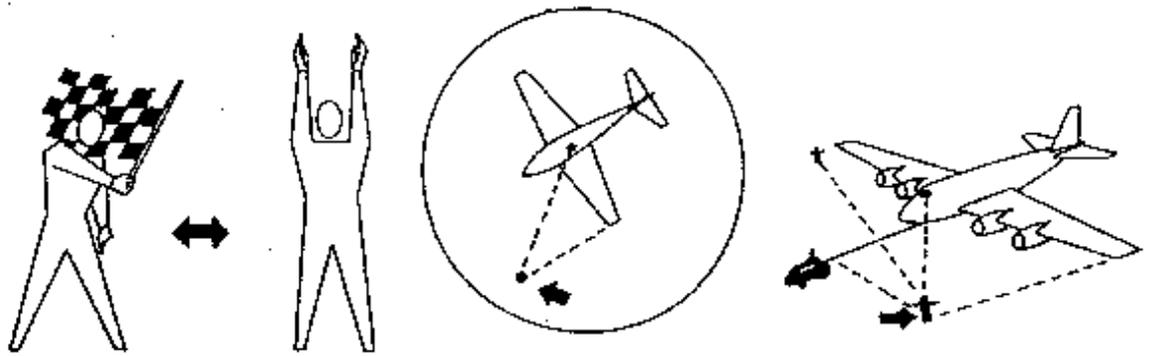
Os sinais mostrados na figura 11-32, representam um número mínimo dos mais comuns sinais usados. Se este conjunto de sinais ou um conjunto modificado for usado, não é considerado de muita importância, desde que o Centro Operacional de Vôo utilize um conveniente e adequado conjunto de sinais.

A figura 11-33 ilustra alguns dos mais comuns sinais usados nas operações com helicópteros.

Os sinais das operações de táxi, para serem usados, deverão ser estudados até que o sinalizador possa executá-los claramente e com precisão.

Os sinais devem ser transmitidos de tal maneira, que o piloto não se confunda com o seu significado. O que deve ser lembrado, é que o piloto está recebendo os sinais, sempre de alguma distância, e terá, muitas vezes, que olhar para fora e para baixo de um ângulo difícil.

Então, o sinaleiro deverá manter suas mãos bem afastadas, e os sinais deverão ser feitos de modo exagerado, para não correr o risco de não serem identificados.



O sinaleiro com a bandeira dirige o piloto para o outro sinaleiro

Posição dos sinaleiros

Sinaleiro orientando o tratorista



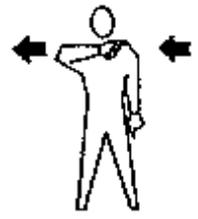
Pare



Siga em frente



Parada de emergência



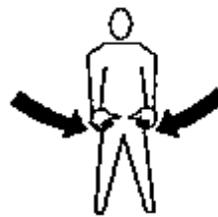
Corte os motores



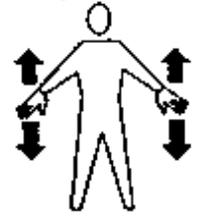
Dê partida nos motores



Retire os calços



Coloque os calços



Devagar



Tudo livre (OK)



Gire para a esquerda



Gire para a direita



Operação noturna

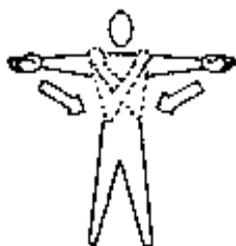
Figura 11-32 Sinais padronizados para aeronaves em táxi.



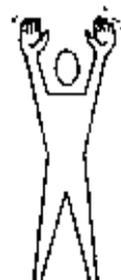
Dê partida nos motores



Engrazar o rotor



Parar o rotor



Pare



Recue



Avance



Mova-se a direita



Mova-se a esquerda



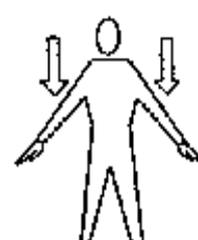
Decole



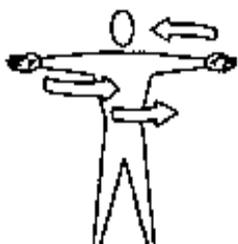
Direção do pouso



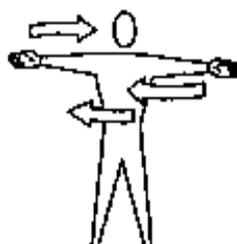
Suba



Desça



Gire a cauda para a direita



Gire a cauda para a esquerda

Figura 11-33 Sinais comuns em operações de helicópteros.

Se houver dúvida sobre um sinal, ou se o piloto não o estiver seguindo, o sinal de "pare" deverá ser usado e a série de sinais ser iniciada novamente.

O sinaleiro deverá sempre esforçar-se para fornecer ao piloto uma indicação da área aproximada, na qual a aeronave deverá estacionar.

O sinaleiro deverá, de relance, olhar à sua retaguarda, freqüentemente, quando andando de costas, para evitar acidentes com hélices, calços, extintores de incêndio, dispositivos de amarração ou outros obstáculos.

Os sinais de táxi à noite são, usualmente, dados com o auxílio de tubos iluminados, presos a lanternas (figura 11-34).

Os sinais noturnos são feitos da mesma maneira que os diurnos com excessão do sinal de "pare". Esse sinal usado à noite é o de "parada de emergência". Ele é feito pelo cruzamento das lanternas (com a extensão de tubos) formando um "X" à frente da cabeça.

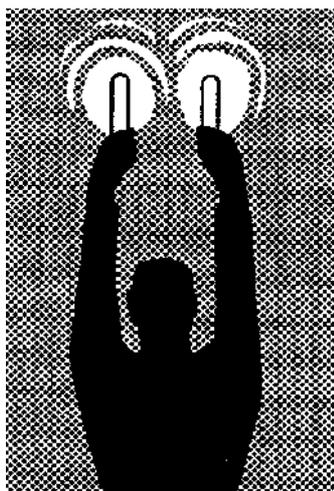


Figura 11-34 Sinais noturnos.

LEVANTAMENTO DA AERONAVE NOS MACACOS

O mecânico de aviação deve estar familiarizado com o levantamento de aeronaves nos macacos, com a finalidade de executar serviços de manutenção e inspeção. Como os procedimentos e precauções de segurança variam para os diferentes tipos de aeronaves, somente os procedimentos gerais de levantamento serão discutidos. Consultamos as instruções de manutenção do fabricante da aeronave, aplicáveis aos procedimentos específicos da utilização de macacos.

Grandes avarias nas aeronaves e danos pessoais têm resultado da falta de cuidado, ou procedimentos inadequados na utilização de macacos. Como medida de segurança adicional, os macacos deverão ser inspecionados antes do uso, para determinar a capacidade específica de levantamento, o funcionamento adequado das travas de segurança, condição dos pinos, e capacidade de trabalho em geral. Antes de levantar uma aeronave nos macacos, todas as bancadas e outros equipamentos deverão ser removidos de baixo e das proximidades da aeronave. Ninguém deverá permanecer na aeronave enquanto ela estiver sendo levantada ou abaixada, a menos que os procedimentos do manual de manutenção exijam um observador para os instrumentos de nivelamento na aeronave.

A aeronave a ser levantada deverá ser colocada em uma posição nivelada, bem protegida do vento. Um hangar deverá ser usado, se possível. As instruções de manutenção do fabricante, para a aeronave que está sendo levantada, deverão ser consultadas para a localização dos pontos de levantamento. Esses pontos, são localizados normalmente em relação ao centro de gravidade da aeronave, para que ela fique equilibrada quando suspensa nos macacos. Porém existem algumas excessões quanto a isso. Em algumas aeronaves pode ser necessário adicionar pesos no nariz ou na cauda da aeronave para conseguir um equilíbrio seguro. Normalmente são usados sacos de areia para essa finalidade.

Macacos semelhantes ao mostrado na figura 11-35 (tripé), são usados quando a aeronave completa tiver que ser levantada.

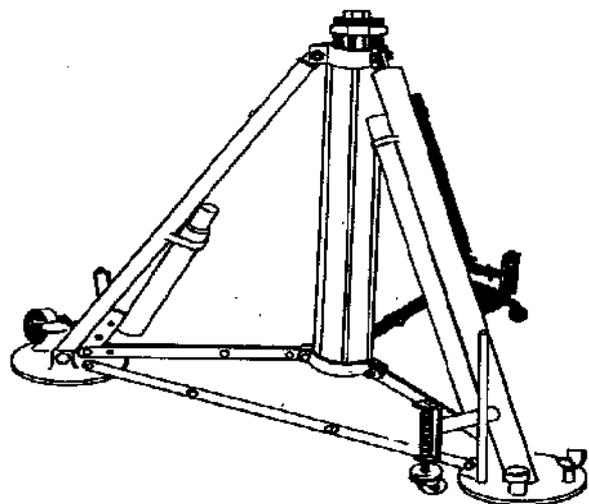


Figura 11-35 Macaco para levantamento de aeronave completa.

Um macaco pequeno, de base simples, semelhante ao mostrado na figura 11-36 é usado quando somente uma das rodas tiver que ser levantada. Os macacos usados para levantar aeronaves devem ser mantidos em boas condições; um macaco com vazamento, ou danificado, nunca deverá ser usado. Também, cada macaco tem uma capacidade máxima, a qual nunca deverá ser excedida.

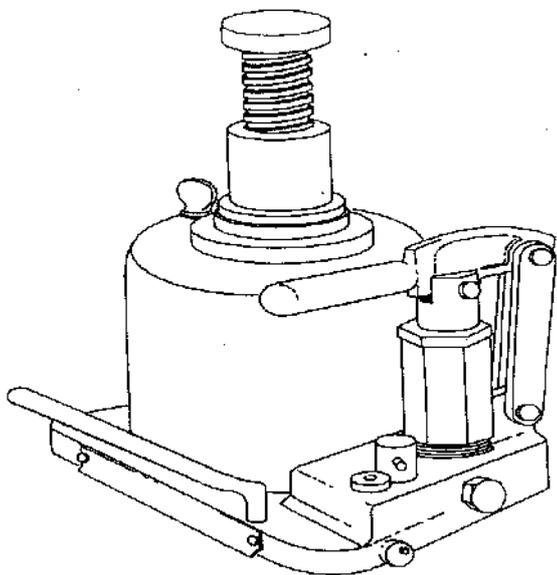


Figura 11-36 Macaco para levantamento apenas de uma roda.

Levantando a aeronave completa

Antes de levantar uma aeronave, um estudo em toda a extensão, da completa situação, deverá ser feito para determinar se existe algum perigo para a aeronave ou para o pessoal envolvido. Macacos do tipo tripé, de tamanho apropriado para a aeronave que será suspensa, deverão ser colocados sob os pontos de levantamento da aeronave e, perfeitamente centralizados, para evitar que eles se desequilibrem quando a aeronave for suspensa. As pernas dos macacos deverão ser checadas quanto a possíveis interferências com as operações que serão executadas, após o levantamento da aeronave, como por exemplo, a retração do trem de pouso.

Pelo menos três lugares ou pontos estão preparados na aeronave para a finalidade de levantamento em macacos; um quarto local em algumas aeronaves é usado para estabilizar a aeronave enquanto ela estiver sendo levantada pelos outros três pontos. Os dois locais principais são nas asas, e o terceiro de menor tama-

nho, na fuselagem, próximo da cauda ou do nariz, dependendo do tipo de configuração do trem de pouso.

A maioria das aeronaves tem apoios para os macacos localizados nos pontos de suspensão. Algumas têm apoios removíveis, que são inseridos em receptáculos aparafusados no lugar, antes da suspensão. O correto apoio deverá ser usado em todos os casos. A função do apoio é assegurar que a carga da aeronave esteja distribuída adequadamente nos pontos de levantamento; e, para proporcionar uma superfície de apoio convexo para ecaixar-se com a parte côncava do macaco. A figura 11-37 ilustra dois tipos de apoios para macacos.

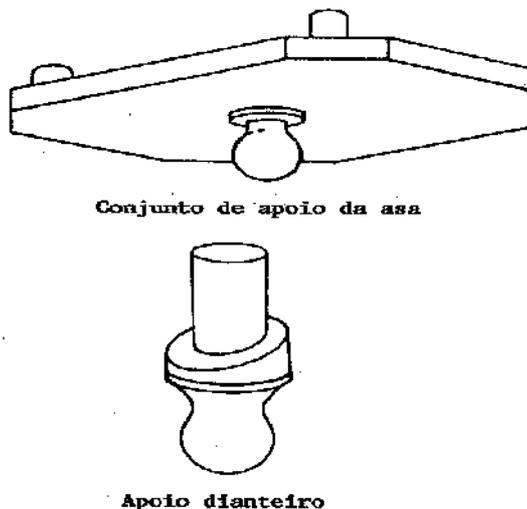


Figura 11-37 Apoios para macacos.

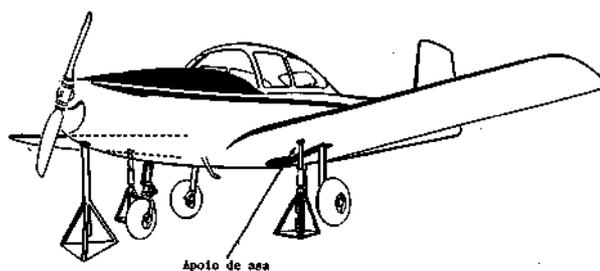


Figura 11-38 Aeronave sobre macacos.

Antes do levantamento nos macacos, determinamos se a configuração da aeronave permitirá o levantamento. Pode ser um equipamento ou algum combustível que tenha que ser removido, se sérios danos estruturais forem esperados durante o levantamento.

Se algum outro trabalho estiver sendo realizado na aeronave, nos certificamos se algum painel crítico terá que ser removido. Em algumas aeronaves os painéis de esforço, ou pla-

cas, devem estar em seus lugares, quando a aeronave for levantada para evitar danos estruturais.

Estendemos os macacos até que eles encostem nos seus apoios. Um cheque final, quanto ao alinhamento dos macacos, deverá ser feito antes do levantamento, porque a maioria dos acidentes durante o levantamento são causados pelo desalinhamento dos macacos.

Quando a aeronave estiver pronta para ser levantada, uma pessoa deverá ficar estacionada em cada macaco. Os macacos deverão ser operados simultaneamente para manter a aeronave tão nivelada quanto possível, e para evitar uma sobrecarga em qualquer um dos macacos. Isso pode ser conseguido, mantendo o líder da equipe na frente da aeronave, dando as instruções aos operadores dos macacos. A figura 11-38 mostra uma aeronave sobre macacos.

Muito cuidado deve ser tomado, porque em alguns macacos o pistão pode ser levantado além do ponto de segurança; portanto nunca levantamos uma aeronave mais do que o necessário para a execução de um serviço.

A área em torno da aeronave deverá ser mantida em segurança enquanto ela estiver sobre os macacos. A subida de alguém na aeronave deve ser mantida em um mínimo absoluto, e nenhum movimento brusco deverá ser feito pelas pessoas que estão a bordo. Alguns cavaletes ou suportes necessários deverão ser colocados sob a fuselagem ou asas da aeronave tão cedo quanto for possível, particularmente se a aereo-

navo for permanecer nos macacos por um longo tempo.

Nos macacos equipados com porcas de travamento, estas devem ser mantidas entre as duas roscas do tubo levantador durante o levantamento, e apertadas para baixo firmemente no cilindro após completado o levantamento, para evitar o abaixamento.

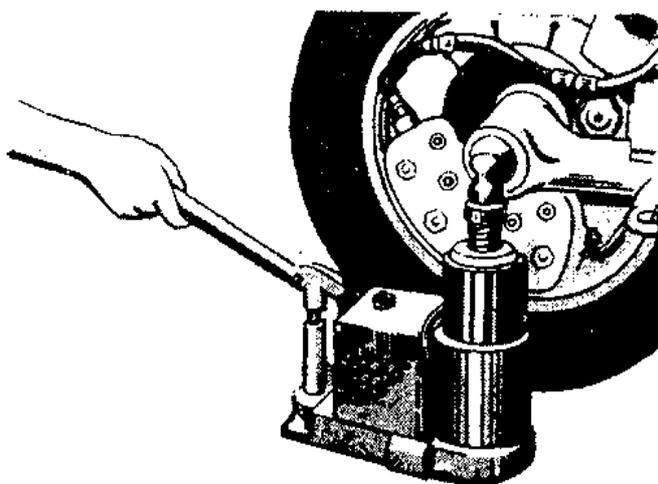
Antes de aliviar a pressão do macaco para o abaixamento da aeronave, nos certificamos de que todos os cavaletes, bancadas, equipamentos e pessoas estão fora do alcance da aeronave, que o trem de pouso esteja baixado e travado, e que todas as travas de solo estejam propriamente instalados.

Levantando apenas uma das rodas da aeronave

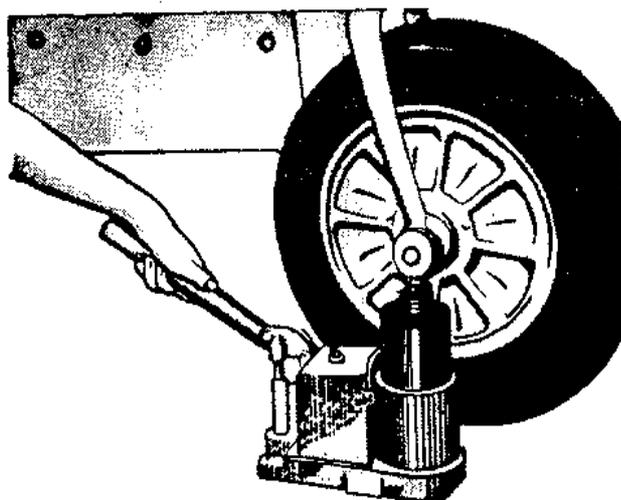
Quando apenas uma das rodas tiver que ser levantada para a troca de pneus ou lubrificação de rolamentos, um pequeno macaco de base simples deve ser usado. Antes que a roda seja levantada, as outras rodas deverão ser calçadas na frente e atrás, para evitar que a aeronave se movimente.

Se a aeronave for equipada com bequilha (roda de cauda), ela deverá ser travada. A roda deverá ser suspensa somente o bastante para livrar a superfície do concreto.

A figura 11-39 mostra uma roda sendo levantada pelo uso de um macaco de base simples.



Levantamento da roda da perna de força principal



Levantamento da roda do nariz

Figura 11-39 Levantamento apenas de uma roda.

SUGESTÃO SOBRE TEMPO FRIO

Quando uma aeronave tiver que ser exposta a uma temperatura extremamente fria, por algum espaço de tempo, cuidados extras deverão ser tomados para que a aeronave esteja preparada para o inverno. Todas as capas dos motores, entradas do sistema de ar condicionado, aberturas do sistema estático e do pitot, e entradas de ar por impacto deverão ser instaladas para evitar acúmulo de gelo e de neve. As coberturas de pequeno tamanho deverão ser marcadas de maneira bem visível, ou com faixas para que não sejam esquecidas no lugar e sejam removidas antes do voo.

Se a aeronave tiver que ser estacionada na neve ou no gelo, algumas vezes nessas condições, tempo e homens-horas podem ser economizados, com a aplicação de compostos anticongelantes de glicol, em torno das portas e dos painéis de acesso de abertura freqüente. O glicol pode ser aplicado nas superfícies sob camada de neve, para evitar que a camada congele sobre a superfície. Ele pode também ser usado com muita eficácia nas superfícies da asa ou da empenagem, evitando elas próprias a formação de gelo. Porém se a neve for esperada, a aplicação do composto nas superfícies expostas é raramente usada, porque a lama de neve que se forma será mais problemática do que a neve seca.

Outra coisa que pode economizar tempo é estacionar a aeronave com as rodas sobre pranchas de madeira, do que sobre o gelo ou neve acumulada; ou ainda, quando geadas ou lama de neve são esperadas, com a possibilidade de congelar o pneu ao solo. A areia pode ser usada para essa finalidade, mas deverá ser limitada à área das rodas, e não distribuída em locais onde ela poderá ser sugada pelos motores na partida.

Os flaps e os freios aerodinâmicos deverão ser recolhidos. Aeronave com estabilizador horizontal móvel, deverá ser estacionada com o comando acionado para a posição próxima de zero. Todo o sistema de água e lixo deverá ser drenado ou, quando aplicável, ser abastecido com uma solução anticongelante.

Se uma aeronave tiver que ser estacionada por um longo período de tempo, uma janela deverá ser mantida parcialmente aberta para permitir a circulação de ar na parte interna, e auxiliando a não formação de geadas nas janelas. O melhor meio de remover a neve é varrendo,

tanto quanto possível. Um outro método é jogar uma corda sobre a fuselagem e arrastá-la, removendo a neve. Uma escova ou vassoura podem ser usadas nas superfícies da asa e da empenagem. Cuidados deverão ser tomados, para não danificar os geradores de vortex nas aeronaves que os possuem.

Uma certa quantidade de neve pode congelar na superfície da aeronave, tornando difícil a sua remoção. É importante que todas as superfícies estejam inteiramente livres do gelo antes da decolagem.

Na maioria das casas comerciais especializadas são encontrados equipamentos vaporizadores, para aplicação de líquidos de degelo, os quais são usualmente dissolvidos na água e algumas vezes aquecidos. Compactos anticongelantes de glicol são frequentemente identificados por números de especificação militar, tendo sido materialmente melhorado. O composto recomendado para uso comercial é o MIL-A-8243A. Este é o etileno glicol e propileno glicol na proporção de 3 para 1, com a adição de um agente inibidor da corrosão; ele é pouco tóxico, não causa danos aos metais da aeronave, e não causa efeito algum à maioria dos plásticos, pintura ou borracha.

Se ar quente for usado para o degelo, particularmente de uma unidade de solo para partida, as áreas de revestimento não deverão ser superaquecidas. Um grande fluxo de ar quente é mais eficaz do que um jato de ar quente. Qualquer temperatura abaixo do ponto de ebulição da água é aceitável.

A última camada de gelo ou neve deverá ser derretida da fuselagem, ou do bordo de ataque das asas, pelo aquecimento interno, oriundo de fontes de solo, porque a água, escorrendo e sendo recongelada, provavelmente será mais difícil de ser removida outra vez.

Qualquer que seja o método de degelo inspecionamos as áreas dos mecanismos do bordo de fuga das asas e da empenagem, para nos certificarmos de que a água ou lama não tenha escorrido e penetrado nas aberturas para recongelar-se.

Quando as condições exigirem, um pré-aquecimento deverá ser usado nas seguintes seções ou partes da aeronave: seção de acessórios, seção do nariz, válvula dreno em "Y", todas as linhas de óleo, tanque de óleo, motores de partida, instrumentos, pneus, cabines e compensadores do profundor.

Todas as válvulas dreno, tanques de óleo, drenos de óleo, filtros de combustível, linhas de suspiro, e todas as dobradiças e superfícies dos controles principais e auxiliares, deverão ser checadas quanto a existência de gelo ou neve endurecida. Verificamos inteiramente todos os equipamentos de degelo para assegurar-se de sua operação adequada. Os tanques de álcool devem ser checados quanto ao nível apropriado do álcool degelador.

O uso de um aquecedor externo é permissível em temperaturas abaixo de 0° C, para o aquecimento do óleo e dos motores. Se não houver um aquecedor disponível para o aquecimento do óleo, ele deverá ser drenado, aquecido, e colocado de volta no sistema.

Quando girando um motor convencional em tempo frio, experimentamos dar a primeira partida, tentando evitar a formação de gelo nas velas de ignição. Se o gelo tiver sido formado, removemos a vela de ignição, aquecendo-a e reinstalando-a.

No tempo extremamente frio, o gelo pode formar-se nas hélices, enquanto o motor estiver sendo aquecido. Usando o degelador da hélice (se disponível), durante o aquecimento do motor, eliminará esta condição.

O motor a turbina deverá ser mais fácil de dar partida, em temperatura adversa, do que a média dos motores a pistão. Os motores a turbina não necessitam diluição de óleo, escorva de combustível, ou um longo aquecimento.

Os rotores do compressor de um motor a turbina deverão ser checados quanto a formação interna de gelo. Isso é particularmente necessário quando um motor tiver sido cortado durante condição de chuva ou neve.

Precisamos de muito cuidado ao girarmos um motor, se existir uma condição de gelo. Com o pavimento congelado os calços deslizarão facilmente, e se a aeronave, começar a se mover, será difícil pará-la.

Após o vôo, o óleo deve ser diluído antes do corte, nos motores convencionais que

forem equipados com sistema diluidor, se a temperatura estiver próxima ou abaixo do ponto de congelamento, antes ou na hora da próxima partida. Quando for necessário diluir o óleo, consultamos as instruções do fabricante para àquela aeronave. Essas instruções deverão ser estritamente seguidas; caso contrário, o motor poderá ser danificado.

Quando reabastecendo a aeronave, os tanques deverão ser deixados cerca de 3 a 5 por cento abaixo da capacidade máxima. Isso é para permitir a expansão, caso a aeronave seja removida para o hangar, antes do próximo vôo. O combustível se expande aproximadamente 1 por cento para cada aumento de 10° C de temperatura.

Se os tanques forem reabastecidos para o nível normal, a uma temperatura aproximada de 0° a 10° C, e depois a aeronave for removida para o hangar aquecido (20° C) a expansão resultante transbordará os tanques, causando um perigo de incêndio.

Os pneus deverão ser inflados para a carga padrão, sem considerar a possibilidade de aumento na pressão sob condições mais quentes. A pressão mais baixa que o padrão, rapidamente causará superaquecimento, que poderá resultar em um dano maior para o pneu, e maior possibilidade de estouro, do que se estivesse com um pouco mais de pressão que o padrão.

Se um pneu estiver colado ao solo pelo congelamento, ele deverá ser liberado com ar ou água quente e movimentado antes do recongelamento.

É muito fácil exceder-se o limite de carga na roda do nariz, quando rebocando a aeronave sobre a neve ou a lama.

Se tiver que ser rebocada nestas condições, a aeronave deve ser puxada por cabos fixados às pernas de força principais do trem de pouso.

A bateria da aeronave não deverá requerer atenção especial, que não seja o serviço normal de rotina.

FERRAMENTAS MANUAIS E DE MEDIÇÃO

INTRODUÇÃO

Este capítulo contém informações sobre algumas ferramentas manuais usadas por um mecânico de aviação. Este é um esboço dos conhecimentos básicos necessário ao uso das ferramentas manuais e de medição mais comuns, usadas no reparo de aeronaves. Esta informação, no entanto, não pode substituir um julgamento correto por parte do indivíduo. Há muitos casos em que a habilidade e o desembaraço podem superar as regras básicas. Um conhecimento dessas regras e, em que situações elas se aplicam é necessário. O uso das ferramentas pode variar, mas as boas práticas de segurança, cuidado e estocagem das ferramentas permanecem as mesmas.

FERRAMENTAS DE USO GERAL

Martelos e macetes

A figura 12-1 apresenta alguns dos martelos que o mecânico de aviação pode ter necessidade de usar. Martelos de cabeça metálica têm suas medidas de acordo com o peso da cabeça sem o cabo.

Ocasionalmente será necessário usar um martelo de face macia, o qual tenha uma superfície feita de madeira, latão, chumbo, couro cru, borracha dura ou plástico.

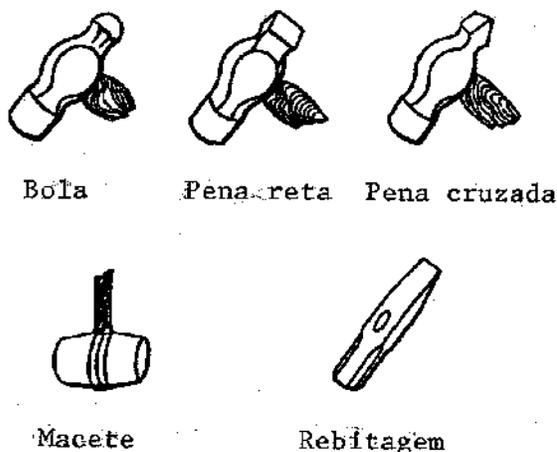


Figura 12-1 Martelos.

Esses martelos devem ser utilizados apenas nos trabalhos em metais macios e, para bater em superfícies que facilmente se danificam. Os martelos macios não devem ser usados em trabalhos grosseiros. Bater em cabeças de punções, parafusos ou cantos vivos, rapidamente arruinarão este tipo de martelo.

O macete é uma ferramenta semelhante ao martelo com a cabeça feita de madeira (Nogueira), couro cru ou borracha. Ele é manejado para formar partes delgadas de metal sem deixar mossas. Usamos sempre um macete de madeira quando tivermos que bater em um formão ou goiva.

Quando usando um martelo ou um macete, aquele que melhor atende ao trabalho é escolhido. É preciso que o cabo esteja firme. Quando damos uma pancada com o martelo, usamos o antebraço como se fosse uma extensão do cabo. Quando utilizamos um martelo, dobramos o cotovelo e não apenas o pulso, usando totalmente a face do martelo.

É bom manter as faces do martelo e do macete sempre lisas, e sem dentes para evitar que o trabalho se danifique.

Chaves de fenda

A chave de fenda pode ser classificada pelo seu formato, tipo e comprimento da haste. Elas são feitas apenas para uma finalidade, apertar e afrouxar parafusos. A figura 12-2 mostra diferentes tipos de chaves de fenda. Quando se usa uma chave de fenda comum, a maior chave cuja haste dará uma boa fixação no parafuso, que deverá ser girado, é selecionada.

Uma chave de fenda comum deve preencher pelo menos 75% da fenda do parafuso. Se a chave de fenda for de tamanho incorreto, cortará e deixará rebarbas na fenda do parafuso, inutilizando-o. Uma chave de fenda de medida incorreta poderá deslizar e danificar peças adjacentes da estrutura.

A chave de fenda comum é usada somente onde existirem na aeronave, prendedores ou parafusos com fenda na cabeça. Um exemplo de prendedor que requer o uso de uma

chave de fenda comum é o *Airloch*, que é usado para prender as carenagens dos motores de algumas aeronaves.

Os dois tipos de parafusos com encaixe na cabeça de uso mais comum são: o Phillips e o *Reed and Prince*. Tanto o encaixe Phillips como o *Reed and Prince* são opcionais nas cabeças dos parafusos.

Como mostra a figura 12-2, o encaixe Reed and Prince forma uma perfeita cruz na cabeça do parafuso. A chave de fenda usada com este parafuso tem a ponta aguçada. Como o parafuso com encaixe Phillips tem o centro da cruz mais largo, a chave de fenda Phillips tem a ponta rombuda. As duas chaves de fenda não são intercambiáveis. O uso de uma chave de fenda do tipo errado resultará em mutilação da ferramenta ou do encaixe da cabeça do parafuso.

Quando girando um parafuso com encaixe na cabeça, usamos somente a ferramenta apropriada e de medida correta.

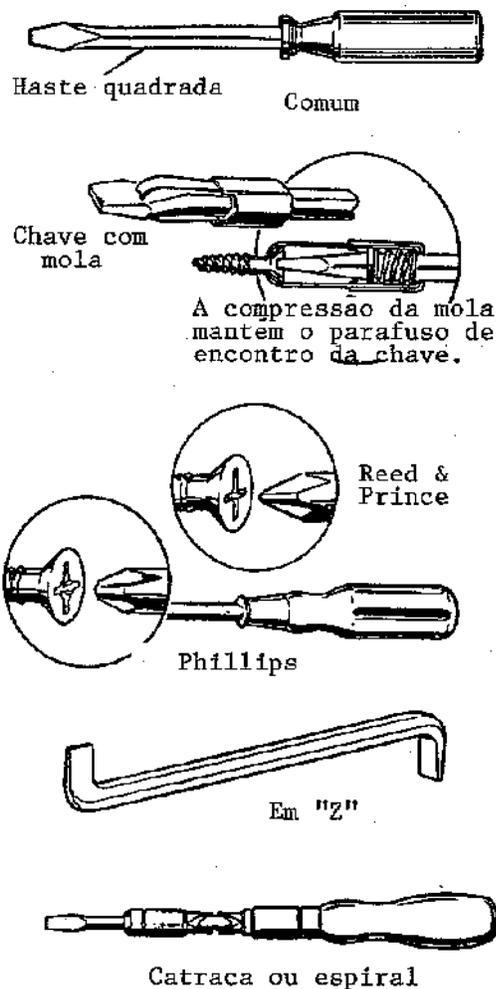


Figura 12-2 Chaves de Fenda.

Quando o espaço vertical for limitado pode-se usar uma chave de fenda em "Z". As chaves de fenda em "Z" são construídas com ambas as pontas dobradas a 90° da haste. Pelo uso alternado de cada uma das pontas, a maioria dos parafusos podem ser apertados ou afrouxados, sempre que o espaço para o giro for limitado. As chaves de fenda em "Z" são feitas tanto para os parafusos de fenda comuns como para os de encaixe em cruz.

Uma chave de fenda não deverá ser usada como alavanca ou ferramenta de corte. Não use uma chave de fenda para testar um circuito elétrico, porque o arco elétrico queimará a ponta, inutilizando-a. Em alguns casos, o arco elétrico poderá fundir a haste da chave na unidade que está sendo testada.

Quando se usa uma chave de fenda em uma peça pequena, mantemos sempre a peça presa na morsa ou apoiada na bancada. Não mantemos a peça nas mãos porque a chave de fenda poderá deslizar e causar sérios danos pessoais.

A chave de fenda de catraca ou espiral é de ação rápida, e gira o parafuso quando o punho é empurrado para baixo e depois puxado para cima. Ela pode ser selecionada para girar o parafuso tanto no sentido de apertar como no de afrouxar e, pode também ser travada, e ser usada como uma chave de fenda comum. A chave de fenda de catraca não é própria para serviços pesados e deverá ser usada apenas em trabalhos mais leves. Um aviso: quando usando uma chave de fenda de catraca ou espiral, extremo cuidado deverá ser tomado para manter uma pressão constante e evitar o deslizamento da chave na fenda do parafuso. Se isto ocorrer a região em volta estará sujeita a danos.

Alicates

Existem vários tipos de alicates, mas os mais usados em trabalhos de reparos de aeronaves são: diagonal, ajustável, de ponta e bico de pato. O tamanho dos alicates é determinado pelo seu comprimento total, usualmente entre 5 e 12 polegadas.

O alicate ajustável combinado de 6 polegadas é o tamanho preferido para o uso em trabalhos de reparo. Ele permite uma grande abertura dos mordentes, deslizando no eixo, para agarrar objetos de grandes diâmetros. Os

alicates combinados são encontrados nos tamanhos de 5 a 10 polegadas. Os melhores da série, são de aço forjado.

Os alicates de bico chato são os mais adequados para fazer flanges. Os mordentes são quadrados, bastante compridos e, usualmente, bem ranhurados, e a sua articulação é firme. Estas são características que permitem fazer curvas perfeitas e agudas.

Os alicates de bico redondo são usados para torcer o metal. Eles não foram feitos para trabalhos pesados porque demasiada pressão torcerá as pontas, as quais muitas vezes são envolvidas para evitar marcar o metal.

Os alicates de ponta fina têm os mordentes redondos até a metade e, de vários comprimentos. Eles são usados para segurar objetos ou fazer ajustes em lugares de espaço reduzido.

Os alicates de bico de pato, assemelham-se ao bico de um pato por ter os mordentes finos, chatos e com o formato de bicos de pato.

Eles são usados exclusivamente para executar frenagens com arame.

Os alicates gasistas, bico de papagaio ou para bomba de água, são alicates ajustáveis, com o eixo deslizante e os mordentes em ângulo com os punhos.

O tipo mais popular tem a junta deslizante canelada dando-lhe o nome de trava canelada. Estes alicates são usados para apertar porcas serrilhadas do sistema elétrico, tubos e inúmeras partes.

Os alicates em diagonal são usualmente chamados de "diagonal" e possuem mordentes curtos com lâminas de corte, formando um pequeno ângulo com o punho.

Esta ferramenta pode ser usada para cortar arames, fios, rebites, pequenos parafusos e contrapinos, sendo, além disso, praticamente indispensável para instalação e remoção de frenagens com arame.

Duas regras importantes para o uso de alicates:

1 - Não utilizar alicates em trabalhos que excedam sua capacidade. Os alicates de bico longo são especialmente delicados; muito fáceis de torcer ou quebrar, ou mesmo fazer mossas nas bordas. Se isto ocorrer, estarão praticamente inúteis.

2 - Não usar alicates para girar porcas. Em poucos segundos, um alicate pode danificar uma porca muito mais do que vários anos de serviço.

Punções

Os punções são usados para marcar centros de desenhos de círculos, iniciar pontos de furação, para abrir furos em chapas de metal, para transferir localização de furos em gabaritos e para remover rebites, pinos ou parafusos.

Sólidos ou ocos são os dois tipos geralmente usados. Os sólidos são classificados de acordo com o formato de suas pontas. A figura 12-3 apresenta os diversos tipos de punção.

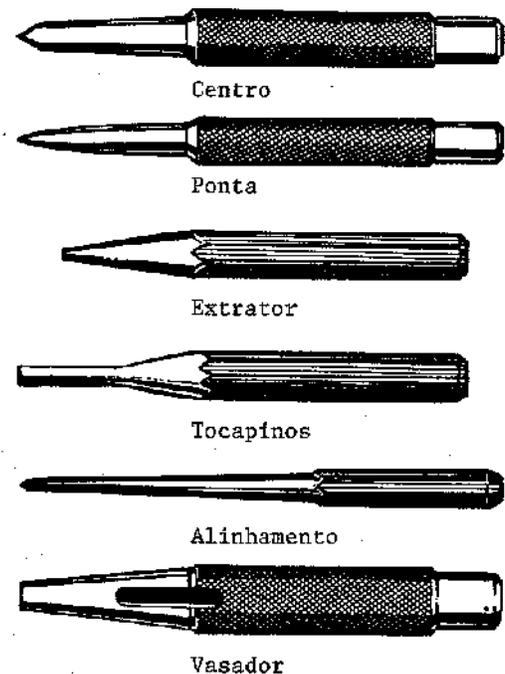


Figura 12-3 Punções.

O punção de bico é usado para fazer marcas de referência no metal. Esse punção é usado muitas vezes para transferir medidas de um desenho no papel diretamente para o metal. Para fazer isto, inicialmente colocamos o papel como modelo diretamente sobre o metal. Então, acompanhando a linha externa do desenho com o punção de ponta, batendo suavemente com um pequeno martelo, fazemos pequenas marcações no metal, nos pontos mais exteriores do desenho. Essas marcações poderão ser usadas como referências para o corte do metal. Um punção de ponta nunca deverá ser golpeado fortemente com um martelo, porque ele poderá

envergar ou causar grandes danos ao material que está sendo trabalhado.

Profundas marcações no metal, que são necessárias para o início de uma furação, são feitas com o punção de centro. Ele nunca deverá ser martelado com demasiada força, para não afundar o material que circunda a marcação, ou ocasionar uma protuberância no outro lado da chapa de metal. O punção de centro tem um corpo mais pesado do que o punção de bico e a ponta é afiada com um ângulo de aproximadamente 60°.

O punção extrator, que também é chamado de punção cônico, é usado para extrair rebites danificados, pinos e parafusos que algumas vezes ficam presos em orifícios. O punção extrator é feito com uma face plana no lugar da ponta. A medida do punção é determinada pela largura da face, que é usualmente de 1/8 a 1/4 de polegada.

O punção para pinos, também chamado de "tocapinos", é semelhante ao punção extrator e tem a mesma finalidade. A diferença entre os dois é que o punção extrator tem os lados cônicos em direção à face, enquanto o tocapinos tem a haste paralela. Os tocapinos são medidos pelo diâmetro da face, em 1/32 de polegada, variando este diâmetro de 1/16 a 3/8 de polegada.

Na prática geral, um pino ou parafuso, que tenha que ser removido, é usualmente através de um punção extrator, até que os lados dele toquem a borda do orifício. O tocapino é então usado para completar a remoção do pino ou parafuso do orifício. Em pinos difíceis de serem removidos, o início da remoção pode ser feito com um pedaço fino de cobre, latão ou alumínio de sucata, colocado diretamente de encontro ao pino e, então, bate-se com um martelo até que o pino comece a mover-se.

Nunca se deve usar um punção de bico ou de centro para remover objetos de orifícios, porque a ponta do punção dilatará o objeto, dificultando a sua remoção cada vez mais.

O punção de transferência tem, normalmente 4 polegadas de comprimento. É um tipo especial usado para marcar orifícios para rebites quando um gabarito é usado para a traçagem de um revestimento novo. O diâmetro da espiga do punção é igual ao furo para o rebite e na face da extremidade, existe uma pequenina ponta no centro exato. O metal é puncionado através do furo do gabarito para

que o metal novo seja posteriormente furado no local adequado.

O punção automático é o tipo mais conveniente quando existe um grande número de furos a serem localizados com precisão. A ponta do punção é colocada no local exato do furo e o seu cabo é pressionado manualmente para baixo. Uma mola é comprimida e, ao final do seu curso, ela é liberada repentinamente, dando um golpe na ponta e marcando o metal. A força do golpe pode ser ajustada, apertando-se a extremidade roscada do punção.

Chaves

As chaves que são usadas com mais freqüência em manutenção de aeronaves são classificadas como: chaves de boca, chaves de caixa, colar ou estrela, chaves soquetes, chaves ajustáveis e chaves especiais. A chave Allen, embora seja usada, raramente é necessária em um tipo especial de cabeça de parafuso. Um dos metais amplamente usados na fabricação destas ferramentas é o aço cromo-vanádio. As chaves feitas com este metal são consideradas inquebráveis.

As chaves sólidas, não ajustáveis com a abertura paralela em um ou ambos os lados, são conhecidas como chaves de boca. Essas chaves podem ter suas aberturas paralelas com o punho, ou formando um ângulo de 90°; a maior parte delas tem um ângulo de 15°.

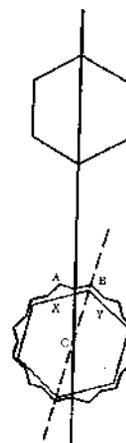


Figura 12-4 Uso da chave colar.

Basicamente as chaves são destinadas a fixar ou a afrouxar porcas, cabeças de parafusos ou outros objetos que permitam que elas exerçam a ação de girar.

As chaves de colar são ferramentas muito utilizadas por causa da sua vantagem em lugares estreitos. Elas são chamadas de caixa ou colar porque envolvem completamente a porca ou a cabeça do parafuso. Praticamente todas as chaves colar são feitas com 12 pontos para que possam ser usadas em lugares que só permitem um deslocamento de 15°.

Embora a chave colar seja ideal para afrouxar ou apertar porcas, muito tempo é perdido girando a porca no parafuso após aliviar o aperto. Somente quando existir suficiente espaço para um círculo completo da chave, este vagaroso processo será evitado.

Após o aperto da porca ter sido aliviado, ela poderá ser completamente removida, mais rapidamente com uma chave de boca do que com uma de colar. Neste caso, a chave combinada é a ideal, porque possui em uma das pontas uma chave colar e na outra, uma de boca, sendo ambas da mesma medida. A figura 12-5 mostra uma chave colar e uma combinada.

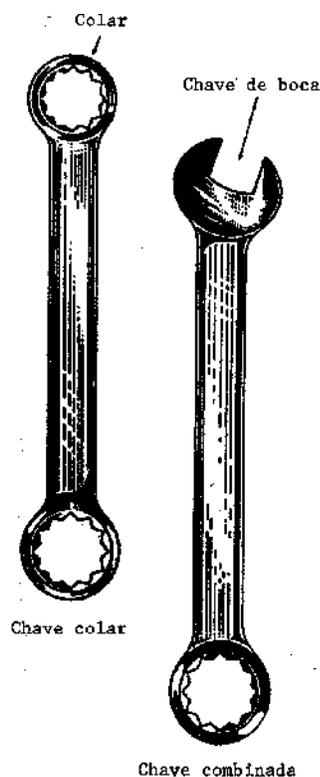


Figura 12-5 Chave colar e combinada colar e boca.

A chave soquete é feita em duas partes: 1) Soquete, que é a parte colocada sobre a porca ou a cabeça do parafuso, e 2) Punho, que é encaixado na soquete. Muitos tipos de punhos,

extensões e uniões são disponíveis para tornar possível o uso da chave soquete em quase todas as localizações ou posições. As soquetes são feitas, tanto com o punho fixo, como destacável. Chaves soquete com o punho fixo são usualmente fornecidas como um acessório para uma máquina. Elas têm encaixe de quatro, seis ou doze pontos para fixar uma porca ou cabeça de parafuso que necessite uma exata adaptação.

Soquetes com punhos destacáveis normalmente vêm em conjuntos com vários tipos de cabos como o "T", catraca, encaixe de chave de fenda e arco de velocidade. Os cabos de chave soquete têm um encaixe quadrado em uma das pontas, para embutir no encaixe da soquete. As duas partes são mantidas juntas por uma pequena esfera sob ação de mola. Dois tipos de soquetes, um conjunto de cabos e uma barra de extensão são mostrados na figura 12-6.

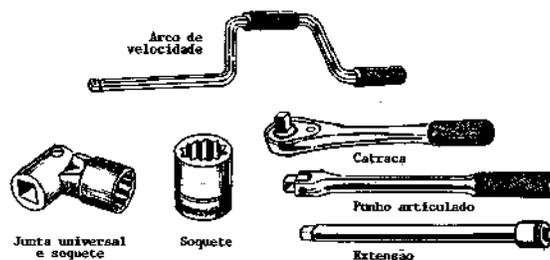


Figura 12-6 Conjunto de chaves e soquetes.

A chave ajustável é uma ferramenta de utilização manual que possui mordentes lisos e é utilizada como uma chave de boca. Um mordente é fixo, mas o outro pode ser movimentado por um sem-fim, em um setor dentado no punho. A abertura dos mordentes pode variar de zero a 1/2 polegada ou mais. O ângulo de abertura do punho é de 22 1/2° em uma chave ajustável, e ela pode executar o trabalho de várias chaves de boca. Embora versátil, ela não é destinada a substituir as chaves de boca, colar ou soquete padronizadas. Quando usando qualquer chave ajustável, a força de tração no lado do punho, que tem o mordente fixo da chave, é sempre exercida.

Chaves especiais

A categoria de chaves especiais inclui a chave de gancho, o torquímetro e a chave allen. A chave de gancho é para uma porca redonda com uma série de entalhes cortados no bordo

exterior. Essa chave consiste de um cabo, com uma parte em arco e um gancho na extremidade, o qual é encaixado no entalhe da porca. Quando o gancho estiver encaixado no entalhe da porca, o punho da chave deverá estar indicando a direção em que a porca deverá ser virada.

Algumas chaves de gancho são ajustáveis para fixar em porcas de vários diâmetros. A chave de gancho em forma de "U" tem dois ganchos na face da chave para adaptarem-se aos entalhes da face da porca ou plugue.

A extremidade das chaves de gancho assemelha-se a uma chave soquete, mas tem uma série de ressalto que encaixam nos correspondentes entalhes de uma porca ou de um plugue.

As chaves de pino têm um pino no lugar de um ressalto, e este pino encaixa-se em um orifício circular na borda de uma porca.

Existem ainda as chaves de gancho e chave de pino para face, que são semelhantes à chave em "U", com a diferença de que elas têm os pinos colocados em plano vertical com relação ao cabo e não no mesmo plano.

Existem ocasiões em que uma determinada pressão deve ser aplicada em uma porca ou parafuso.

Nestes casos uma chave de torque, ou torquímetro, deve ser usada. A chave de torque é uma ferramenta de precisão consistindo de um punho com indicador de torque e adaptadores apropriados.

Ele mede a quantidade de força de torção ou de giro a ser aplicada em uma porca ou parafuso.

Os três tipos mais comuns de chaves de torque ou torquímetro são: barra flexível, estrutura rígida e o de catraca.

Quando usando o de barra flexível ou o de estrutura rígida (com instrumento indicador), o torque é lido visualmente na escala ou no indicador, montados no punho da chave. O torquímetro de catraca deve ser ajustado para o valor de torque desejado e, quando, este torque é alcançado, um repentino impulso é sentido, avisando ao operador.

Antes de cada uso, a chave de torque deverá ser visualmente inspecionada quanto a danos.

Se houver um ponteiro torcido, quebrado, ou o vidro quebrado (no do tipo com instrumento), ou forem encontrados sinais de uso

inadequado, a chave deverá ser testada. As chaves de torque devem ser testadas em intervalos periódicos para nos assegurarmos da exatidão.

A maioria dos parafusos sem cabeça são do tipo Allen e, devem ser instalados e removidos com uma chave Allen. Elas são barras hexagonais com a forma de um "L"; têm as medidas entre 3/64 a 1/2 polegada e são introduzidas no encaixe hexagonal daqueles tipos de parafusos.

FERRAMENTAS DE CORTAR METAL

Tesouras manuais

Existem muitos tipos de tesouras manuais, e cada um tipo executa um trabalho diferente. Tesouras retas, curvas, bico de falcão e de aviação, são as mais comuns em uso (ver figura 12-7).

Tesouras retas são usadas para cortar em linha reta, quando a distância não for grande o suficiente para utilizar uma guilhotina, e para cortar a parte externa de uma curva. Os outros tipos são usados para cortar a parte interna de uma curva ou raios. As tesouras nunca devem ser usadas para cortar chapas de metal muito duro.

As tesouras de aviação são designadas especialmente para cortar ligas de alumínio tratadas a quente e aço inoxidável.

Elas são também adaptáveis para alargar pequenos furos. As lâminas têm pequenos dentes na face de corte e são fabricadas para cortar círculos bem pequenos e linhas irregulares.

Os punhos são componentes de uma alavanca, que fazem quando possível o corte em materiais com espessura de 0,051 de polegada. As tesouras de aviação são encontradas em dois tipos, aquelas que cortam da direita para a esquerda e as que cortam da esquerda para a direita.

Ao contrário das serras, a tesoura não remove qualquer material quando o corte é feito, mas diminutas fraturas muitas vezes ocorrem ao longo do corte.

Portanto, cortes deverão ser feitos a 1/32 de polegada, afastados da linha marcada, e o acabamento deve ser feito com uma lima de mão até a linha marcada.

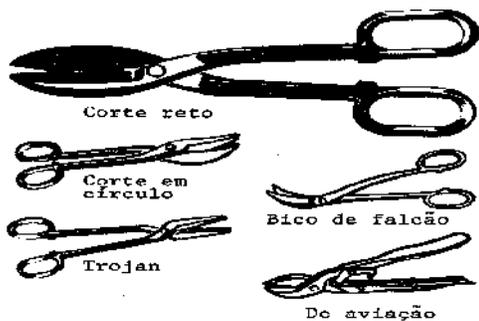


Figura 12-7 Tesouras.

Arcos de serra

O arco de serra comum tem uma lâmina, um arco e um punho. O punho pode ser encontrado em dois estilos, o cabo tipo de pistola e o cabo reto (ver a figura 12-8).

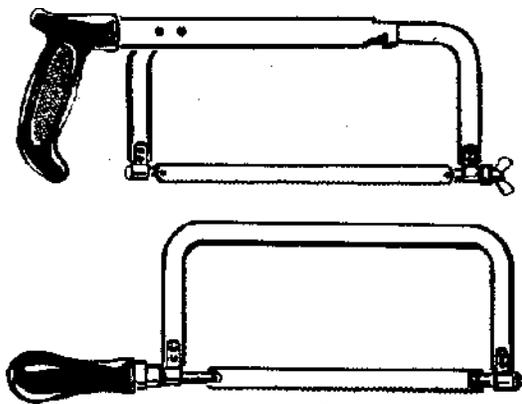


Figura 12-8 Arcos de Serra.

As lâminas de serra têm orifícios em ambas extremidades e são montadas em pinos presos ao arco. Quando instalamos uma lâmina de serra em um arco, colocamos a serra com os dentes apontando para frente, partindo do punho.

As lâminas são feitas, de aço de alto teor ou de aço tungstênio, e são encontradas em tamanhos que variam de 15 a 40 centímetros (6 a 16 polegadas) de comprimento. A lâmina de 25 centímetros (10 polegadas) é a mais comum. Existem dois tipos de lâminas, a dura e a flexível. Na flexível, apenas os dentes são endurecidos. A seleção da melhor lâmina de serra para a execução de um trabalho envolve encontrar o tipo correto e o passo. Uma lâmina dura é mais adequada para serrar latão, aço de ferramentas, ferro fundido e materiais de seção sólida. Uma lâmina de serra flexível é mais adequada para serrar peças ocas e metais de seção delgada.

O passo de uma lâmina de serra indica o número de dentes por polegada. Passos de 14, 18, 24 e 32 dentes por polegada são os mais utilizados.

Uma lâmina com 14 dentes por polegada é indicada para serrar aço de máquina, aço laminado ou aço estrutural.

Uma lâmina com 18 dentes por polegada é indicada para serrar barras sólidas de alumínio, bronze, aço de ferramentas e ferro fundido. Usamos uma lâmina com 24 dentes por polegada para serrar perfis finos de tubulações e chapas de metal.

Quando usando um arco de serra, procedimentos observados são os seguintes:

- 1 - Selecionar a lâmina de serra apropriada para o serviço.
- 2 - Instalar a lâmina no arco de maneira, em que a parte cortante dos dentes apontem para frente, partindo do cabo.
- 3 - Ajustar a tensão da lâmina no arco para evitar que entorte e desalinhe.
- 4 - Prender o trabalho na morsa, de tal maneira, que proporcione a maior superfície de apoio possível; e utilizar a mais adequada quantidade de dentes.
- 5 - Indicar o ponto de partida, fazendo um pequeno sulco, na borda da superfície, com a quina de uma lima para quebrar o corte da aresta que poderia danificar os dentes. Esta marca também auxiliará a serra no caminho certo.
- 6 - Manter a serra em um ângulo que permita manter os últimos dois dentes em contato com o trabalho todo o tempo. Depois, começar o corte com um leve e firme impulso para frente, exatamente na parte externa da linha de corte. Ao final do curso, aliviar a pressão e puxar a serra para trás (o corte é feito no impulso para frente).
- 7 - Após os primeiros impulsos, fazer cada movimento o mais longo que a serra permitir. Isto evitará que a serra superaqueça. Aplicar a pressão necessária ao corte somente no impulso para frente, para que cada dente remova uma pequena quantidade de metal. Os impulsos deverão ser longos e constantes e, com uma velocidade não maior do que 40 a 50 golpes por minuto.
- 8 - Após completar o corte, remover as limalhas da lâmina, aliviar a tensão da lâmina, e colocar o arco de serra no seu devido lugar.

Talhadeiras

Talhadeiras são ferramentas de corte feitas de aço duro, e que podem ser usadas para cortar e desbastar qualquer metal mais macio do que elas próprias. Elas podem ser usadas em áreas restritas, e em trabalhos, como cortar rebites ou retirar porcas presas ou danificadas de parafusos (ver figura 12-9).

A medida de uma talhadeira laminada a frio é determinada pela largura da parte cortante. O comprimento pode variar, mas raramente são encontradas talhadeiras menores do que 12 centímetros (5 polegadas) ou maiores do que 20 centímetros (8 polegadas).

As talhadeiras normalmente são feitas de barras de aço com a forma octogonal, cuidadosamente endurecidas e temperadas. Como a parte cortante é ligeiramente convexa, a porção central absorve o maior impacto quando cortando e as extremidades menos resistentes são protegidas. O ângulo de corte deverá ser de 60° a 70° para uso geral, ou seja, para cortar arames ou fios, tiras de ferro, ou pequenas barras ou varas.

Quando usando uma talhadeira, devemos mantê-la firme com uma das mãos, enquanto que, com a outra mão, batemos na cabeça da talhadeira com um martelo de bola ou de pena.

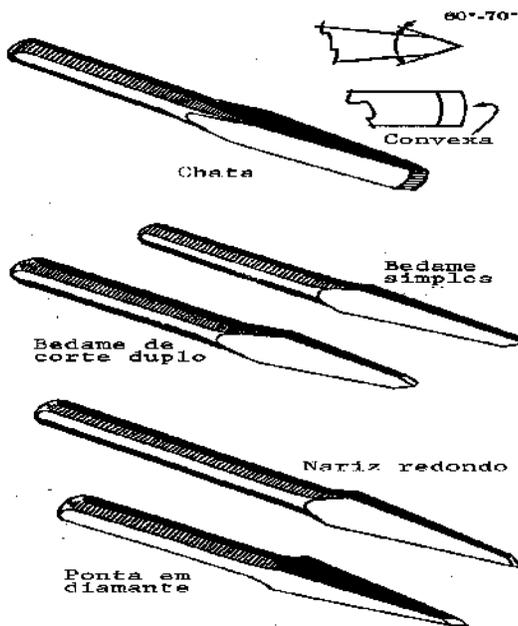


Figura 12-9 Talhadeiras.

Quando cortando cantos em esquadro ou ranhuras, deverá ser usada uma talhadeira especial, laminada a frio, chamada de bedame chato. Ela é semelhante à talhadeira chata, exceto na medida da área de corte, que é bem estreita. Ela tem o mesmo ângulo de corte e, é mantida e usada da mesma maneira que qualquer outra talhadeira.

Ranhuras redondas ou semicirculares e cantos arredondados deverão ser cortados com uma talhadeira de ponta arredondada. Esta talhadeira é também usada para recentrar uma broca que tenha saído do local previsto.

A talhadeira com ponta em diamante é cônica, de quatro faces até a ponta de corte, que é afiada em um ângulo que permite uma ponta aguda na forma diamante. Ela é usada para cortar ranhuras e ângulos internos agudos.

Limas

A maioria das limas é feita de aço de alto teor e são endurecidas e temperadas. As limas são fabricadas em uma grande variedade de formatos e tamanhos. Elas são identificadas tanto pela forma da seção reta, como pelo formato geral, ou ainda pelo uso em particular. O corte das limas deve ser considerado, quando selecionando-as para os vários tipos de trabalhos e de materiais.

As limas são usadas para extremidades em esquadro, limar arestas arredondadas, remover rebarbas e lascas de metais, retificar bordas irregulares, limar orifícios e ranhuras e alisar superfícies ásperas.

As limas têm três classificações distintas: 1) Seus comprimentos que são medidos excluindo a espiga, que é a parte da lima a ser fixada no cabo (ver figura 12-10); 2) Suas espécies ou nomes têm referência com a relativa grossura dos dentes; e 3) Seus cortes.

As limas são, usualmente, feitas em dois tipos de cortes, que são o corte simples e o duplo. A lima de corte simples tem uma fileira simples de dentes estendendo-se através da face em um ângulo de 65° a 85° com o seu comprimento. A medida do corte depende da grossura da lima. A lima de corte duplo tem duas fileiras de dentes que se cruzam. Para um trabalho comum, o ângulo da primeira fileira é de 40° a 45° , e esta fileira é geralmente chamada de (1º corte) "Overcut", enquanto a

segunda fileira como "Upcut"; esta é um pouco mais fina e não tão profunda quanto àquela.

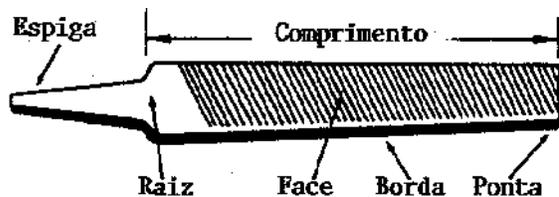


Figura 12-10 Lima de mão.

Uso das limas

Limas e grosas são catalogadas de três maneiras:

Comprimento - Medido da ponta para base do cabo. A espiga que entra no cabo nunca é incluída no comprimento.

Forma da seção reta - Refere-se a configuração física da lima (circular, retangular, triangular ou uma variação destas).

Corte - Refere-se tanto às características do dente, como à grossura; muito grossa, grossa e bastarda para o uso na classe de trabalho pesado e de corte médio; mursa e mursa fina, para trabalhos de acabamento.

Limas mais usadas (ver fig. 12-11)

Lima de mão - São limas paralelas na largura e adelgaçada na espessura. Elas têm uma das bordas laterais lisa, para permitir limar em cantos e em outros trabalhos, onde uma borda lisa é necessária. As limas de mão são de corte duplo e usadas principalmente para acabamento de superfícies planas e trabalhos semelhantes.

Limas chatas - Essas limas são ligeiramente adelgaçadas a partir da ponta, tanto na largura como na espessura. Elas cortam tão bem nas bordas quanto nos lados e são as mais utilizadas normalmente. As limas chatas têm duplo corte em ambos os lados e corte simples em ambas as bordas.

Limas MILL - Elas são ligeiramente adelgaçadas na espessura e na largura, por cerca de um terço do seu comprimento. Os dentes são normalmente de corte simples. Essas limas são usadas para acabamentos e para limar algumas partes de metais macios.

Limas quadradas - Essas limas podem ser adelgaçadas ou não, e são de corte duplo. Elas são usadas principalmente para limar ranhuras, encaixes de chavetas e para limar superfícies.

Limas redondas - Essas possuem a seção circular e podem ser afiladas ou rombudas, de corte simples ou duplo e são usadas, principalmente, para limar aberturas circulares ou superfícies côncavas.

Limas triangulares - Essas possuem a seção triangular, são de corte simples e são usadas para limar o espaço entre os dentes de serras ou serrotes. O limatão triangular, que possui corte duplo, pode ser usado para limar ângulos internos, limar fios de rosca e ferramentas de corte.

Lima meia-cana - Essa lima corta no lado plano e no lado curvo. Elas podem ter corte simples ou corte duplo. O seu formato permite que sejam usadas em locais impossíveis para outras limas.

Lima para chumbo - São limas especialmente fabricadas para o uso em metais moles. Elas são de corte simples e são feitas em vários tamanhos.

Lima retangular pontiaguda - Lima de seção retangular, adelgaçando-se até formar uma ponta estreita. Usada para espaços estreitos onde outras limas não podem ser usadas.

Lima faca - Seção em forma de faca. Usada para fazer ferramentas e moldes em trabalhos que tenham ângulos agudos.

Grosa - Tem a mesma seção de uma lima meia-cana. Tem dentes grossos e é especialmente, adaptável ao uso em madeira.

Limas Vixen (limas de dentes curvos) - São especialmente designadas para serviços rápidos de lima e acabamentos finos em metais macios e madeira.

O corte regular é adaptado para trabalhos duros em ferro fundido, aço macio, cobre, latão, alumínio, madeira, ardósia, mármore, fibra, borracha etc.

O corte fino dá excelentes resultados em aço, ferro fundido, bronze fosforoso, latão branco e todos os metais duros.

O corte fino é usado onde a quantidade de material a ser removido é bem pequena, mas onde é desejado um superior acabamento.

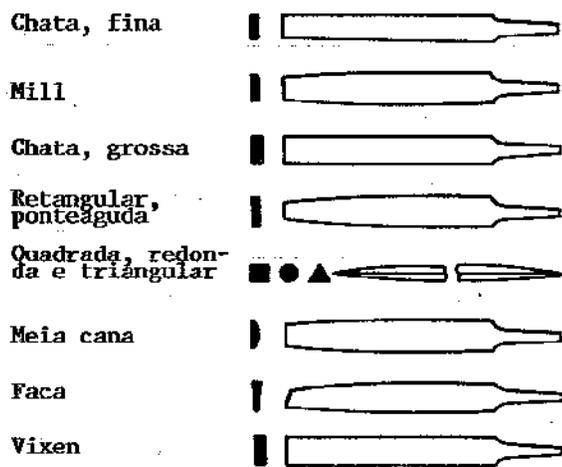


Figura 12-11 Tipos de Lima.

Os seguintes métodos são recomendados para o uso de limas:

1. Limagem reta - Antes de utilizar-se de uma lima, colocamos um cabo na espiga. Isto é essencial para direcionar a lima e trabalhar em segurança.

Ao movimentar a lima ao longo da peça ligeiramente na diagonal (normalmente chamado de limagem cruzada) seguramos o punho, de modo que a ponta fique de encontro à parte carnuda da palma da mão, e com o polegar apoiado ao longo de parte superior do cabo, na direção do comprimento.

A seguir, agarramos a outra ponta da lima com o polegar e com os outros dois primeiros dedos. Para evitar um inadequado desgaste, aliviemos a pressão durante o retorno da lima.

2. Limagem por arrasto - Uma lima é algumas vezes usada segurando-se em cada ponta, atravessada sobre o trabalho e movimentada no sentido do comprimento da peça.

Quando feito acertadamente, o trabalho poderá ter um acabamento bem mais fino do que usando a mesma lima em uma limagem reta. Na limagem por atrito, os dentes da lima produzem um efeito de cisalhamento.

Para executar esse efeito, o ângulo em que a lima deve ser mantida, com relação a sua linha de movimento, varia de acordo com os diferentes tipos de lima, dependendo do ângulo no qual o dente corta.

A pressão deverá ser aliviada durante o retorno do movimento da lima.

3. Quinas arredondadas - O método usado para limar superfícies arredondadas, varia com a largura e o ângulo da superfície. Se a superfície é estreita e somente uma porção dela é curva, começamos o primeiro golpe da lima com a ponta inclinada para baixo em um ângulo aproximado de 45°. Usando um movimento de cadeira de balanço, terminamos o golpe com a parte lisa da lima (próxima do cabo) próxima à superfície curva. Este método permite utilizar todo o comprimento da lima.

4. Removendo rebarbas ou bordas rachadas - Praticamente todas as operações de corte em chapas de metal produzem rebarbas ou pequenas rachaduras. Elas devem ser removidas para evitar danos pessoais, arranhões e avarias das partes a serem montadas. Rebarbas e rachaduras evitam a perfeita fixação de peças, e deverão sempre ser removidas do trabalho, como se fosse um hábito.

LIMAGEM NO TORNO

É uma operação em que a lima deve ser mantida de encontro a um trabalho que está girando em um torno.

A lima não deverá ser mantida rígida ou estacionária, mas em golpes constantes, com um leve deslizamento ou movimento lateral ao longo do trabalho.

Uma lima Mill, padrão, pode ser usada para esta operação, mas a lima de grande ângulo para torno oferece um corte bem melhor e uma ação de auto-limpeza. Usa-se uma lima com as bordas lisas para proteger o trabalho, que tenha parte lateral, de ser danificado.

Cuidados com as limas

Estas são algumas precauções que um bom mecânico deverá tomar ao lidar com suas limas:

1. Escolher a lima adequada ao material e ao trabalho a ser executado.
2. Manter as limas separadas umas das outras para não se danificarem.

3. Manter as limas em locais secos porque a ferrugem corroerá a ponta dos dentes.
4. Manter as limas limpas - bater com a ponta da lima contra a bancada depois de executar cada cinco golpes, para soltar e remover as limalhas. Usar a escova de limpar para mantê-las limpas - uma lima suja é uma lima que não corta.

Partículas de metal presas entre os dentes de uma lima podem provocar profundos arranhões no material que está sendo limado.

Quando essas partículas de metal estão depositadas muito firmemente entre os dentes e, não puderem ser removidas pelas batidas da ponta da lima na bancada, usar uma escova de limpar limas ou uma escova de arame (figura 12-12).

Escovamos a lima para que as cerdas da escova removam as limalhas dos espaços entre os dentes.

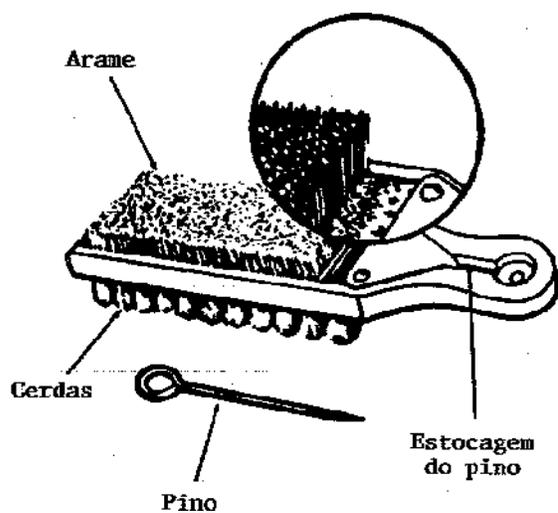


Figura 12-12 Escova para limas.

MÁQUINAS DE FURAR

Em aviação são usadas geralmente quatro tipos de máquinas portáteis de furar, para prender e fazer girar as brocas. Furos de 1/4 de polegada e abaixo do diâmetro podem ser feitos, usando-se a máquina manual pequena. Essa máquina é normalmente chamada de "batedeira de ovos".

Geralmente, a máquina manual maior é mais adequada para prender brocas maiores do que a máquina pequena.

Adicionando-se um apoio para o peito na máquina de furar manual maior, ele permitirá o uso do peso do corpo para aumentar a força de corte da broca. Máquinas de furar elétricas e pneumáticas são disponíveis em vários formatos e tamanhos para atender a maioria das necessidades.

As máquinas pneumáticas são as preferidas para o uso próximo a materiais inflamáveis, porque as centelhas provocadas pelas máquinas elétricas constituem um perigo de fogo ou explosão.

Brocas

A broca é uma ferramenta pontiaguda que é girada para executar furos nos materiais. Ela é feita de uma barra cilíndrica de aço endurecido tendo estrias em espiral (canais) em volta de todo o comprimento do corpo, e uma ponta cônica com arestas cortantes formadas pelo final das estrias.

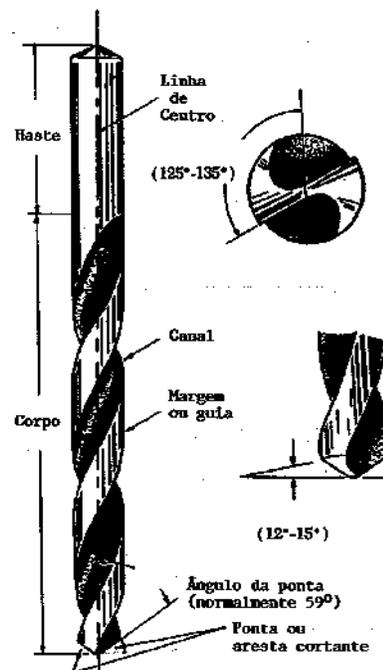


Figura 12-13 Nomenclatura de brocas.

A haste da broca é a ponta que será fixada ao mandril da máquina de furar manual, elétrica ou pneumática. Os dois formatos de haste mais usados em máquinas manuais são: a haste reta e a quadrada ou pua (figura 12-14).

A haste reta é geralmente usada nas máquinas de furar manuais (pequenas e grandes) e nas portáteis elétricas; a haste quadrada foi feita para ser usada em arcos de pua.

Hastes cônicas são geralmente usadas em máquinas de furar de de coluna ou de bancada.

A coluna de metal, formando a parte central da broca é o corpo. A área do corpo, logo depois da margem ou guia, tem o diâmetro ligeiramente menor do que ela (margem), para reduzir o atrito entre a broca e as laterais do furo

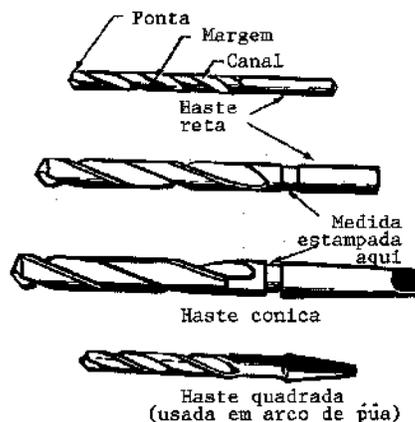


Figura 12-14 Brocas.

Milli metro	Dec. Equi. val.	Fra. çao	Nº	Milli metro	Dec. Equi. val.	Fra. çao	Nº	Milli metro	Dec. Equi. val.	Fra. çao	Nº	Milli metro	Dec. Equi. val.	Fra. çao	Nº	Milli metro	Dec. Equi. val.	Fra. çao	Nº	
.1	.0039			1.75	.0689				.1570		22	6.8	.2677			10.72	.4219	27/64		
.15	.0059			.....	.0700		50	4.0	.1575			6.9	.2718			11.0	.4330		
.2	.0079			1.8	.0709			.....	.1590		21	.....	.2720		I	11.11	.4375	7/16	
.25	.0098			1.85	.0728			.....	.1610		20	7.0	.2756			11.5	.4528		
.3	.0118			.....	.0730		49	4.1	.1614			.....	.2770		J	11.51	.4531	29/64	
.....	.0135		80	1.9	.0748			4.2	.1654			7.1	.2795			11.91	.4687	15/32		
.35	.0138			.....	.0760		48	.....	.1660		19	.....	.2811		K	12.0	.4724		
.....	.0145		79	1.95	.0767			4.25	.1673			7.14	.2812	9/32		12.30	.4843	31/64		
.39	.0156	1/64		1.98	.0781	5/64		4.3	.1693			7.2	.2835			12.5	.4921			
.4	.0157			.....	.0785		47	.....	.1695		18	7.25	.2854			12.7	.5000	1/2	
.....	.0160		78	2.0	.0787			4.37	.1719	11/64		7.3	.2874			13.0	.5118			
.45	.0177			2.05	.0807			.....	.1730		17	.....	.2900		L	13.10	.5156	33/64	
.....	.0180		77	.....	.0810		46	4.4	.1732			7.4	.2913			13.49	.5312	17/32	
.5	.0197			.....	.0820		45	.....	.1770		18	.....	.2950		M	13.5	.5315		
.....	.0200		76	2.1	.0827			4.5	.1771			7.5	.2953			13.89	.5489	35/64		
.....	.0210		75	2.15	.0846			.....	.1800		15	7.54	.2968	19/64		14.0	.5512		
.55	.0217			.....	.0860		44	4.6	.1811			7.6	.2992			14.29	.5625	9/16	
.....	.0225		74	2.2	.0868			.....	.1820		14	.....	.3020		N	14.5	.5709		
.6	.0236			2.25	.0885			4.7	.1850		13	7.7	.3031			14.68	.5781	37/64		
.....	.0240		73	.....	.0890		43	4.75	.1870			7.75	.3051			15.0	.5906		
.....	.0250		72	2.3	.0905			4.78	.1875	3/16		7.8	.3071			15.08	.5937	19/32		
.65	.0256			2.35	.0925			4.8	.1890		12	7.9	.3110			15.48	.6094	39/64		
.....	.0260		71	.....	.0935		42	.....	.1910		11	7.94	.3125	5/16		15.5	.6102		
.....	.0280		70	2.38	.0937	3/32		4.9	.1929			8.0	.3150			15.88	.6250	5/8		
.7	.0276			2.4	.0945			.....	.1935		10	.....	.3160		O	16.0	.6299		
.....	.0292		69	.....	.0960		41	.....	.1960		9	8.1	.3189			16.27	.6408	41/64	
.75	.0295			2.45	.0964			5.0	.1968			8.2	.3228			16.5	.6496			
.....	.0310		68	.....	.0980		40	.....	.1990		8	.....	.3230		P	16.67	.6582	21/32	
.79	.0312	1/32		2.5	.0984			5.1	.2008			8.25	.3248			17.0	.6693			
.8	.0315			.....	.0995		39	.....	.2010		7	8.3	.3268			17.06	.6719	43/64	
.....	.0320		87	.....	.1015		38	5.16	.2031	13/64		8.33	.3281	21/64		17.46	.6875	11/16	
.....	.0330		86	2.6	.1024			.....	.2040		6	8.4	.3307			17.5	.6890		
.85	.0335			.....	.1040		37	5.2	.2047			.....	.3320		Q	17.86	.7031	45/64	
.....	.0350		65	2.7	.1063			.....	.2055		5	8.5	.3346			18.0	.7087		
.9	.0354			.....	.1065		36	5.25	.2067			8.6	.3358			18.26	.7187	23/32	
.....	.0360		64	2.75	.1082			5.3	.2086			.....	.3390		R	18.5	.7263		
.....	.0370		63	2.78	.1094	7/64		.....	.2090		4	8.7	.3425			18.65	.7344	47/64	
.95	.0374			.....	.1100		35	5.4	.2126			8.73	.3437	11/32		19.0	.7480		
.....	.0380		62	2.8	.1102			.....	.2130		3	8.75	.3445			19.05	.7500	3/4	
.....	.0390		61	.....	.1110		34	5.5	.2165			8.8	.3465			19.45	.7656	49/64	
1.0	.0394			.....	.1130		33	5.56	.2187	1/32		.....	.3490		S	19.5	.7677		
.....	.0400		60	2.9	.1141			5.6	.2205			8.9	.3504			19.84	.7812	25/32		
.....	.0410		59	.....	.1160		32	.....	.2210		2	9.0	.3543			20.0	.7874		
1.05	.0413			3.0	.1181			5.7	.2244			.....	.3580		T	20.24	.7969	51/64	
.....	.0420		58	.....	.1200		31	5.75	.2263			9.1	.3583			20.5	.8071		
.....	.0430		57	3.1	.1220			.....	.2280		1	9.13	.3594	23/64		20.64	.8125	13/16	
1.1	.0433			3.18	.1250	1/8		5.8	.2283			9.2	.3622			21.0	.8268			
1.15	.0452			3.2	.1260			5.9	.2323			9.25	.3641			21.03	.8281	53/64		
.....	.0465		56	3.25	.1279			.....	.2340		A	9.3	.3661			21.43	.8437	27/32	
1.19	.0489	3/64		.....	.1285		30	5.95	.2344	15/64		.....	.3680		U	21.5	.8465		
.12	.0472			3.3	.1299			6.0	.2362			9.4	.3701			21.83	.8594	55/64		
1.25	.0492			3.4	.1338			.....	.2380		B	9.5	.3740			22.0	.8661		
.13	.0512			.....	.1360		29	6.1	.2401			9.53	.3750	3/8		22.23	.8750	7/8	
.....	.0520		55	3.5	.1378			.....	.2420		C	.....	.3770		V	22.5	.8858		
1.35	.0531			.....	.1405		28	6.2	.2441			9.6	.3780			22.62	.8906	57/64	
.....	.0550		54	3.57	.1406	9/64		6.25	.2460			9.7	.3819		D	23.0	.9055			
.14	.0551			3.6	.1417			6.3	.2480			9.75	.3838			23.02	.9062	29/32		
1.45	.0570			.....	.1440		27	6.35	.2500	1/4		.....	.3858			23.42	.9219	59/64	
1.5	.0591			3.7	.1457			.....	.2520			.....	.3860			23.5	.9252		
.....	.0595		53	.....	.1470		26	6.5	.2559			9.9	.3898			23.81	.9375	15/16	
1.55	.0610			3.75	.1476		2570			9.92	.3906	25/64			24.0	.9449		
1.59	.0625	1/16		.....	.1495		25	6.6	.2598			10.0	.3937			24.21	.9531	61/64	
.16	.0629			3.8	.1496			.....	.2610			.....	.3970		X	24.5	.9646		
.....	.0635		52	.....	.1520		24	6.7	.2638			.....	.4040		Y	24.61	.9687	31/32	
1.65	.0649			3.9	.1535			6.75	.2657	17/64		10.32	.4062	13/32		25.0	.9843			
.17	.0669			.....	.1540		23	6.75	.2657			.....	.4130		Z	25.03	.9844	63/64	
.....	.0670		51	3.97	.1562	5/32		.....	.2660		H	10.5	.4134			25.4	1.0000	1	

Figura 12-15 Medidas de brocas.

O ângulo no qual a ponta da broca é afiada é chamado de ângulo da ponta da broca. Nas brocas padrão, usadas para cortar aço e ferro fundido, o ângulo deverá ser de 59° a partir do eixo da broca. Para furações rápidas em materiais macios, deve-se usar ângulos afiados.

O diâmetro de uma broca pode ser considerado de três maneiras: (1) por frações, (2) letras, ou (3) números.

Fracionamento eles são classificados em 16 avos de polegada (de $1/16$ a $3\ 1/2$ de polegada), em 32 avos de polegada (de $1/32$ a $2\ 1/2$ de polegada), ou em 64 avos de polegada (de $1/64$ a $1\ 1/4$ de polegada).

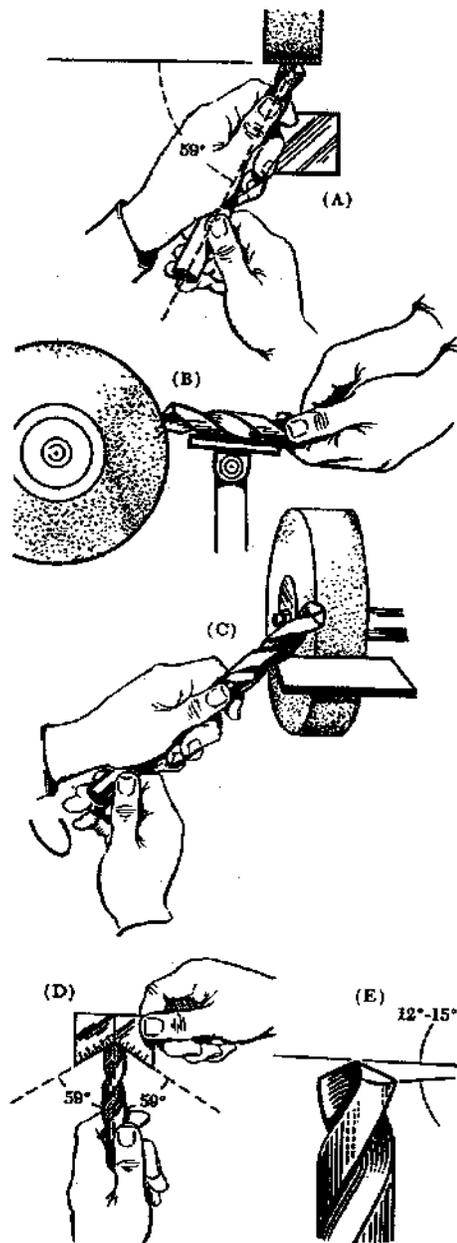


Figura 12-16 Procedimentos para afiar brocas.

Para uma medição mais exata, um sistema de letras é usado com equivalentes decimais: A (0,234 de polegada) até Z (0,413 de polegada). O sistema de classificação por números é mais acurado: n° 80 (0,0314 de polegada) para n° 1 (0,228 de polegada). O tamanho das brocas e seus equivalentes decimais são mostrados na figura 12-15.

As brocas deverão ser afiadas ao primeiro sinal de perda do corte. Para a maioria das máquinas de furar, uma broca com o ângulo de corte de 118° (59° de cada lado do centro) será suficiente; no entanto, quando furando materiais macios, um ângulo de corte de 90° pode ser mais eficiente.

Procedimentos típicos para afiação de brocas são apresentados na figura 12-16:

1 - Ajustar o apoio de ferramentas do esmeril para uma altura conveniente para apoiar as costas da mão enquanto esmerilha.

2 - Manter a broca entre o polegar e o indicador da mão direita ou da esquerda; e agarrar o corpo da broca, próximo à haste com a outra mão.

3 - Colocar a mão no apoio de ferramentas com a linha de centro da broca, formando um ângulo de 59° com a face de corte da pedra do esmeril. Abaixamos ligeiramente a ponta da haste da broca.

4 - Vagarosamente colocar a aresta cortante da broca de encontro com a pedra do esmeril. Gradualmente vá abaixando a haste da broca, enquanto ela é girada no sentido dos ponteiros do relógio. Manter a pressão contra a superfície do esmeril, somente até que se atinja a parte lateral da broca.

5 - Conferir o resultado da afiação com um calibre, para determinar se as arestas de corte estão ou não do mesmo comprimento, e se o ângulo é de 59° .

Alargadores

São ferramentas usadas para ajustar e alargar orifícios para uma medida exata. Os alargadores manuais têm a ponta da haste em um formato quadrado para que possam ser girados com um desandador ou punho semelhante.

Os vários tipos de alargadores são mostrados na figura 12-17.

Um orifício que tenha que ser ajustado para uma exata medida, deve ser furado com 0,003 a 0,007 de polegada, a menos, da medida desejada. Um corte que remova mais do que 0,007 de polegada oferece muita resistência ao alargador e não deverá ser tentado.

Os alargadores são feitos de aço carbono ou aço rápido. As lâminas de corte, ou navalhas de um alargador de aço rápido perdem o seu corte antes do que os de aço carbono; no entanto após a primeira super-afiação ter-se acabado ele ainda é utilizável. O alargador de aço rápido, usualmente é muito mais durável do que o tipo de aço carbono.

As lâminas dos alargadores são endurecidas até o ponto de ficarem quebradiças, e devem ser manuseadas cuidadosamente para evitar que elas se quebrem.

Quando ajustando um furo, giramos o alargador somente na direção do corte.

Girando-o firme e constantemente evitamos vibração ou marcas e cortes nas paredes do furo.

Os alargadores são encontrados em algumas medidas padronizadas. O de estrias retas é mais barato do que o de estrias helicoidais, mas o tipo helicoidal tem uma menor tendência de vibração. Ambos os tipos são cônicos, em um pequeno espaço da ponta, para auxiliar o início do trabalho. Alguns tipos de alargadores, sem conicidade, são usados para ajustar até o final de orifícios cegos.

Para o uso geral, o mais prático é o alargador de expansão. Esse tipo é encontrado nas medidas padrão de 1/4 de polegada a 1 polegada, aumentando o diâmetro em incrementos de 1/32 de polegada.

Alargadores cônicos, tanto operados manualmente como por meio de máquinas, são usados para orifícios lisos e de exata conicidade ou em encaixes.

Escareadores

São ferramentas que cortam em forma cônica uma depressão ao redor de um furo, para permitir que um rebite ou parafuso fique no mesmo plano da superfície do material.

Escareadores são feitos com vários ângulos, para que estes se correspondam com os das cabeças escareadas dos rebites e dos parafusos. O ângulo do escareador padrão mostrado na figura 12-18 é de 100°.

Existem escareadores especiais com batentes limitadores (figura 12-18) que são ajustáveis para qualquer profundidade desejada, e, cujos cortadores são intercambiáveis, para que possam ser feitos orifícios com os mais variados ângulos de conicidade.

Alguns escareadores com batente têm um dispositivo de regulagem micrométrica (em incrementos de 0,001 de polegada) para ajustagem da profundidade do corte. Quando usando um escareador, muito cuidado deve ser tomado para não remover uma excessiva quantidade de material, porque isto reduz a resistência de uma junta embutida.

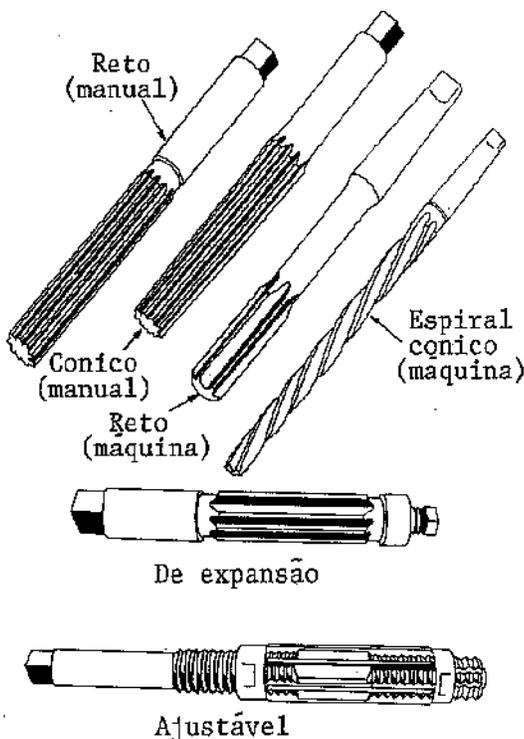


Figura 12-17 Alargadores.

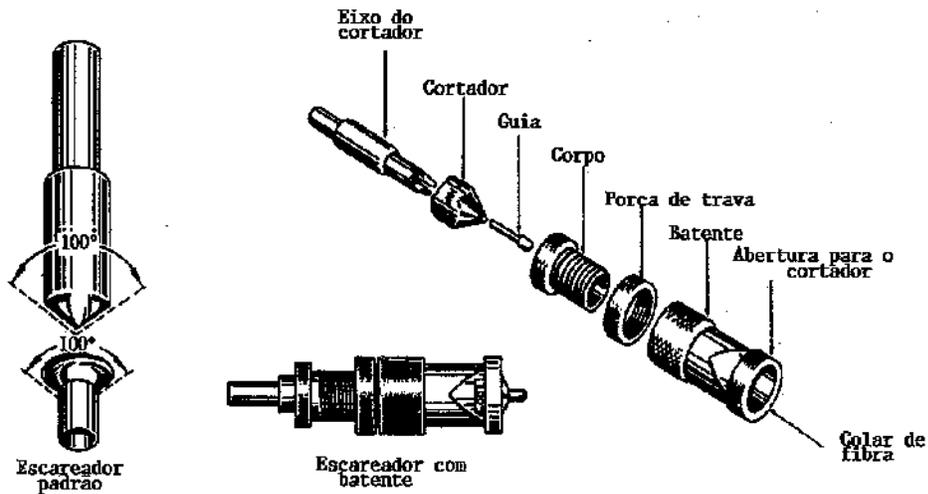


Figura 12-18 Escareadores.

FERRAMENTAS DE MEDIÇÃO

As ferramentas de medição são consideradas ferramentas de precisão. Elas são cuidadosamente maquinadas, acuradamente marcadas e em muitos casos, são compostas por muitas partes delicadas.

Quando usando essas ferramentas, precisamos ter cuidado em não deixá-las cair, entortar, ou arranhar.

O produto acabado não será mais exato do que as medidas ou o desenho; portanto é muito importante entender como ler, usar e cuidar destas ferramentas.

Réguas

As réguas são feitas de aço e podem ser rígidas ou flexíveis. As flexíveis não devem ser dobradas intencionalmente, porque podem partir-se facilmente.

Em trabalhos de aviação, a unidade de medida mais comum é a polegada, porém veremos também as medições pelo sistema métrico.

A polegada pode ser dividida em pequenas partes, tanto em frações comuns como em decimais.

As divisões fracionadas são encontradas pela divisão da polegada em partes iguais - metades (1/2), quartos (1/4), oitavos (1/8), dezesseis avos (1/16), trinta e dois avos (1/32) e sessenta e quatro avos (1/64) - como é mostrado na figura 12-19.

As frações de uma polegada podem ser expressas em decimais, chamados decimais equivalentes de uma polegada; por exemplo: 1/8 de polegada é expresso como 0,0125 (cento e vinte e cinco décimos de milésimos de uma polegada).

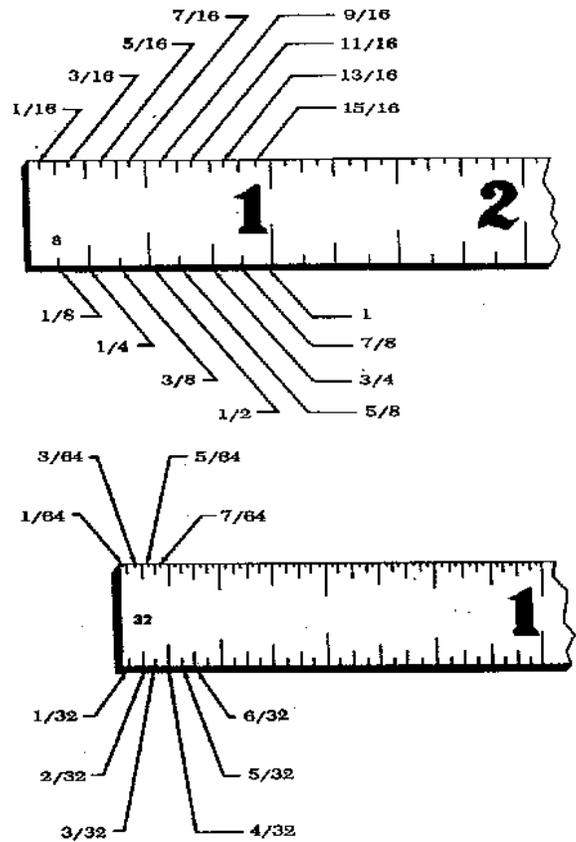


Figura 12-19 Réguas.

As régua são fabricadas em dois estilos básicos, uma dividida ou marcada em frações comuns (figura 12-19), e a outra dividida ou marcada em decimais, ou divisões de um centésimo de uma polegada. Uma régua pode ser usada tanto como ferramenta de medição como de desenho.

As régua graduadas pelo sistema métrico têm como menor divisão o milímetro e na maioria das vezes, são graduadas em polegadas na borda oposta, como mostra o exemplo da figura 12-19.

Esquadro combinado

A figura 12-20 apresenta o esquadro combinado, e como seu nome indica, é uma ferramenta que tem várias utilidades. Ela pode ser usada para as mesmas finalidades de um esquadro comum, mas com a diferença de poder mudar de posição na régua onde está encaixada e ser fixada na posição ideal. Combinado com o esquadro estão um nível de bolha e um riscador. O esquadro desliza em uma ranhura central da régua, a qual pode ser usada também separadamente.

O nível de bolha na cabeça do esquadro torna-o conveniente para colocar uma peça em esquadro, ao mesmo tempo em que informa a condição de nível de ambos os lados da peça. A cabeça do esquadro pode ser usada separadamente da régua, como um nível comum.

A combinação da cabeça do esquadro com a régua pode ser usada, também, para traçagem de linhas em ângulos de 45°, como medidor de profundidade ou de altura.

Um conveniente riscador é mantido sob pressão na cabeça do esquadro, por meio de uma bucha de latão.

A cabeça de centrar ou esquadro de centrar é usado para determinar o centro de eixos ou de outros trabalhos cilíndricos.

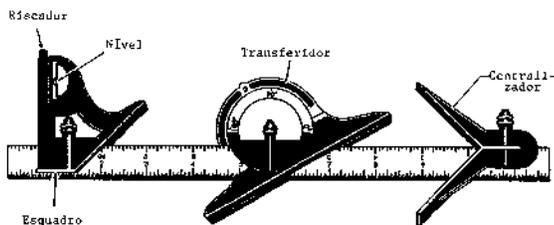


Figura 12-20 Esquadro combinado.

O transferidor pode ser usado para conferir ângulos e, também, pode ser regulado

para qualquer ângulo desejado, quando traçando linhas em desenhos.

Riscador

O riscador é indicado para servir ao mecânico de aviação, da mesma maneira que o lápis ou a caneta servem para escrever. Em geral ele é usado para escrever ou marcar linhas nas superfícies metálicas. O riscador (fig.12-21) é feito de aço para ferramentas, com 4 a 12 polegadas de comprimento, e tem as duas extremidades pontiagudas bem finas. Uma das pontas é dobrada a 90° para poder atingir e marcar através de furos.

Antes de usar um riscador, sempre inspecionamos as pontas quanto a afiação. Certificamos-nos de que a régua está assentada na superfície e na posição de riscar. O riscador é ligeiramente inclinado na direção em que será movimentado e se mantém como um lápis. A ponta do riscador deve ser mantida encostado na borda da régua. O traço deve ser forte o suficiente para ficar visível, porém não mais profundo do que o necessário para aquela finalidade.

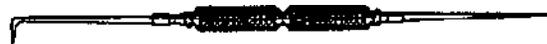


Figura 12-21 Riscador.

Compassos

Os compassos são usados para desenho de arcos ou círculos, para transferir medidas do desenho para o trabalho, para medições de diâmetros internos ou externos, e comparação de medidas de uma régua para um trabalho.

Os compassos têm duas pernas unidas na parte superior por um eixo, e a maioria deles possui um dispositivo de fixação da regulagem.

Os compassos para desenho podem ter uma das pernas pontiaguda, e a outra com uma fixação para grafite ou para um lápis; e um outro tipo possui as duas pernas pontiagudas.

Quando usando os compassos para desenho, sugerimos os seguintes procedimentos:

1 - Inspeccionar as pontas para certificar-se de que estão afiadas.

2 - Para selecionar uma medida, manter uma das pontas do compasso na graduação da régua; afastar a outra perna do compasso, atuando no dispositivo de fixação da regulagem, se for o caso, até que seja alcançada a graduação da régua que indica a medida requerida.

3 - Para desenhar um arco ou um círculo, manter a parte superior do compasso com o dedo polegar e o indicador e colocar uma das pontas no ponto que será o centro do desenho. Exercendo pressão em ambas as pernas, girar o compasso na direção dos ponteiros do relógio e riscar o desejado arco ou círculo.

4 - A tendência que as pernas têm de deslizar, é evitado, inclinando-se o compasso na direção para a qual ele está sendo deslocado. Nos trabalhos com metal, os compassos de pontas metálicas são usados para traçar arcos ou círculos somente quando os riscos forem removidos pelo corte. Todos os outros arcos ou círculos devem ser riscados com o compasso, com grafite ou lápis, para evitar arranhões no material.

5 - Nos desenhos em papel, os compassos com grafite ou lápis são usados para riscar arcos ou círculos. Os compassos de pontas são usados para transferir medidas críticas, porque eles são mais exatos do que o compasso com grafite ou lápis.

Os compassos em mecânica são usados para medir diâmetros e distâncias, ou para comparar distâncias e medidas.

Os três tipos mais comuns são: o compasso para medidas internas, o compasso para medidas externas; e o hermafrodita, que pode realizar as duas funções. (ver figura 12-22).

Compassos para medidas externas são usados para medir, por exemplo, o diâmetro de uma barra de seção circular. Os compassos para medidas internas têm as pontas curvadas para permitir a medição de diâmetros internos de tubos ou furos, a distância entre duas superfícies, a largura de ranhuras e outras medidas semelhantes. Um compasso hermafrodita é usado, geralmente, como um instrumento de traçagem de linhas paralelas ou transferência de medidas.

O compasso hermafrodita não deve ser usado em medições de precisão.

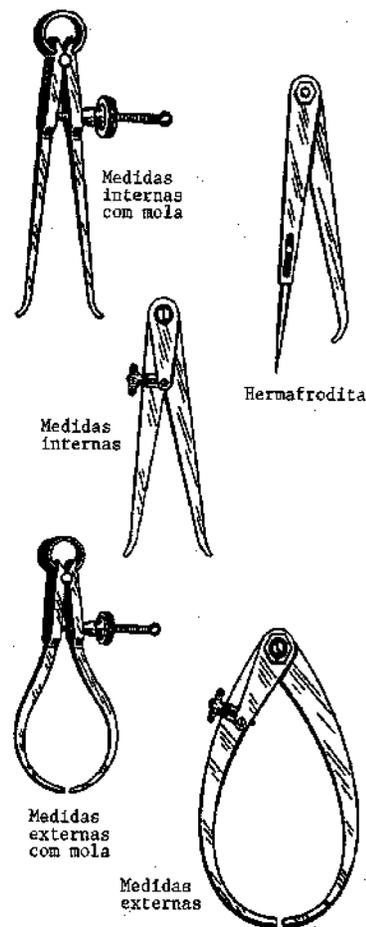


Figura 12-22 Compassos.

Os compassos para medidas internas têm as pontas curvadas para permitir a medição de diâmetros internos de tubos ou furos, a distância entre duas superfícies, a largura

Paquímetro

O paquímetro, também chamado de Calibre Vernier, é um instrumento para medidas de precisão, da ordem de um décimo de milímetro, geralmente feito de aço inoxidável e com escalas graduadas em milímetros ou frações de polegada. A figura 12-23 apresenta um paquímetro com as duas graduações.

Os vários tipos de paquímetros são utilizados para verificação de medidas externas, internas, de profundidade e de roscas.

O paquímetro consiste de uma haste, semelhante a uma régua, que contém a escala (em milímetros, frações da polegada ou ambas) com um bico fixo para as medidas

externas; e uma orelha, também fixa, para as medidas internas.

Um cursor, que desliza ao longo da haste, possui o bico e a orelha móveis para as

medidas externas e internas, e uma haste fina para as medidas de profundidade.

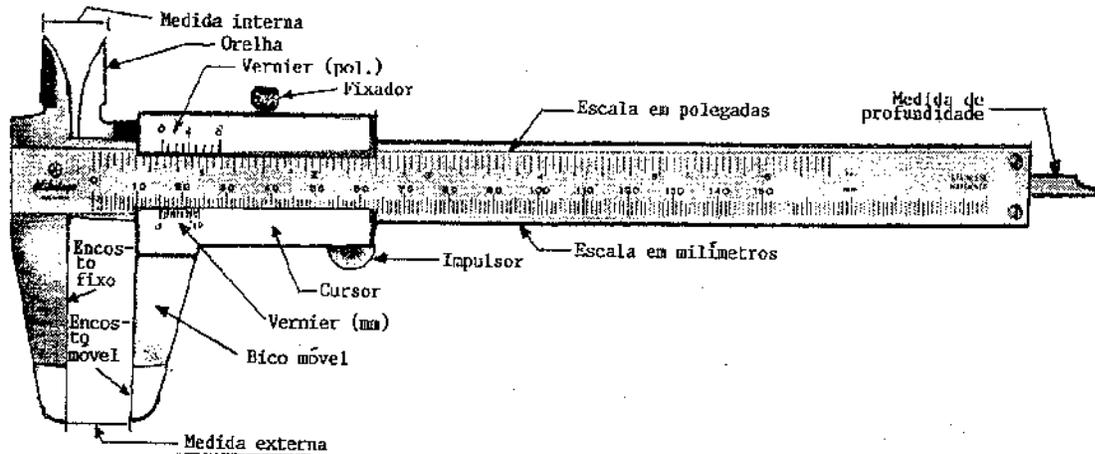


Figura 12-23 - Paquímetro.

Um botão impulsor permite o comando do cursor, e um parafuso de trava impede o seu deslocamento durante a leitura.

Ainda no cursor encontramos a graduação Vernier, que para a escala em milímetros tem a medida de nove milímetros divididos em dez partes iguais (cada parte correspondendo a 9/10 ou seja, 0,9 milímetros); para a escala em frações de polegada a graduação Vernier tem o comprimento de 7/16 de polegada, divididos em oito partes iguais (cada parte corresponde a 1/128 da polegada).

LEITURA DO PAQUÍMETRO

Colocamos a peça a ser medida entre os bicos do paquímetro acionando o cursor por meio do botão impulsor, suavemente para que toque na peça sem forçar. Travamos se então, o cursor apertando o parafuso para este fim.

Lê-se o número de milímetros existentes antes do zero do cursor. Na figura 12-24 o número de milímetros anteriores ao zero é 29.

Para sabermos a fração de milímetro até o zero, basta verificamos qual o traço da graduação Vernier do cursor que coincide com um dos traços da escala de milímetros.

No exemplo "A" da figura 12-24 é o traço número quatro, portanto aos 29 milímetros teremos que acrescentar quatro décimos, ou seja, 0,4 milímetros. A medida final será de $29 + 0,4 = 29,4$ milímetros.

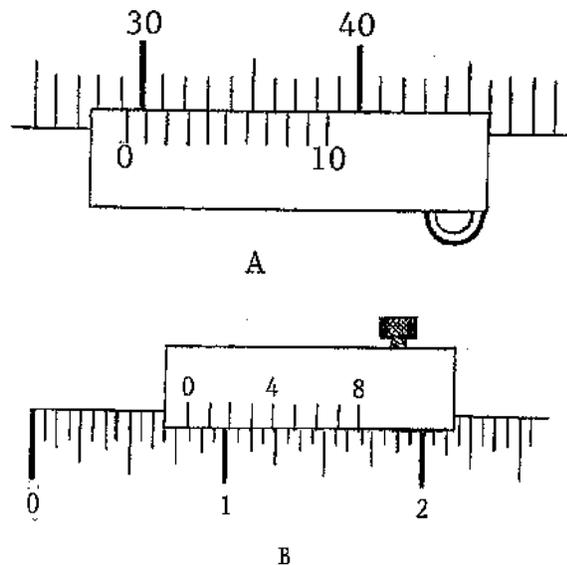


Figura 12-24 Leituras do Paquímetro.

No paquímetro graduado em frações de polegada o procedimento é o mesmo, porém a polegada está dividida em 16 avos. Antes do zero do cursor, encontramos 12/16 avos que, simplificando, chegaremos a 3/4 de polegada.

Para sabermos a fração até o zero do cursor, basta verificarmos qual o traço da graduação Vernier que coincide com um dos traços da escala da haste em frações de polegada.

No exemplo "B" da figura 12-24, é o traço número três, portanto aos 3/4 de polegada

teremos que acrescentar $3/128''$ (cada traço da graduação Vernier corresponde a $1/128''$). A medida final será $\frac{3}{4} + \frac{3}{128} = \frac{96+3}{128} = \frac{99}{128} pol$

Para verificação de medidas com uma régua, a leitura é imprecisa quando se trata de aproximações pequenas, como $1/32$ ou $1/64$ de polegada, porque os traços são muito próximos e pouco nítidos. Com um paquímetro as leituras, além de mais práticas, são mais precisas, porque podem ser medidas as aproximações de $1/128$ ou seja, a metade de $1/64$ de polegada.

Micrômetros

Existem quatro tipos de micrômetros, cada um designado para um uso específico. Eles são conhecidos como sendo: para medidas externas, para medidas internas, de profundidade e para roscas.

Os micrômetros são encontrados com graduações para polegadas ou para milímetros, e em uma variedade de medidas como de 0 a $1/2''$, 0 a 1", 1 a 2", 2 a 3", 3 a 4", 4 a 5" ou 5 a 6"; os de leitura em milímetros são de 0 a 25 mm, 25 a 50 mm e outros menos comuns para maiores capacidades de medida.

O micrômetro, para medidas externas (figura 12-25), é usado pelo mecânico mais freqüentemente do que qualquer outro tipo.

Este pode ser usado para medir as dimensões externas de eixos, espessuras de chapas de metal, diâmetro de brocas, e para muitas outras aplicações.

A menor medida que pode ser verificada com o uso de uma régua de aço é de $1/64$ de polegada e com um paquímetro é de $1/128$ de polegada, porém quando for necessário medir mais rigorosamente (em milésimos ou décimos de milésimos de polegada) deverá ser usado o micrômetro.

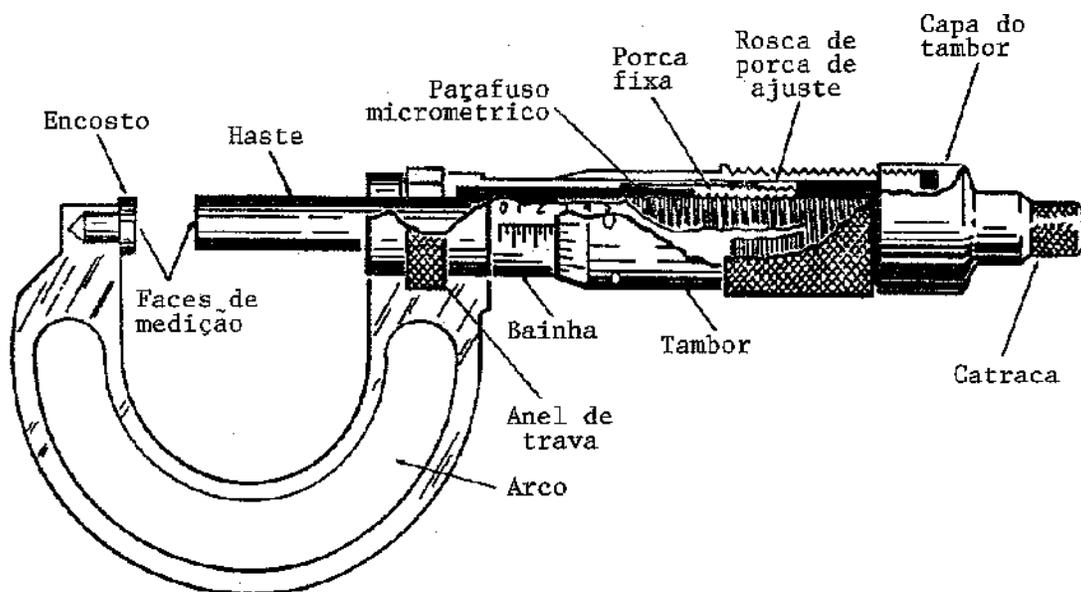


Figura 12-25 Micrômetro.

Se uma determinada dimensão, em fração comum, tiver que ser medida com um micrômetro, a fração deverá ser convertida para seu equivalente decimal.

Todos os tipos de micrômetros são lidos da mesma maneira.

O método de leitura em um micrômetro para medidas externas será apresentado mais adiante neste capítulo.

Partes De Um Micrômetro

As partes fixas de um micrômetro (figura 12-25) são o arco, a bainha e o encosto, e as partes móveis são o tambor e a haste. Ao girar-se o tambor, a haste que possui no seu prolongamento um parafuso micrométrico, também gira através de uma porca fixada na bainha. Este movimento do tambor provoca o afastamento entre o encosto e a extremidade da haste, proporcionando o espaço onde o material será medido.

Para evitar um aperto demasiado, uma catraca que faz parte do tambor, interrompe o curso da haste ao tocar na peça a ser medida. A indicação da medida será através das graduações da bainha e do tambor.

Leitura do micrômetro

As linhas na bainha marcadas com os números 1, 2, 3 etc, indicam as medidas dos décimos, ou 0,100 de polegada, 0,200 de polegada, 0,300 de polegada, respectivamente (figura 12-26).

Cada um dos espaços entre os décimos (entre o 1, 2, 3 etc.) está dividido em quatro partes de 0,025 de polegada cada uma. Em cada volta completa do tambor (do zero do tambor até o mesmo zero) ele desloca uma dessas divisões (0,025 de polegada) ao longo da bainha.

O setor graduado do tambor (na vertical) está dividido em vinte e cinco partes iguais. Cada uma dessas partes representa vinte e cinco avos da distância que o tambor percorre, ao longo da bainha, de uma divisão de 0,025 de polegada até a outra.

Então, cada divisão do tambor representa um milésimo de uma polegada (0,001). Estas divisões estão marcadas por conveniência a cada cinco espaços por 0, 5, 10, 15 e 20. Quando vinte e cinco destas graduações tiverem passado pela linha horizontal na bainha (completando uma volta), a haste deslocou-se 0,025 de polegada.

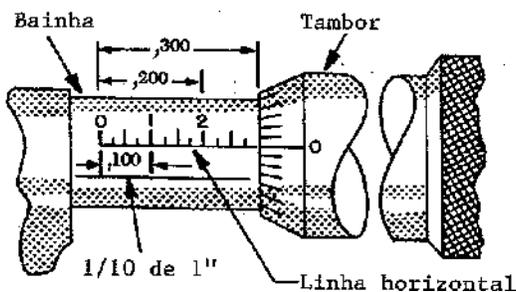
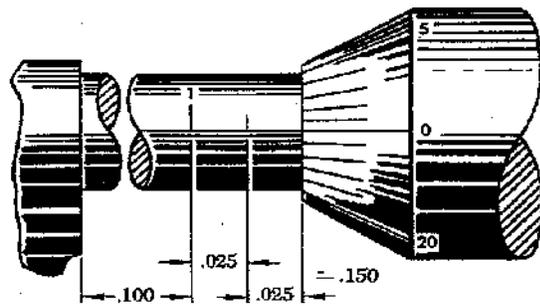
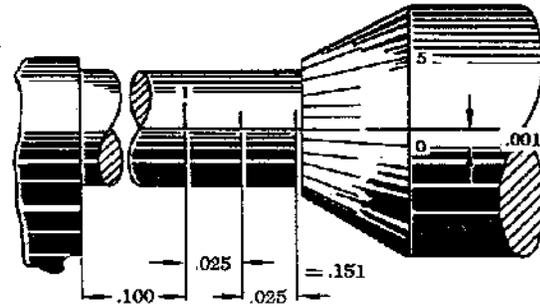


Figura 12-26 Medição com o micrômetro.

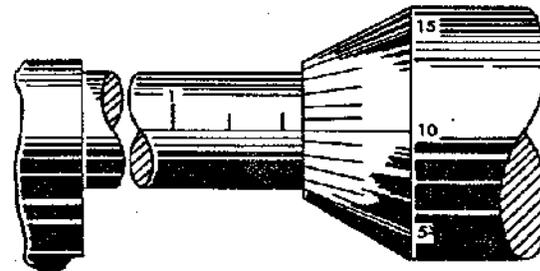
A primeira leitura de um micrômetro é verificar qual o último algarismo visível na linha horizontal da bainha, representando os décimos de polegada.



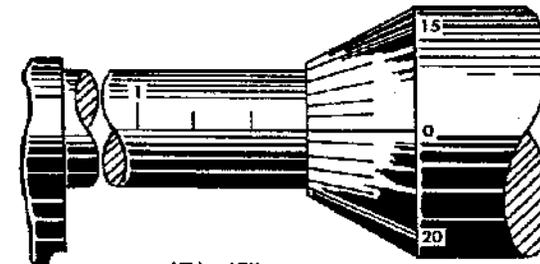
(A) .150 pol.



(B) .151 pol.



(C) .160 pol.



(D) .175 pol.

Figura 12-27 Leitura do micrômetro.

Adiciona-se a este número a distância entre ele e a borda do tambor (isto é feito multiplicando-se o número de traços por 0,025 da polegada).

Adiciona-se em seguida o número da divisão do tambor (graduação vertical) que coincide com a linha da graduação horizontal. A soma das três anotações será a medida final (a figura 12-27 apresenta exemplos de leituras do micrômetro).

Escala Vernier

Alguns micrômetros são equipados com uma escala Vernier, a qual torna possível a leitura direta da fração de uma divisão, indicada na escala do tambor. Exemplos típicos da aplicação da escala Vernier aos micrômetros são apresentados na figura 12-28.

As três escalas de um micrômetro não são totalmente visíveis sem girarmos o micrômetro, mas nos exemplos da figura 12-28 foram desenhadas as três escalas em sua posição relativa, mas no mesmo plano, para que as três escalas pudessem ser vistas ao mesmo tempo. A escala da bainha é a escala horizontal; a do tambor é a vertical da direita; e as linhas horizontais longas (de 0 a 9 e 0) compõem a escala Vernier.

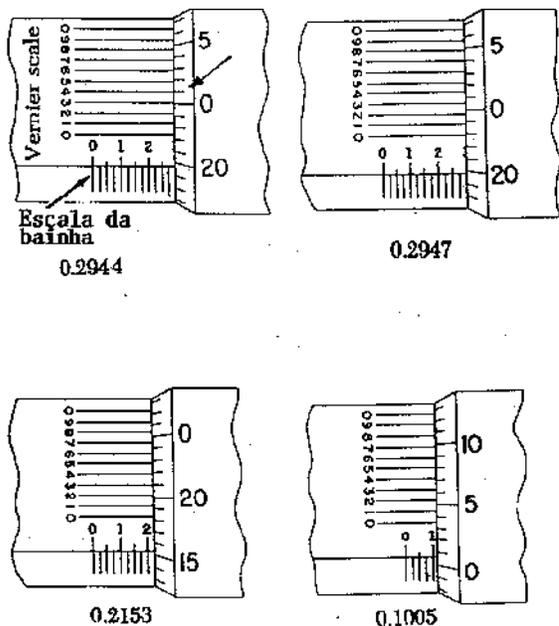


Figura 12-28 Escala Vernier.

Para a leitura de um micrômetro, um excelente meio de conhecer os valores relativos das escalas é lembrar que as graduações de 0,025 da bainha são estabelecidas pelos fios de rosca do prolongamento da haste (40 fios de rosca por polegada). Em seguida, que as graduações do tambor dividem os 0,025 de polegada em 25 partes, sendo cada uma igual a 0,001 (um milésimo da polegada); e, finalmente, as graduações da escala Vernier dividem o milésimo de polegada 10 partes iguais, sendo cada

uma igual a 0,0001 de polegada (um décimo de milésimo de polegada).

Lembrando os valores das graduações das escalas: anota-se a leitura da escala da bainha; soma-se a ela a leitura da escala do tambor; então, soma-se a leitura da escala Vernier para ter-se a medida final. A linha da escala Vernier a ser lida, é sempre aquela que estiver exatamente alinhada com uma das linhas do tambor (exemplos na figura 12-28).

No micrômetro com medidas em milímetros, o processo de leitura é exatamente igual ao de polegadas, com as diferentes características do sistema. A graduação da bainha é em milímetros e meios milímetros; a do tambor é dividida em 50 partes iguais; e a escala Vernier em 10 partes. A leitura da bainha nos dá a unidade que é o milímetro, o tambor os centésimos e o Vernier os milésimos (exemplos na figura 12-28).

No primeiro exemplo da figura 12-28, na bainha lê-se 0,275 de polegada; e no tambor, 0,019 e mais uma fração. A linha correspondente ao 1 do tambor coincide com a graduação número 4 do Vernier (0,0004). Então, a leitura final será: $0,275 + 0,019 + 0,0004 = 0,2944$ de polegada.

No segundo exemplo lê-se na bainha 0,2 de polegada, no tambor 0,0015 e no Vernier 0,0003, dando uma leitura final de 0,2153 de polegada.

No terceiro exemplo da figura 12-28, em um micrômetro com graduação em milímetros, na bainha lê-se 6,5 milímetros; e no tambor, 0,20 e mais uma fração.

A linha correspondente ao 28 do tambor coincide com a graduação número 5 do Vernier (0,005). Então, a leitura final será: $6,5 + 0,20 + 0,005 = 6,705$ milímetros.

No quarto exemplo lê-se na bainha, 4 milímetros no tambor 0,45 e no Vernier 0,003 dando uma leitura final de 4,453 milímetros.

Usando o micrômetro

O micrômetro deve ser manuseado cuidadosamente. Se sofrer uma queda, sua sensibilidade estará permanentemente afetada. O atrito contínuo do trabalho a ser medido com as faces do encosto e da haste poderá desgastar as superfícies.

Se a haste sofrer um aperto muito forte, o arco poderá sofrer um empeno permanente, resultando em leituras incorretas.

Para medir uma peça com um micrômetro, mantemos o arco na palma da mão, de modo que o polegar e o indicador estejam livres para girar o tambor para os ajustes.

FERRAMENTAS PARA ABRIR ROSCAS

A ferramenta usada para abrir roscas internas é chamada de "macho", e a usada para abrir roscas externas é chamada de "cossinete". Ambas são feitas de aço temperado e afiadas para uma medida exata.

Existem quatro tipos de fios de rosca que podem ser feitos com os machos e cossinetes. São eles: *National Coarse*, *National Fine*, *National Extra Fine* e *National Pipe*.

Os machos vêm acondicionados em um conjunto de três peças para cada diâmetro e tipo de rosca.

Cada conjunto contém um macho com entrada ou cônico, um semicônico e o paralelo. Os machos de um conjunto são de diâmetro e seção idênticos, a única diferença é na quantidade de fios de rosca. (ver fig. 12-29).

O macho cônico é usado para iniciar o processo, porque ele é cônico no espaço de 6 a 7 fios de rosca.

Ele só abre uma rosca completa quando ultrapassar toda a parte cônica. Quando o furo atravessa todo o material, pode-se usar apenas o macho cônico.

O macho semicônico suplementa o cônico para abrir rosca em furos de uma chapa grossa. O macho paralelo é usado para abrir roscas em furos cegos, isto é, os que não atravessam o material.

Os cossinetes são classificados em comuns ou sólidos e os ajustáveis. Os ajustáveis possuem um parafuso, que ao ser apertado cria uma folga entre as roscas. Pela ajustagem do cossinete, o diâmetro e a ajustagem da rosca podem ser controlados.

Os cossinetes sólidos ou comuns não são ajustáveis, portanto só podem executar um tipo de fio de rosca.

Existem vários tipos de ferramentas para girar machos e cossinetes: o punho "T", os sandadores para machos e para cossinetes.

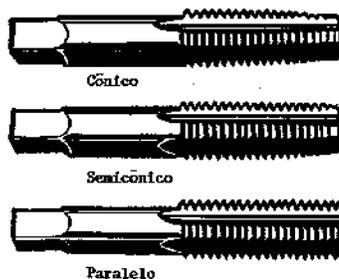


Figura 12-29 Machos.

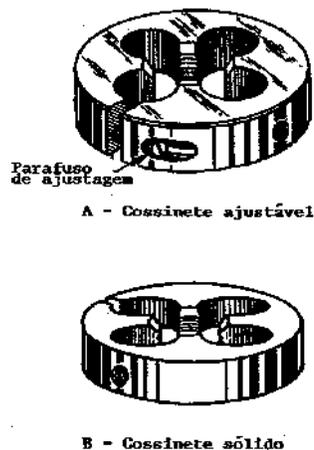


Figura 12-30 Cossinetes.

Ao conjunto cossinete e desandador, dá-se o nome de "tarraxa".

A figura 12-31 apresenta os tipos mais comuns de desandadores. Informações sobre medidas e tipos de roscas são mostradas nas figuras 12-32, 12-33 e 12-34.

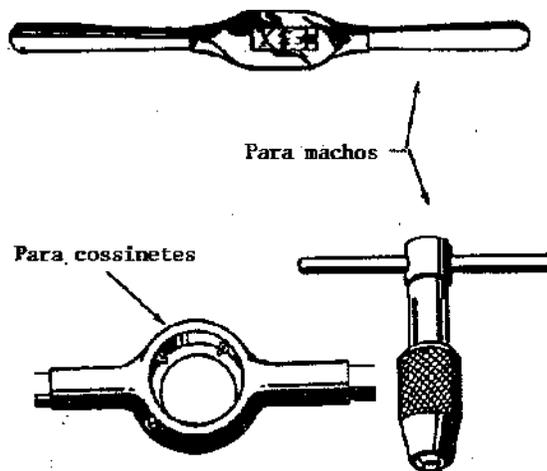


Figura 12-31 Desandadores.

Diâmetro da broca	Metais macios 300 F.P.M.	Plásticos, Borracha 200 F.P.M.	Ferro Fund. Temp 140 F.P.M.	Aço macio 100 F.P.M.	Ferro maleável 90 F.P.M.	Ferro Fund. duro 80 F.P.M.	Aço de ferram. 60 F.P.M.	Ligas Aço Aço fund. 40 F.P.M.
1/16 (No. 53 to 80)	18320	12217	8554	6111	5500	4889	3667	2445
3/32 (No. 42 to 52)	12212	8142	5702	4071	3668	3258	2442	1649
1/8 (No. 31 to 41)	9160	6112	4278	3056	2750	2445	1833	1222
5/32 (No. 23 to 30)	7328	4888	3420	2444	2198	1954	1465	977
3/16 (No. 13 to 22)	6106	4075	2852	2037	1833	1630	1222	815
7/32 (No. 1 to 12)	5234	3490	2444	1745	1575	1396	1047	698
1/4 (A to E)	4575	3055	2139	1527	1375	1222	917	611
9/32 (G to K)	4071	2712	1900	1356	1222	1094	814	542
9/16 (L, M, N)	3600	2445	1711	1222	1100	978	733	489
11/32 (O to R)	3330	2220	1554	1110	1000	888	666	444
3/8 (S, T, U)	3050	2037	1426	1018	917	815	611	407
13/32 (V to Z)	2818	1878	1316	999	846	752	583	376
7/16	2614	1746	1222	873	786	698	524	349
15/32	2442	1628	1140	814	732	652	488	326
1/2	2287	1528	1070	764	688	611	458	306
9/16	2035	1357	950	678	611	543	407	271
3/8	1830	1222	856	611	550	489	367	244
11/16	1665	1110	777	555	500	444	333	222
3/4	1525	1018	713	509	458	407	306	204

A tabela refere-se a brocas de alta velocidade. Para brocas de carbono, reduzir a velocidade pela metade. Usar a velocidade mais próxima da indicada.

Figura 12-34 Velocidades para brocas.

Medida em pol.	Nº de fios por pol.	Diâmetro médio		Comprimento		Diâmetro externo do tubo em polegadas.	Profundidade da rosca em pol.	Ferramentas para roscas em tubos	
		A	B	L2	L1			Menor diam. Tubos Finos	Medida da ferramenta
1/8	27	.36351	.37476	.2638	.180	.405	.02963	.33388	R
1/4	18	.47739	.48989	.4018	.200	.540	.04444	.43294	7/16
3/8	18	.61201	.62701	.4078	.240	.675	.04444	.56757	37/64
1/2	14	.75843	.77843	.5337	.320	.840	.05714	.70129	23/32
3/4	14	.96768	.98887	.5457	.339	1.050	.05714	.91054	59/64
1	11-1/2	1.21363	1.23863	.6828	.400	1.315	.06957	1.14407	1-5/32
1-1/4	11-1/2	1.55713	1.58338	.7068	.420	1.660	.06957	1.48757	1-1/2
1-1/2	11-1/2	1.79609	1.82234	.7235	.420	1.900	.06957	1.72652	1-47/64
2	11-1/2	2.26902	2.29627	.7565	.436	2.375	.06957	2.19946	2-7/32
2-1/2	8	2.71953	2.76216	1.1375	.682	2.875	.10000	2.61953	2-5/8
3	8	3.34062	3.38850	1.2000	.766	3.500	.10000	3.24063	3-1/4
3-1/2	8	3.83750	3.88881	1.2500	.821	4.000	.10000	3.73750	3-3/4
4	8	4.33438	4.38712	1.3000	.844	4.500	.10000	4.23438	4-1/4

Figura 12-33 Dimensões de roscas em tubos "American" (National) e medidas de ferramentas para abrir roscas em tubos.

TIPOS DE ROSCA AMERICANA (NATIONAL) GROSSA "MEDIUM FIT." (CLASSE 3-NC)					TIPOS DE ROSCA AMERICANA (NATIONAL) FINA "MEDIUM FIT." (CLASSE 3-NF)				
Medida das roscas	Diâmetro do corpo para roscas	Broca	Furação		Medida e roscas	Diâmetro do corpo para roscas	Broca	Furação	
			Diâmetro do furo previsto	Broca padrão				Diâmetro do furo previsto	Broca padrão
					0-80	.060	52	.0472	3/64
1-84	.073	47	.0575	#53	1-72	.073	47	.0591	#53
2-56	.086	42	.0682	#51	2-64	.086	42	.0700	#50
3-48	.099	37	.078	5/64	3-56	.099	37	.0810	#46
4-40	.112	31	.0866	#44	4-48	.112	31	.0911	#42
5-40	.125	29	.0995	#39	5-44	.125	25	.1024	#38
6-32	.138	27	.1063	#36	6-40	.138	27	.113	#33
8-32	.164	18	.1324	#29	8-36	.164	18	.136	#29
10-24	.190	10	.1472	#26	10-32	.190	10	.159	#21
12-24	.216	2	.1732	#17	12-28	.216	2	.180	#15
1/4-20	.250	1/4	.1990	#8	1/4-28	.250	F	.213	#3
5/16-18	.3125	5/16	.2559	#F	5/16-24	.3125	5/16	.2703	I
3/8-16	.375	3/8	.3110	5/16"	3/8-24	.375	3/8	.332	Q
7/16-14	.4375	7/16	.3642	U	7/16-20	.4375	7/16	.386	W
1/2-13	.500	1/2	.4219	27/64"	1/2-20	.500	1/2	.449	7/16"
9/16-12	.5625	9/16	.4776	31/64"	9/16-18	.5625	9/16	.506	1/2"
5/8-11	.625	5/8	.5315	17/32"	5/8-18	.625	5/8	.568	9/16"
3/4-10	.750	3/4	.6480	41/64"	3/4-16	.750	3/4	.6688	11/16"
7/8-9	.875	7/8	.7307	49/64"	7/8-14	.875	7/8	.7822	51/64"
1-8	1.000	1.0	.8376	7/8"	1-14	1.000	1.0	.9072	49/64"

Figura 12-32 Medidas de fios de rosca de parafusos.

CAPÍTULO 13

AERODINÂMICA

TEORIA DE VÔO

Numerosos textos compreensivos foram escritos sobre a aerodinâmica, envolvida no vôo de uma aeronave. Entretanto, é desnecessário que um mecânico esteja totalmente versado sobre a matéria. O que ele precisa é entender a relação entre a atmosfera, a aeronave e as forças que agem no vôo da mesma; de forma a tomar decisões inteligentes que afetem a segurança de vôo, tanto de aviões quanto de helicópteros. O mecânico precisa saber porque a aeronave é projetada com um tipo particular de sistema de controle primário ou secundário e porque as superfícies têm que ser aerodinamicamente regulares. Tudo isto se torna essencial ao se fazer a manutenção das complexas aeronaves de hoje.

A teoria de vôo relaciona-se com a aerodinâmica. O termo aerodinâmica é derivado da combinação de duas palavras gregas "AER", significando ar; e "DYNE", significando força (de potência). Assim, quando juntamos aero e dinâmica, temos aerodinâmica, significando o estudo dos objetos em movimento através do ar, e as forças que produzem ou mudam tal movimento.

A aerodinâmica estuda a ação do ar sobre um objeto.

Ela é, além disso, definida como aquele ramo da dinâmica, que trata do movimento do ar e de outros gases, com as forças agindo sobre um objeto em movimento através do ar, ou com um objeto que esteja estacionário na corrente de ar. De fato a aerodinâmica está relacionada com três partes distintas. Essas três partes podem ser definidas como a aeronave, o vento relativo e a atmosfera.

A atmosfera

Antes de discutir os fundamentos da teoria de vôo, existem diversas idéias básicas que devem ser consideradas:

-Uma aeronave opera no ar, portanto, as propriedades do ar que afetam o controle e o desempenho de uma aeronave, devem ser entendidos;

-O ar é uma mistura de gases composta principalmente de nitrogênio e oxigênio. Uma vez que o ar é uma combinação de gases, ele segue suas próprias leis;

-O ar é considerado um fluido, ele define uma substância, que pode fluir ou trocar sua forma através da aplicação de uma pressão moderada;

-O ar tem peso, uma vez que qualquer coisa mais leve que ele, como um balão cheio de hélio irá subir no ar.

Pressão

Quanto mais fundo um homem mergulhar, maior será a pressão agindo sobre seu corpo, devido o peso da água. Uma vez que o ar também tem peso, quanto maior a profundidade da superfície externa da atmosfera, maior a pressão. Se uma coluna de ar de uma polegada quadrada, estendendo-se do nível do mar ao "topo" da atmosfera pudesse ser pesada, poderia ser encontrado o peso de cerca de 14,7 libras. Dessa forma, a pressão atmosférica ao nível do mar é de 14,7 libras por polegada quadrada. Contudo, libra por polegada quadrada é uma unidade grosseira para a medição de uma substância tão leve quanto o ar. Por isso, a pressão atmosférica é geralmente medida em termos de polegada de mercúrio.

Um dispositivo para medição da pressão atmosférica é mostrado na figura 13-1.

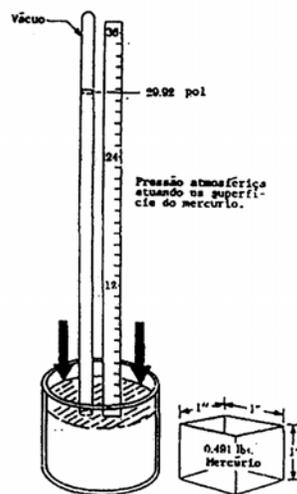


Figura 13-1 Medida da pressão atmosférica.

Um tubo de vidro com 36 polegadas de comprimento, aberto em uma das extremidades e fechado na outra, é cheio com mercúrio; a extremidade aberta é selada temporariamente e, então, mergulhada em um recipiente parcialmente cheio de mercúrio, onde, logo após, a extremidade é aberta. Isso permite que o mercúrio do tubo desça, deixando um vácuo no topo do tubo. Parte do mercúrio flui para o recipiente, enquanto outra parte permanece no tubo. O peso da pressão atmosférica sobre o mercúrio no recipiente aberto, contrabalança o peso do mercúrio no tubo, o qual não tem a pressão atmosférica agindo sobre ele devido ao vácuo no topo do tubo. Na medida em que a pressão do ar ao redor aumenta ou diminui, a coluna de mercúrio corresponde descendo ou subindo. Ao nível do mar a altura do mercúrio no tubo mede aproximadamente 29,92 polegadas, embora varie suavemente com as condições atmosféricas.

Uma consideração importante é a de que a pressão atmosférica varia com a altitude. Quanto mais alto um objeto estiver em relação ao nível do mar, menor será a pressão. Diversas condições atmosféricas têm uma relação definida com o vôo. O efeito da temperatura, da altitude e da densidade do ar sobre o desempenho de uma aeronave é discutido nos parágrafos seguintes.

Densidade

Densidade é um termo que significa peso por unidade de volume. Uma vez que o ar é uma mistura de gases, ele pode ser comprimido. Se o ar em um recipiente estiver sob metade da pressão do ar em outro recipiente idêntico, o ar sob a pressão mais elevada pesa duas vezes mais que aquele do recipiente sob menor pressão. O ar sob maior pressão, tem duas vezes a densidade daquele no outro recipiente. Para pesos iguais de ar, aquele sob maior pressão ocupa apenas metade do volume do outro, sob metade da pressão.

A densidade dos gases é governada pelas seguintes regras:

- 1) A densidade varia em proporção direta com a pressão.
- 2) A densidade varia inversamente com a temperatura.

Assim, o ar em grandes altitudes é menos denso do que em pequenas altitudes, e a massa de ar quente é menos densa que a massa de ar frio. Mudanças na densidade afetam a performance aerodinâmica da aeronave. Com a mesma potência, uma aeronave pode voar mais rápido a grandes altitudes onde a densidade é menor, que a baixas altitudes onde a densidade é alta. Isso se deve ao fato de que o ar oferece menos resistência à aeronave, quando ele contém menor número de partículas por volume.

Umidade

Umidade é a quantidade de vapor d'água no ar. A quantidade máxima de vapor que o ar pode absorver varia com a temperatura. Quanto mais elevada a temperatura do ar, mais vapor d'água ele pode absorver. O vapor d'água pesa aproximadamente cinco oitavos a mais que a mesma quantidade de ar perfeitamente seco. Dessa forma, quando o ar contém vapor d'água ele não é tão pesado quanto o ar que não contém umidade.

Considerando-se que a temperatura e a pressão permanecem as mesmas, a densidade do ar varia inversamente com a umidade. Nos dias úmidos a densidade do ar é menor que nos dias secos. Por essa razão, uma aeronave requer uma pista mais longa para decolagem nos dias úmidos que nos dias secos.

Princípio de Bernoulli e fluxo subsônico

O princípio de Bernoulli estabelece que, quando um fluido (ar), passando por um tubo, atinge uma restrição ou estreitamento desse tubo, a velocidade do fluido que passa por essa restrição é aumentada e sua pressão reduzida.

O lado arqueado (curva) da superfície de um aerofólio (asa) afeta o fluxo de ar, exatamente como acontece com um estrangulamento em um tubo. O diagrama "A" na figura 13-2 ilustra o efeito do ar que passa através de uma restrição ou estrangulamento em um tubo.

Em "B" o fluxo de ar passa por uma superfície curva, tal qual um aerofólio, e o efeito é similar àquele que passa por um estrangulamento.

Na medida em que o ar flui sobre a superfície superior de um aerofólio, sua velocidade aumenta e sua pressão diminui. Uma área de baixa pressão é assim formada.

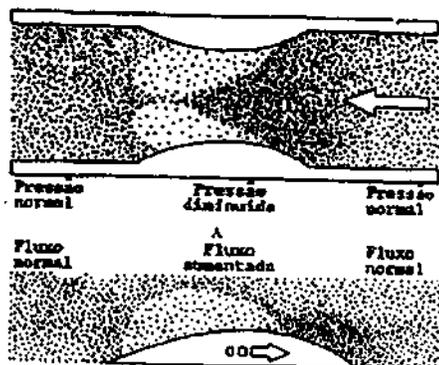


Figura 13-2 Princípio de Bernoulli.

Existe uma área de maior pressão na superfície inferior do aerofólio, e essa pressão maior tende a mover a asa para cima. Essa diferença de pressão, entre as superfícies superior e inferior da asa, é denominada sustentação. Três quartos da sustentação total de um aerofólio, é o resultado de uma redução de pressão sobre a superfície superior. O impacto do ar sobre a superfície inferior de um aerofólio produz um quarto (o que falta) da sustentação total.

Uma aeronave em vôo está sob a ação de quatro forças:

- 1) Gravidade ou peso, que puxa a aeronave para baixo.
- 2) Sustentação, força que empurra a aeronave para cima.
- 3) Empuxo, força que move a aeronave para frente.
- 4) Arrasto, a força que exerce a ação de um freio.

MOVIMENTO

Movimento é o ato, ou processo, de troca de lugar ou posição. Um objeto pode estar em movimento, em relação a um objeto e, parado, em relação a outro. Por exemplo, uma pessoa sentada na poltrona de uma aeronave, a 200 nós, está parada em relação a essa aeronave; contudo, a pessoa está em movimento em relação ao ar ou a terra, da mesma forma que a

aeronave. O ar não tem força ou potência, exceto pressão, a não ser quando ele está em movimento. Quando em movimento, no entanto, sua força se torna evidente. Um objeto em movimento no ar inerte, tem uma força exercida sobre ele, como resultado do seu próprio movimento. Não faz diferença no efeito, se o objeto está se movendo em relação ao ar ou se o ar está se movendo em relação ao objeto.

O fluxo de ar em volta de um objeto, causado pelo movimento do ar ou do objeto, ou de ambos, é chamado de vento relativo.

Velocidade e aceleração

Os termos "SPEED" e "VELOCITY" são freqüentemente usados com o mesmo sentido, porém eles não têm o mesmo significado. O primeiro, é a razão de movimento, enquanto o segundo, é a razão de movimento em uma direção particular em relação ao tempo.

Uma aeronave parte de Nova York e voa dez horas a uma "SPEED" média de 260 milhas por hora. ao termino desse tempo a aeronave pode estar sobre o oceano Atlântico, oceano Pacífico, golfo do México, ou se o seu vôo fosse circular, ele poderia estar de volta a Nova York. Se essa mesma aeronave voasse à velocidade de 260 milhas por hora na direção para o sudoeste, ele chegaria em Los Angeles em cerca de dez horas. Apenas a razão de movimento está indicada no primeiro exemplo e denota a "SPEED" da aeronave. No último exemplo, a direção particular está incluída na razão de movimento, denotando, assim, a velocidade da aeronave. Aceleração é definida como a razão de troca de velocidade. Um aumento na velocidade da aeronave é um exemplo de aceleração positiva, enquanto a redução de velocidade em outra aeronave é um exemplo de aceleração negativa. (a aceleração negativa é chamada de desaceleração).

Lei do movimento de Newton

A lei fundamental que governa a ação do ar numa asa é a lei do movimento de Newton.

A primeira lei de Newton é normalmente conhecida como lei da inércia. Ela quer dizer simplesmente, que um corpo em repouso não se moverá, a menos que uma força seja aplicada a ele. Se ele estiver se movendo a uma velocidade

uniforme e em linha reta, para que sua velocidade seja alterada, é necessário que uma força a ele seja aplicada.

Uma vez que o ar tem massa, ele constitui um "corpo" de acordo com a lei. Quando uma aeronave está no solo, com os motores parados, a inércia mantém a aeronave em repouso.

Uma aeronave sai do seu estado de repouso através da força de empuxo criada pela hélice, pela expansão dos gases de escapamento, ou por ambos. Quando ela está voando em linha reta e à velocidade constante, a inércia tende a mantê-la em movimento. Uma força externa é requerida para mudar a atitude da aeronave.

A segunda lei de Newton, àquela da força, também se aplica aos objetos. Essa lei estabelece que, se uma força externa age sobre um corpo, que se move com velocidade constante, a alteração do movimento ocorrerá na direção de atuação da força. Essa lei pode ser representada matematicamente da seguinte forma.

$$\text{Força} = \text{massa} \times \text{aceleração} (F=m.a)$$

Se uma aeronave estiver voando com um vento de proa, sua velocidade diminuirá. Se o vento for lateral, haverá uma tendência de empurrar a aeronave para fora do seu curso, a menos que o piloto tome uma ação corretiva contra a direção do vento.

A terceira lei de Newton, é a lei da ação e reação. Essa lei estabelece que para toda ação (força) existe uma reação, igual e contrária (força). Essa lei é bem ilustrada pela ação das mãos de um nadador. Ele empurra a água para trás, sendo dessa forma impulsionado para frente, uma vez que a água resiste a ação de suas mãos. Quando a força de sustentação sob a asa de uma aeronave se iguala à força da gravidade, a aeronave mantém o seu nível de vôo.

As três leis de movimento, amplamente discutidas, estão relacionadas e aplicadas à teoria de vôo. Em muitos casos as três leis podem estar atuando ao mesmo tempo em uma aeronave.

AEROFÓLIOS

Um aerofólio é uma superfície projetada para obter uma reação desejável do ar, através do qual esse aerofólio se move. Assim, podemos dizer que, qualquer peça de uma aeronave, que

converta a resistência do ar em força útil ao vôo, é um aerofólio.

As pás de uma hélice são então projetadas, de forma que, quando elas giram, suas formas e posições criam uma alta pressão, maior na sua parte traseira que na parte frontal, de forma a impulsionar a aeronave para frente. O perfil de uma asa convencional, mostrado na figura 13-3, é um excelente exemplo de aerofólio. Devemos observar que a superfície superior do perfil da asa tem maior curvatura que a superfície inferior.

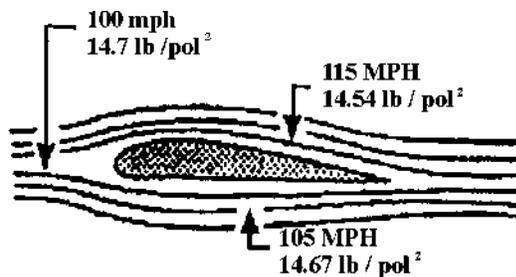


Figura 13-3 Fluxo de ar sobre a seção de uma asa.

A diferença de curvaturas entre as superfícies superior e inferior da asa produz a força de sustentação. O ar que flui na superfície superior da asa tem que alcançar o bordo de fuga da asa no mesmo tempo em que o fluxo na superfície inferior o alcança. Para isso, o ar que passa sobre a superfície superior move-se com maior velocidade que o ar que passa por baixo da asa, devido à maior distância que ele tem que percorrer.

Esse aumento de velocidade, de acordo com o princípio de Bernoulli, significa a correspondente redução da pressão sobre a superfície. Assim, uma pressão diferencial é criada entre as superfícies superior e inferior da asa, forçando a subida da asa na direção da pressão mais baixa.

A sustentação teórica de um aerofólio à velocidade de 100 milhas por hora pode ser determinada, tirando-se amostras da pressão acima e abaixo do aerofólio, no ponto de maior velocidade. Conforme mostra a figura 13-3, essa pressão é de 14,54 libras por polegada quadrada acima do aerofólio. Subtraindo essa pressão, da pressão abaixo desse aerofólio, 14,67 libras por polegada quadrada, dá uma diferença de pressão de 0,13 libra por polegada quadrada. Multiplicando-se 0,13 por 1,44 (número de polegadas quadradas em um pé) mostra-se que

cada pé quadrado dessa asa sustenta 18,72 libras. Assim, pode ser visto que uma pressão diferencial menor através da seção de um aerofólio, pode produzir uma grande força de sustentação. Dentro de limites, a sustentação pode ser aumentada, aumentando-se o ângulo de ataque, área da asa, a velocidade do fluxo livre ou a densidade do ar, ou trocando o formato do aerofólio.

Ângulo de ataque

Antes de começar a falar sobre o ângulo de ataque e seus efeitos sobre o aerofólio, devemos considerar primeiro os termos "corda" e "centro de pressão".

A corda de um aerofólio ou seção da asa é uma linha imaginária que passa da seção do bordo de ataque para o bordo de fuga, conforme mostra a figura 13-4.

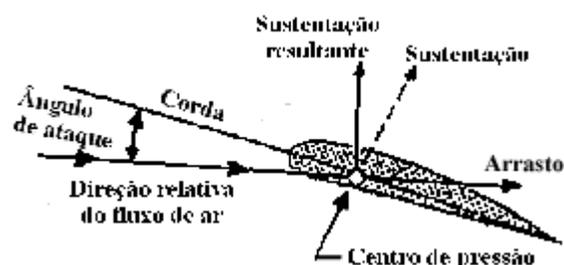


Figura 13-4 Ângulo de ataque positivo.

A linha da corda constitui um lado de um ângulo, o qual eventualmente forma o ângulo de ataque. O outro lado do ângulo é formado por uma linha que indica a direção relativa do fluxo de ar.

Dessa forma, ângulo de ataque é definido como o ângulo entre a corda da asa e a direção do vento relativo. Isso não deve ser confundido com o ângulo de incidência, o qual é o ângulo entre a corda da asa e o eixo longitudinal da aeronave.

Em cada minúscula parte de uma superfície de aerofólio ou asa, uma pequena força está presente. Essa força é diferente em amplitude e direção, de qualquer outra que esteja agindo sobre outras áreas, à frente ou para trás desse ponto.

É possível adicionar todas essas pequenas forças matematicamente, e a força encontrada é chamada de força resultante (sustentação).

Essa força resultante tem amplitude, direção e localização e pode ser representada por um vetor, como mostra a figura.13-4. O ponto de interseção da força resultante com a corda do aerofólio é chamada de centro de pressão.

O centro de pressão se move ao longo da corda do aerofólio com a mudança no ângulo de ataque. Durante praticamente todo o vôo, o centro de pressão se move para frente com o aumento do ângulo de ataque, e para trás quando esse ângulo diminui.

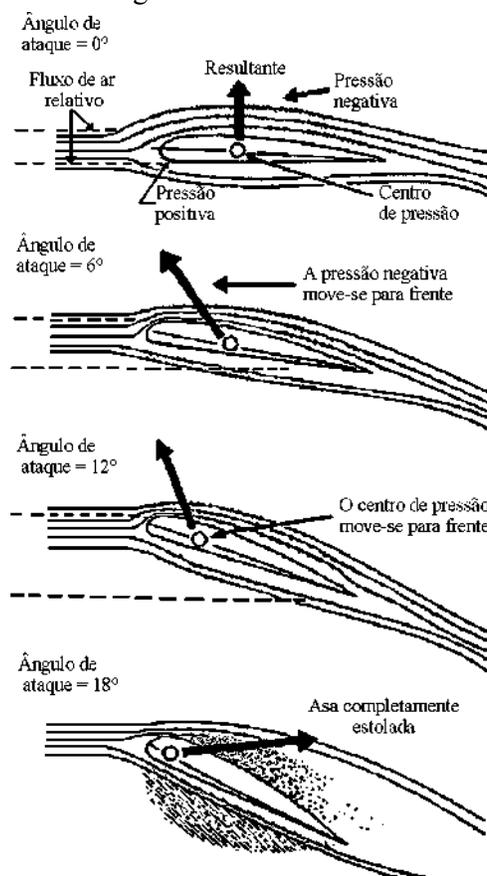


Figura 13-5 Efeito do aumento do ângulo de ataque.

O efeito do aumento do ângulo de ataque sobre o centro de pressão é mostrado na figura 13-5. O ângulo de ataque varia, na medida em que haja mudança na atitude da aeronave. Uma vez que o ângulo de ataque tem grande influência na determinação da sustentação, a ele são dadas as primeiras considerações, quando se projeta um aerofólio. Em um aerofólio projetado adequadamente, a sustentação é aumentada na medida em que o ângulo de ataque aumenta.

Quando um ângulo de ataque é aumentado gradativamente para um ângulo

positivo, o componente da sustentação aumenta rapidamente até um certo ponto, e, então, repentinamente começa a diminuir. Durante essa ação, o componente de arrasto aumenta primeiro vagarosamente, e depois rapidamente, conforme a sustentação começa a diminuir.

Quando o ângulo de ataque aumenta para o ângulo de máxima sustentação, o ponto crítico é atingido. Isso é conhecido como ângulo crítico. Quando o ângulo crítico é atingido, o ar cessa de fluir suavemente na superfície superior do aerofólio, começando a turbulência ou o turbilhonamento. Isso significa que o ar se desprende da cambrá superior da asa. O que outrora era uma área de baixa pressão, está agora cheia de ar turbulento. Quando isso ocorre, a sustentação diminui e o arrasto torna-se excessivo. A força de gravidade empenha-se em jogar o nariz da aeronave para baixo. Assim vemos que o ponto de turbulência é o ângulo de estolagem.

Como temos visto, a distribuição das forças sobre o aerofólio varia com o ângulo de ataque. A aplicação da força resultante, ou seja, o centro de pressão, varia correspondentemente. Na medida em que o ângulo aumenta, o centro de pressão se move para frente e, conforme o ângulo diminui, o centro de pressão se move para trás. O passeio instável do centro de pressão é característico de praticamente todo aerofólio.

Ângulo de incidência

O ângulo agudo que a corda da asa forma com o eixo longitudinal da aeronave é chamado de ângulo de incidência (figura 13-6).

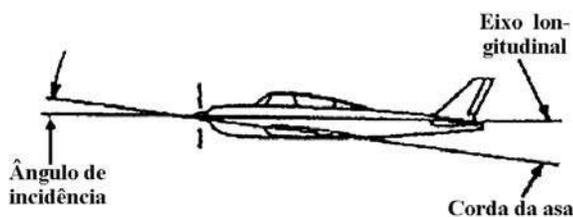


Figura 13-6 Ângulo de incidência.

O ângulo de incidência é na maioria dos casos, um ângulo fixo. Quando o ângulo de ataque de uma asa está mais alto que o bordo de fuga, o ângulo de incidência é dito positivo. O ângulo de incidência é negativo quando o bordo

de ataque está mais baixo que o bordo de fuga da asa.

Área da asa

A área da asa é medida em pés quadrados, e inclui a parte bloqueada pela fuselagem.. Ela é adequadamente descrita como a área da sombra, projetada pela asa ao meio dia (num dia de sol). Testes mostram que as forças de sustentação e arrasto que agem sobre a asa, são proporcionais à sua área. Isso significa que, se a área da asa for duplicada, todas as outras variáveis permanecem as mesmas, enquanto a sustentação e o arrasto criados pela asa são duplicados. Se a área é triplicada, empuxo e arrasto são triplicados.

Forma do aerofólio

A forma do aerofólio determina a quantidade de turbulência ou atrito de superfície que será produzido. Conseqüentemente, a forma da asa afeta sua eficiência.

As propriedades da seção de aerofólio diferem das propriedades da asa, ou da aeronave, devido à forma plana da asa. Uma asa pode ter diversas seções de aerofólio, desde a raiz até a ponta, com diminuição gradual da espessura, torção e enflechamento. As propriedades aerodinâmicas resultantes da asa são determinadas pela ação de cada seção ao longo da envergadura.

A turbulência e o atrito de superfície são controlados, principalmente, pela relação de alongamento, a qual é definida como a razão entre a corda do aerofólio e a espessura máxima.

Se a asa for muito longa ela será muito fina, se ela tiver baixa razão de fineza, será espessa. Uma asa com alta razão de fineza, produz maior quantidade de atrito de superfície, com baixa razão de fineza produz maior quantidade de turbulência.

A melhor asa é aquela que está entre os dois extremos, para manter tanto a turbulência quanto o atrito de superfície nos mínimos.

A eficiência de uma asa é medida em termos de razão entre sustentação e arrasto. Essa razão varia com o ângulo de ataque, porém, ela alcança o valor máximo preciso. Nesse ângulo, a asa tem alcançado sua eficiência máxima. A forma do aerofólio é o fator que determina o

ângulo de ataque no qual a asa é mais eficiente, além de determinar o grau de eficiência. Pesquisas têm mostrado que os aerofólios mais eficientes para uso geral têm sua espessura máxima a cerca de um terço do bordo de ataque da asa.

Asas, e dispositivos para asas, de grande sustentação têm sido desenvolvidos, dando formas a aerofólios que produzam o efeito desejado.

A sustentação produzida por um aerofólio aumentará com o aumento da cambra da asa. Cambra, é a curvatura de um aerofólio acima e abaixo da superfície da corda.

A cambra superior se refere à superfície superior; a cambra inferior à superfície inferior; e a cambra média à seção da linha média. A cambra é positiva quando a variação da corda é exterior, e negativa quando inferior.

Assim, asas de alta sustentação têm uma grande cambra positiva na superfície superior e pequena cambra negativa na superfície inferior. Os flapes das asas fazem com que uma asa comum se aproxime dessa condição, aumentando a cambra superior e criando uma cambra inferior negativa.

É sabido que, quanto maior a envergadura da asa quando comparada com a corda, maior é a sustentação obtida. Essa comparação é chamada de alongamento. Quanto maior o alongamento, maior a sustentação.

A despeito das vantagens da alteração no alongamento, foi descoberto que limites definidos de arrasto e estruturais devem ser considerados.

Por outro lado, um aerofólio que seja perfeitamente aerodinâmico, e ofereça pequena resistência ao vento, algumas vezes não tem sustentação suficiente para decolar a aeronave.

Assim, as aeronaves modernas têm aerofólios que se situam na média entre os extremos, com sua forma variando de acordo com a aeronave para a qual é projetado.

CENTRO DE GRAVIDADE

Gravidade é a força que tende a puxar todos os corpos da esfera terrestre para o centro da terra.

O centro de gravidade pode ser considerado como o ponto no qual todo o peso de uma aeronave está concentrado.

Se uma aeronave for suportada no seu exato centro de gravidade ficará equilibrada em qualquer posição.

O centro de gravidade é de grande importância para uma aeronave, pois sua posição tem grande relação com a estabilidade.

O centro de gravidade é determinado pelo projeto geral da aeronave.

O projetista calcula o passeio do centro de pressão. Ele então fixa o centro de gravidade em frente ao centro de pressão, para a velocidade correspondente de vôo, de forma a proporcionar o momento restaurador adequado para o equilíbrio em vôo.

Empuxo e arrasto

Uma aeronave em vôo é o centro de uma contínua batalha de forças. Na verdade este conflito não é tão violento quanto parece, mas é a chave para todas as manobras executadas no ar. Não existe nenhum mistério a respeito dessas forças; elas são definidas e conhecidas.

As direções nas quais elas agem, podem ser calculadas, e uma aeronave é projetada para tirar vantagem de cada uma delas. Em todos os tipos de vôo, os cálculos estão baseados na amplitude e direção de quatro forças: peso, sustentação, arrasto e empuxo (ver figura 13-7).

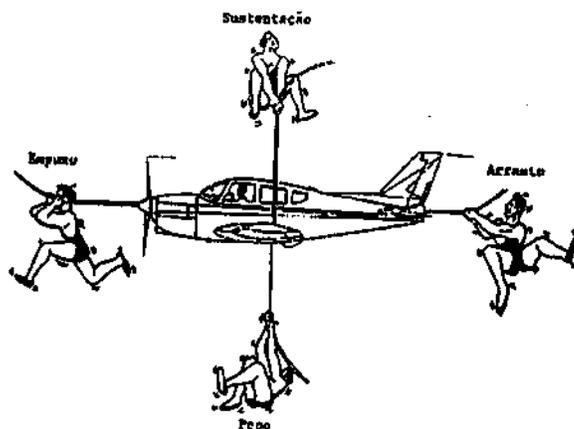


Figura 13-7 Ação das forças em vôo.

-O **peso** é a força de gravidade agindo para baixo, sobre o que está na aeronave, tal como a aeronave em si, tripulação, combustível e carga.

-A **sustentação** age verticalmente contrariando o efeito do peso.

-**Arrasto** é uma força em direção à ré, causada pelo rompimento do fluxo de ar na asa, fuselagem e objetos salientes.

-Empuxo produzido por um motor, é a força para frente que se sobrepõe à força de arrasto.

Observe que essas quatro forças só estão em perfeito equilíbrio quando a aeronave está em vôo reto, nivelado e desacelerada.

As forças de sustentação e arrasto são o resultado direto da relação entre o vento relativo e a aeronave.

A força de sustentação sempre age perpendicularmente ao vento relativo e a força de arrasto, sempre paralela a este e na mesma direção. Elas são, geralmente, os componentes que produzem uma força de sustentação resultante sobre as asas, como mostra a figura 13-8.

O peso tem uma relação definida com a sustentação, e o empuxo com o arrasto. Esse relacionamento é muito simples, porém muito importante no entendimento da aerodinâmica dos vôos. Conforme verificado anteriormente, sustentação é a força para cima, agindo sobre uma asa e perpendicular ao vento relativo. A sustentação é necessária para contrabalançar o peso da aeronave, causado pela força da gravidade que age sobre a massa da mesma.

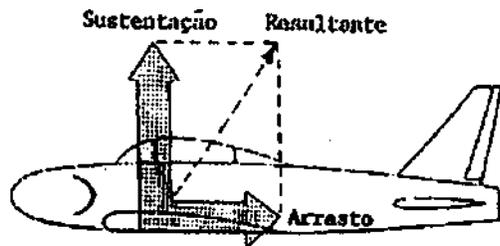


Figura 13-8 Resultante da sustentação e do arrasto.

Essa força-peso age para baixo, num ponto chamado centro de gravidade, no qual se considera que o peso da aeronave é concentrado. Quando a força de sustentação está em equilíbrio com o peso, a aeronave não ganha nem perde altitude. Se a sustentação se torna menor que o peso, a aeronave perde altitude. A aeronave ganha altitude quando a sustentação é maior.

O arrasto deve ser vencido para que a aeronave se mova, e o movimento é essencial para que se obtenha sustentação. Para vencer o arrasto e mover a aeronave para frente, outra força é essencial. Essa força é o empuxo.

O empuxo é tirado da propulsão, ou da combinação motor e hélice. A teoria da propulsão está baseada na terceira lei de Newton, e estabelece que, para cada ação existe uma reação igual e oposta. Por exemplo, no disparo de uma arma, a ação é a bala indo para frente, enquanto a reação é o recuo da arma.

O motor à turbina provoca o movimento da massa de ar para trás à alta velocidade, causando uma reação para frente que movimentava a aeronave.

Numa combinação motor/hélice, a hélice tem de fato, dois ou mais aerofólios girando, montados num eixo horizontal. O movimento das pás através do ar produz uma sustentação similar à sustentação sobre a asa, porém age em uma direção horizontal, empurrando a aeronave para frente.

Antes da aeronave entrar em movimento, o empuxo deve ser exercido. Ela continua a se mover e ganhar velocidade até que o empuxo e o arrasto se igualem. A fim de manter uma velocidade estável, o empuxo e o arrasto devem permanecer iguais, exatamente como a sustentação deve estar igualada ao peso, para um vôo horizontal estabilizado. Temos visto que o aumento de sustentação significa que a aeronave se move para cima, ao passo que diminuindo a sustentação, de forma que ela fique menor que o peso, provoca perda de altitude por parte da aeronave. Regra similar se aplica às forças de empuxo e arrasto. Se a R.P.M. de um motor for reduzida, o empuxo também será diminuído, e a aeronave perderá altitude. Enquanto o empuxo for cada vez menor, e como o arrasto é constante, a aeronave se deslocará cada vez mais lentamente, até que sua velocidade seja insuficiente para mantê-la no ar.

Da mesma forma, se a R.P.M. do motor for aumentada, o empuxo se tornará maior que o arrasto e a velocidade da aeronave aumentará. Enquanto o empuxo continuar sendo maior que o arrasto, a aeronave continuará a acelerar. Quando eles se estabilizarem, a aeronave voará à velocidade estabilizada.

O movimento relativo do ar sobre os objetos que produzem sustentação, também produz o arrasto, que é a resistência do ar aos objetos que se movem nele.

Se uma aeronave estiver voando nivelada, a força de sustentação age verticalmente para suportá-la, enquanto a força

de arrasto age horizontalmente empurrando-a para trás. O arrasto total sobre a aeronave é proporcionado por muitas forças de arrasto, porém para nossos propósitos, consideraremos apenas três: arrasto parasita, arrasto do perfil e arrasto induzido.

O arrasto parasita é produzido pela combinação de diferentes forças de arrasto. Qualquer objeto exposto numa aeronave oferece a mesma resistência ao ar, e quanto mais objetos no fluxo de ar, maior é o arrasto parasita. Enquanto o arrasto parasita pode ser reduzido, diminuindo-se o número de partes expostas, e dando-lhes uma forma aerodinâmica, o atrito de superfície é o tipo de arrasto parasita mais difícil de ser reduzido.

Nenhuma superfície é perfeitamente lisa. Mesmo superfícies usinadas, quando inspecionadas sob ampliação, têm uma aparência desigual.

Essas superfícies desiguais desviam o ar junto à superfície, causando resistência ao suave fluxo de ar. O atrito superficial pode ser reduzido, usando-se planos com acabamento polido e eliminando-se cabeças de rebites salientes, rugosidades e outras irregularidades.

O arrasto de perfil pode ser considerado como um arrasto parasita do aerofólio. Os diversos componentes do arrasto parasita são da mesma natureza que o arrasto de perfil.

A ação do aerofólio, que nos dá sustentação, causa o arrasto induzido.

Devemos lembrar que a pressão sobre a asa é menor que a pressão atmosférica, e a pressão abaixo da asa é igual ou maior que a pressão atmosférica. Uma vez que os fluídos sempre se movem da alta para a baixa pressão, há um movimento do ar, no sentido da parte inferior da asa afastando-se da fuselagem e para cima, em volta da ponta da asa. Esse fluxo de ar resulta em um "derrame" na ponta da asa, formando assim redemoinho chamado de Vortex da Ponta da Asa (figura 13-9). O ar na superfície superior tem uma tendência a se mover na direção da fuselagem e para fora do bordo de fuga. Essa corrente de ar forma um Vortex similar na parte interna do bordo de fuga da asa. Esses Vortexes aumentam o arrasto devido à turbulência produzida e constituem o arrasto induzido. Com o aumento da sustentação, devido o aumento do ângulo de ataque, o arrasto induzido também aumenta.

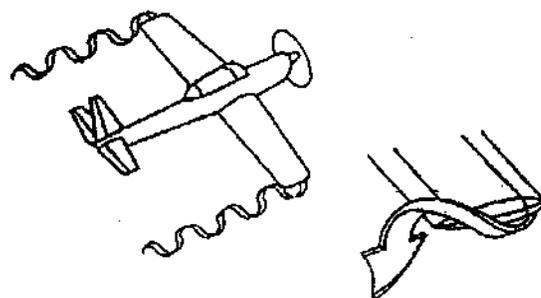


Figura 13-9 - Vortexes de ponta de asa.

Isso ocorre, porque, na medida em que o ângulo de ataque aumenta, existe maior diferença de pressão entre o topo e o fundo da asa. Isso causa vortexes mais violentos, resultando em mais turbulências e mais arrasto induzido.

Eixos de uma aeronave

Sempre que uma aeronave muda sua atitude em vôo, ela tem que girar sobre um ou mais dos seus três eixos.

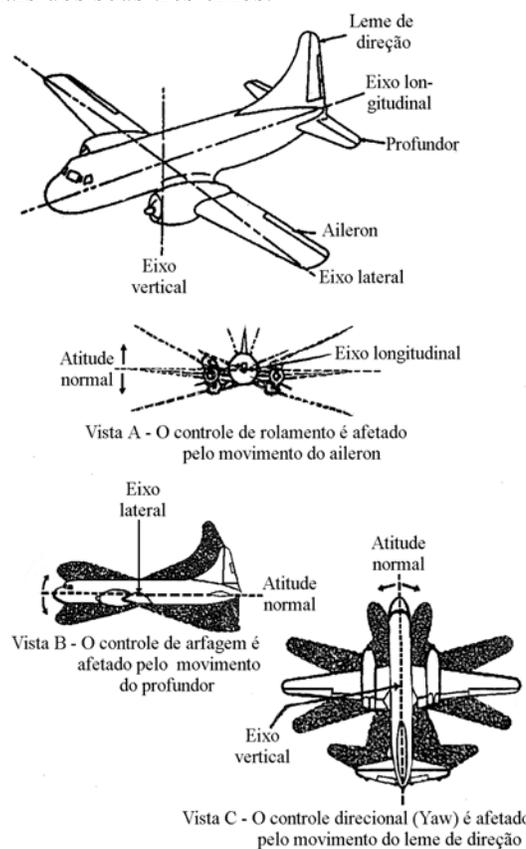


Figura 13-10 – Movimentos de uma aeronave sobre seus eixos.

A Figura 13-10 mostra os três eixos, os quais são linhas imaginárias que passam no centro da aeronave

Os eixos de uma aeronave podem ser considerados eixos imaginários, em torno dos quais a aeronave gira como uma roda. No centro, onde os três eixos se interceptam, cada um deles é perpendicular aos outros dois.

O eixo, que se estende através da fuselagem do nariz para a cauda, é denominado eixo longitudinal. O eixo que se estende transversalmente de ponta a ponta da asa, é chamado lateral. O eixo que passa pelo centro, do fundo ao topo, é chamado eixo vertical.

O movimento sobre o eixo longitudinal é semelhante ao balanço de um navio de um lado para outro. De fato, os nomes utilizados na descrição dos movimentos em torno dos três eixos de uma aeronave, são termos de origem náutica. Eles foram adaptados para a terminologia aeronáutica devido a similaridade entre os movimentos de uma aeronave e de um navio.

Assim, o movimento em torno do eixo longitudinal é chamado rolamento; àquele em torno do eixo lateral é chamado arfagem; e, finalmente, o movimento de uma aeronave, em torno do eixo vertical, é chamado guinada, ou seja, um movimento horizontal do nariz da aeronave.

Rolamento, arfagem e guinada, movimentos de uma aeronave em torno dos eixos longitudinal, lateral e vertical são controlados por três superfícies de controle. O rolamento é produzido pelos ailerons, os quais estão localizados no bordo de fuga das asas. A arfagem é afetada pelos profundores, na parte traseira do estabilizador horizontal. O movimento de guinada é controlado pelo leme de direção, na parte traseira do conjunto vertical da empenagem.

ESTABILIDADE E CONTROLE

Uma aeronave deve ter estabilidade suficiente para manter uma trajetória uniforme de vôo, e se recuperar da ação das diversas forças. Também para obter o melhor desempenho, a aeronave deve ter a resposta para os movimentos dos controles.

Três termos que sempre aparecem em qualquer discussão sobre estabilidade e

controle, são: (1) Estabilidade propriamente dita, (2) Maneabilidade e (3) Controlabilidade.

Estabilidade é a característica de uma aeronave, que tende a fazê-la voar em trajetórias reta e nivelada.

Maneabilidade é a habilidade de uma aeronave, quanto à sua dirigibilidade ao longo de uma trajetória de vôo, para resistir aos esforços que lhes são impostos.. Controlabilidade é a qualidade de resposta de uma aeronave ao comando do piloto, quando manobramos a aeronave.

Estabilidade Estática

Uma aeronave está num estado de equilíbrio, quando a soma de todas as forças que agem sobre ela, e a soma de todos os momentos é igual a zero. Uma aeronave em equilíbrio não sofre aceleração, e mantém um vôo em condição uniforme. Uma rajada de vento ou uma deflexão dos controles, alteram o equilíbrio, e a aeronave sofre uma aceleração, devido ao desbalanceamento dos momentos ou das forças.

Os três tipos de estabilidade estática são definidos pela característica do movimento que se segue a cada perturbação do equilíbrio.

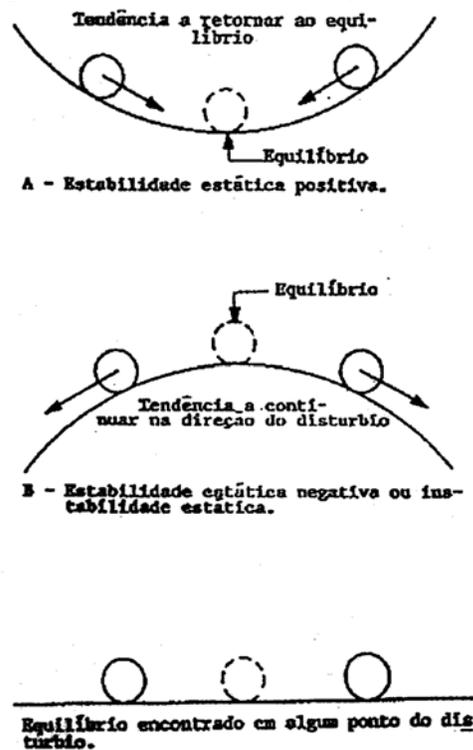


Figura 13-11 – Estabilidade estática.

A estabilidade estática positiva existe quando o objeto que sofre a perturbação, tende a retornar ao equilíbrio. Estabilidade negativa ou instabilidade estática existe quando o objeto que sofre a perturbação tende a continuar na direção do distúrbio.

A estabilidade estática neutra existe quando o objeto que sofre a perturbação não tem tendência a retornar, ou a continuar, na direção de deslocamento, porém permanece em equilíbrio na direção do distúrbio.

Esses três tipos de estabilidade estão ilustrados na figura 13-11.

Estabilidade Dinâmica

Enquanto a estabilidade estática, trata da tendência de um corpo deslocado retornar ao equilíbrio, a estabilidade dinâmica diz respeito ao movimento que resulta com o tempo. Se um objeto sofre um distúrbio em relação ao seu equilíbrio, o tempo de movimento resultante, define a estabilidade dinâmica do objeto.

Em geral, um objeto demonstra estabilidade dinâmica positiva, se a amplitude do movimento diminui com o tempo. Caso a amplitude aumente com o tempo, diz-se que o objeto possui instabilidade dinâmica.

Toda aeronave deve demonstrar o grau requerido de estabilidade estática e dinâmica. Se uma aeronave for projetada com instabilidade estática e uma ligeira taxa de instabilidade dinâmica, ela estará difícil, se não impossível de voar. Geralmente a estabilidade dinâmica positiva, em uma aeronave, é projetada para evitar oscilações continuadas desagradáveis.

Estabilidade Longitudinal

Quando uma aeronave tem uma tendência de manter um ângulo de ataque constante com relação ao vento relativo - ou seja, quando ela não tende a jogar seu nariz para baixo e mergulhar ou levantar seu nariz e perder velocidade diz-se que ela tem estabilidade longitudinal. Estabilidade longitudinal se refere ao movimento de arfagem. O estabilizador horizontal é a superfície primária que controla a estabilidade longitudinal. A ação de estabilizador depende da velocidade e do ângulo de ataque da aeronave.

A Figura 13-12 ilustra a contribuição da empenagem para a estabilidade.

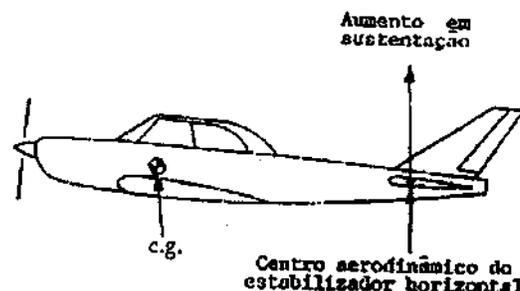


Figura 13-12 Sustentação na empenagem.

Se uma aeronave muda seu ângulo de ataque, ocorre uma mudança na sustentação no centro aerodinâmico (centro de pressão) do estabilizador horizontal.

Sob certas condições de velocidade, carga e ângulo de ataque, o fluxo de ar sobre o estabilizador horizontal cria uma força, a qual empurra a empenagem para cima ou para baixo. Quando devido as condições, o fluxo de ar cria forças iguais para cima e para baixo, dizemos que as forças estão em equilíbrio. Essa condição é geralmente encontrada em vôo nivelado e em vento calmo.

Estabilidade Direcional

A estabilidade em torno do eixo vertical é conhecida como estabilidade direcional. A aeronave deve ser projetada, de forma que, quando ela estiver em vôo reto e nivelado, permaneça em sua proa, mesmo que o piloto tire suas mãos e pés dos controles.

Se uma aeronave se recupera automaticamente de uma derrapada, ela foi bem projetada, e possui bom balanceamento direcional. O estabilizador vertical é a superfície primária que controla a estabilidade direcional.

Conforme mostra a figura 13-13, quando uma aeronave sofre uma glissada ou uma guinada, o estabilizador vertical sofre uma mudança no ângulo de ataque, com uma mudança resultante na sustentação (não confundir com a sustentação criada pelas asas). A mudança na sustentação, ou força lateral, sobre o estabilizador vertical, cria um momento de guinada sobre o centro de gravidade, o qual

tende a retornar a aeronave à sua trajetória original.

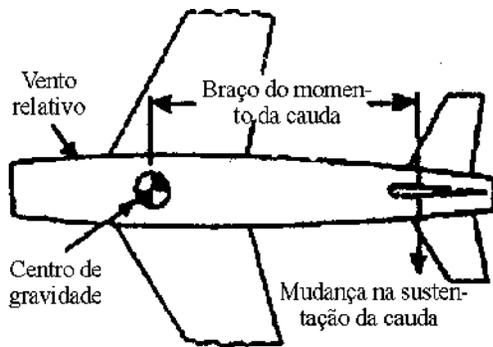


Figura 13-13 Contribuição do estabilizador vertical para a estabilidade direcional.

As asas enflechadas ajudam na estabilidade direcional. Se uma aeronave dá uma guinada na sua direção de vôo, a asa que está à frente oferece maior arrasto de que a que está atrás. O efeito desse arrasto retém a asa que está à frente e deixa a que está atrás alcançá-la.

A estabilidade direcional também é ajudada pela utilização de uma fuselagem longa, e uma grande quilha dorsal.

O alto número Mach do vôo supersônico, reduz a contribuição do estabilizador vertical para a estabilidade direcional. Para produzir a estabilidade direcional a altos números Mach, pode ser necessário uma área do estabilizador vertical muito grande. Alhetas ventrais podem ser colocadas como uma contribuição adicional à estabilidade direcional.

Estabilidade Lateral

Vimos que, arfagem é o movimento em torno do eixo lateral da aeronave, e guinada é o movimento em torno do seu eixo vertical. O movimento em torno do seu eixo longitudinal (na frente ou atrás) é um movimento lateral ou de rolamento. A tendência de retornar para a atitude original é chamada estabilidade lateral.

A estabilidade lateral de uma aeronave, envolve considerações de momento de rolamento devido à glissada. Uma glissada tende a produzir os movimentos, tanto de rolagem quanto de guinada. Se uma aeronave tem um momento de rolamento favorável, uma guinada tende a retornar a aeronave para a atitude de vôo

nivelado. A superfície principal, em termos de contribuição para a estabilidade lateral de uma aeronave, é a asa.

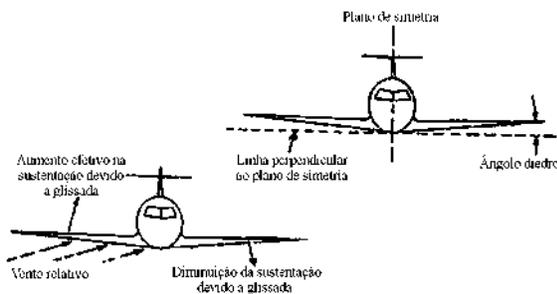


Figura 13-14 Contribuição do diedro para a estabilidade lateral.

O efeito da geometria do diedro (figura 14) de uma asa, é uma contribuição em potencial para a estabilidade lateral. Como mostrado na figura 13-14, uma asa com diedro desenvolve momentos de rolagem estáveis com glissada. Com vento relativo lateral, a asa do lado do vento está sujeita a um aumento do ângulo de ataque, e desenvolve um aumento de sustentação. A asa contrária à direção do vento está sujeita a uma diminuição do ângulo de ataque, e desenvolve menos sustentação. As mudanças na sustentação produzem um momento de rolagem tendendo a levantar a asa contra o vento.

Quando a asa é enflechada, o diedro efetivo aumenta rapidamente com a mudança no coeficiente de sustentação da asa. Enflechamento é o ângulo entre uma linha perpendicular à linha de centro da fuselagem e o quarto de corda de cada seção de aerofólio da asa. O enflechamento em combinação com o diedro faz com que o efeito do diedro seja excessivo.

Conforme mostra a figura 13-15, a aeronave com asa enflechada durante uma glissada, tem uma asa que está operando do lado do vento, com um aumento efetivo no enflechamento, enquanto a outra asa opera com uma redução efetiva no enflechamento.

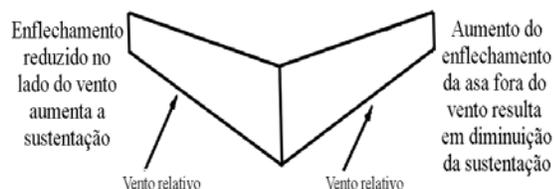


Figura 13-15 Efeito do enflechamento na estabilidade lateral.

A asa do lado do vento produz mais sustentação que a do lado contrário. Isso tende a restabelecer a atitude de vôo nivelado da aeronave.

A medida do diedro efetivo, necessária para produzir um vôo de qualidade satisfatória, varia muito com o tipo e o propósito da aeronave. Geralmente, o diedro efetivo é mantido baixo, porque o alto rolamento, devido à glissada, pode criar problemas. Um excesso no diedro efetivo pode conduzir ao movimento lento oscilatório ("dutch roll"), dificuldade de coordenação do leme nas manobras de rolagem, ou impor extrema dificuldade no controle lateral, durante decolagens e pousos com vento cruzado.

CONTROLE

Controle é a atitude tomada para fazer com que a aeronave siga a trajetória de vôo desejada.

Quando se diz que uma aeronave é controlável, significa que ela responde fácil e prontamente ao movimento dos controles. Diferentes superfícies de controle são utilizadas para controlar a aeronave em torno de cada um dos seus três eixos. Movendo-se as superfícies de controle em uma aeronave, muda-se o fluxo de ar que atua nessas superfícies. Isso por sua vez, cria mudanças no balanceamento das forças que agem para manter a aeronave em vôo reto e nivelado.

Superfícies de controle de vôo

As superfícies de controle ou de comando de vôo, são aerofólios articulados ou móveis, projetados para modificar a atitude de uma aeronave durante o vôo. Essas superfícies podem ser divididas em três grupos, geralmente denominados de grupo primário, grupo secundário e grupo auxiliar.

Grupo primário

O grupo primário inclui os ailerons, profundores e leme (figura 13-16). Essas superfícies são usadas para movimentar a aeronave em torno dos seus três eixos.

Os ailerons e profundores são geralmente comandados da cabine, por um

volante e um conjunto de forquilha nas aeronaves multimotoras. O leme é comandado por pedais em todos os tipos de aeronaves.

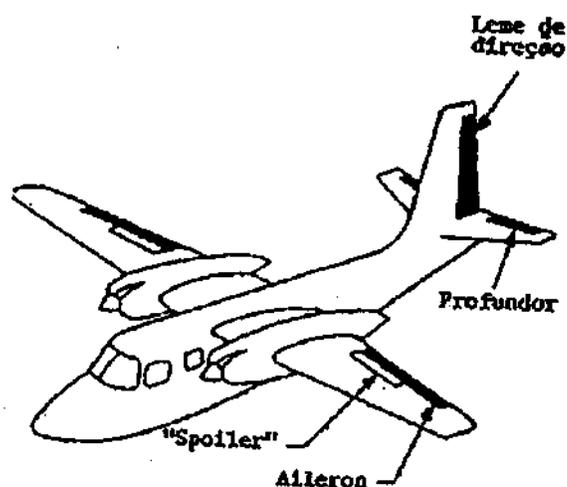


Figura 13-16 Controles primários de vôo

Grupo secundário

Incluídos no grupo secundário estão os compensadores comandáveis e os compensadores conjugados. Compensadores comandáveis são pequenos aerofólios (figura 13-17) encaixados nos bordos de fuga das superfícies de comando primárias.

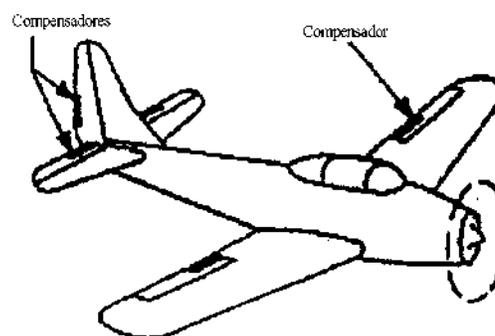


Figura 13-17 Compensadores.

O propósito dos compensadores comandáveis é capacitar o piloto para corrigir qualquer condição de desbalanceamento que possa existir durante o vôo, sem exercer qualquer pressão sobre os controles primários. Cada compensador está articulado à sua superfície matriz de controle primário, porém controlada por um comando independente.

Os compensadores conjugados são similares quanto à aparência aos compensadores comandáveis, porém têm diferentes propósitos.. Eles são usados para ajudar o piloto na movimentação das superfícies primárias de controle.

Grupo auxiliar

Estão incluídos no grupo auxiliar de superfícies de controle de vôo, os flapes de asa, os "spoilers", os freios aerodinâmicos, os "slats" (aerofólio auxiliar móvel), os flapes de bordo de ataque e os "slots" (fenda na asa).

O grupo auxiliar pode ser dividido em dois sub grupos: aqueles cujo propósito primário é aumentar a sustentação; e aqueles cujo propósito é diminuí-la. No primeiro grupo estão os flapes, tanto o de bordo de fuga quanto o de bordo de ataque ("slats") e os eslots ("slots"). Os dispositivos destinados a diminuir a sustentação são os "spoileres" e os freios aerodinâmicos.

Os flapes aumentam a área da asa, aumentando dessa forma a sustentação na decolagem, e diminuindo a velocidade durante o pouso. Esses aerofólios são retrateis e se ajustam aerodinamicamente ao contorno da asa. Os outros são simplesmente parte do revestimento inferior, os quais se estendem pelo fluxo de ar diminuindo a velocidade da aeronave.

Os flapes de bordo de ataque são aerofólios, que se estendem e se retraem do bordo de ataque das asas. Alguns tipos criam uma abertura entre o aerofólio estendido e o bordo de ataque.

O flape (chamado de "slat" por alguns fabricantes) e os eslots, produzem sustentação adicional nas baixas velocidades durante decolagens e pousos. Outros tipos têm eslots permanentes construídos no bordo de ataque das asas. Nas velocidades de cruzeiro, os flapes de bordo de fuga e de ataque se retraem para a própria asa.

Os dispositivos de aumento de sustentação são os freios aerodinâmicos (spoileres). Em alguns casos, existem dois tipos de spoileres. O "spoiler" de solo que é estendido somente após o pouso da aeronave, auxiliando, dessa forma, a ação de frenagem. "Spoiler" de vôo e o que auxilia o controle lateral, sendo es

tendido sempre que o aileron da respectiva asa é acionado para cima.

Quando atua como freios aerodinâmicos, os "spoileres", em ambas as asas, têm maior amplitude no lado superior da asa que na parte inferior desta. Isso permite a operação do freio aerodinâmico e controle posterior, simultaneamente.

Os "slats" são superfícies móveis de controle presas ao bordo de ataque das asas.

Quando fechado, o "slat" forma o bordo de ataque da asa. Quando na posição aberta (estendido para frente) é criado um eslote entre o "slat" e o bordo de ataque da asa. Em baixas velocidades, isso aumenta a sustentação e melhora as características de manejo, permitindo que a aeronave seja controlada em velocidades diferentes das velocidades normais de pouso.

Controle em torno do eixo longitudinal

O movimento da aeronave em torno do eixo longitudinal é chamado rolamento (ou rolagem), ou inclinação lateral. Os ailerons (figura 13-18) são utilizados para controlar esse movimento.

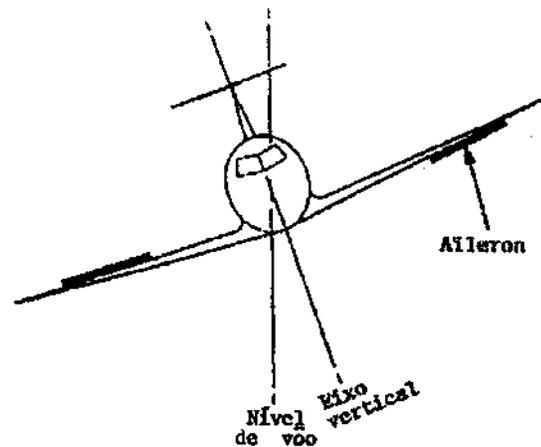


Figura 13-18 Ação do aileron.

Os ailerons formam parte da asa e estão localizados no bordo de fuga, próximos às pontas dessas asas. Os ailerons são as superfícies móveis de outra superfície fixa que é a asa. O aileron está na posição neutra quando está aerodinamicamente alinhado com o bordo de fuga da asa.

Os ailerons respondem à pressão lateral aplicada ao manche. A pressão aplicada para mover o manche para a direita levanta o aileron

direito e abaixa o esquerdo, provocando a inclinação da aeronave para a direita.

Os ailerons são interligados por cabos de comando, de forma que, quando um aileron é comandado para baixo, o outro é comandado para cima. A função do aileron que é comandado para baixo é aumentar a sustentação, aumentando a cambra da asa. Ao mesmo tempo o aileron abaixado, também cria arrasto adicional, uma vez que ele está numa área de alta pressão embaixo da asa.

O aileron que está em cima, na extremidade oposta da asa, diminui a sustentação daquele lado. O aumento de sustentação sob a asa cujo aileron está para baixo, levanta essa asa. Isso provoca o rolamento da aeronave em torno do seu eixo longitudinal, conforme mostrado na figura 13-19.

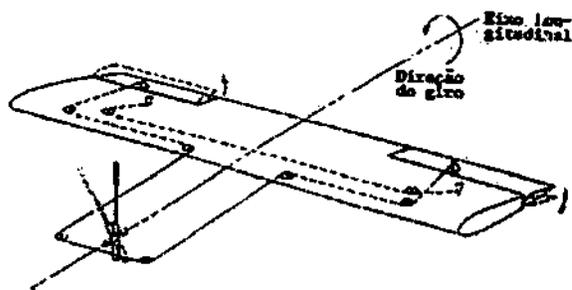


Figura 13-19 Sistema de controle do aileron.

Como resultado do aumento de sustentação na asa cujo aileron está para baixo, o arrasto também é aumentado. Esse arrasto produz um esforço para puxar o nariz na direção da asa alta. Uma vez que os ailerons são utilizados em conjunto com o leme, quando a aeronave está em curva, o aumento de arrasto tenta girar a aeronave na direção oposta à desejada.

Para evitar esse efeito indesejável as aeronaves são projetadas com deslocamentos diferenciados dos ailerons.

O deslocamento diferenciado do aileron (figura 13-20) proporciona maior deslocamento para cima do que para baixo, para um dado movimento do manche ou do volante na cabine.

Os "spoileres" ou freios aerodinâmicos, como também são chamados, são placas instaladas na superfície superior da asa. Elas são geralmente defletidas para cima por meio de atuadores hidráulicos, em resposta ao movimento do volante de controle na cabine.

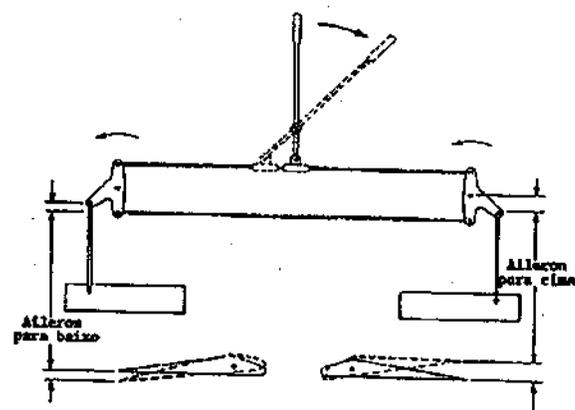


Figura 13-20 Controle diferencial do aileron.

O propósito dos "spoilers" é perturbar o fluxo de ar uniforme que passa pelo topo da aerofólio, criando assim um aumento do arrasto e uma redução da sustentação nesse aerofólio.

Os "spoileres" são utilizados, a princípio, para controle lateral. Durante a inclinação de uma aeronave, os "spoileres" funcionam com os ailerons.

Os "spoileres" do lado cujo aileron está para cima sobem com esse aileron para posterior redução da sustentação da asa.

O "spoiler" do lado oposto permanece na posição inalterada.

Quando os spoileres são utilizados como freios aerodinâmicos, são totalmente defletidos para cima, simultaneamente.

Uma alavanca de comando separada, permite a operação dos "spoileres" como freios aerodinâmicos.

Enquanto temos uma tendência a imaginar um "spoiler" como sendo um dispositivo de controle totalmente complicado, deveríamos ter em mente que alguns não são controláveis.

Alguns "spoileres" são operados automaticamente e atuam apenas em grandes ângulos de ataque. Essa montagem os mantém fora do turbilhonamento a altas velocidades e em cruzeiro.

Um "spoiler" fixo pode ser uma pequena cunha afixada ao bordo de ataque do aerofólio, como mostrado na figura 13-21.

Esse tipo de "spoiler" faz com que a parte de dentro da asa estole na frente da parte de fora, o que resulta em controle do aileron até que ocorra o estol completo da asa.

Usamos extrema precisão no posicionamento de um "spoiler" de bordo de

ataque durante sua reinstalação, após ter sido removido para manutenção. O posicionamento inadequado pode resultar em características adversas de estol.

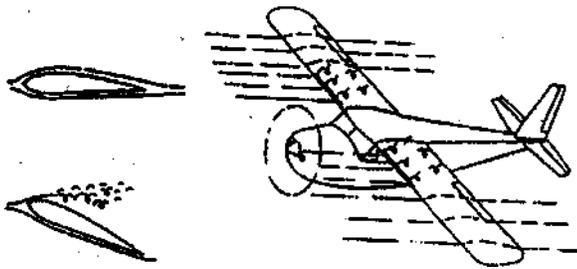


Figura 13-21 Spoilers fixos.

Seguimos sempre as instruções do fabricante, com respeito à localização e método de fixação.

Controle em torno do eixo vertical

Girando o nariz de uma aeronave, provocamos a rotação dessa aeronave em torno do seu eixo vertical. A rotação da aeronave em torno do eixo vertical é chamada de guinada. Esse movimento é controlado pelo leme, como ilustrado na figura 13-22.

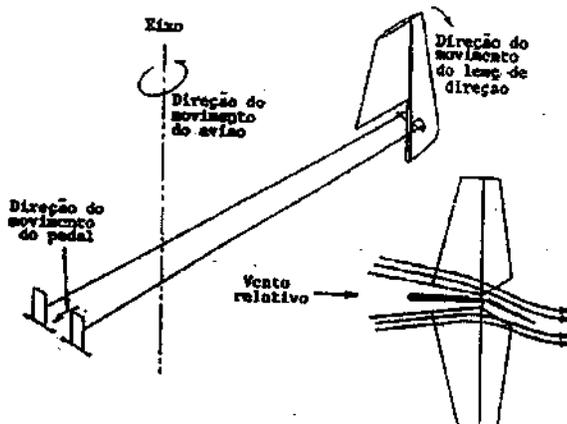


Figura 13-22 Ação do leme de direção.

O leme é uma superfície de comando, unida ao bordo de fuga do estabilizador vertical. Para girar a aeronave para a direita, o leme é movimentado para a direita. O leme sobressai no fluxo de ar fazendo com que uma força aja sobre ele.

Essa é a força necessária para dar o movimento giratório em torno do centro de gravidade, o qual gira a aeronave para a direita. Se o leme for movimentado para a esquerda, induz uma rotação no sentido anti-horário, e a aeronave similarmente gira para a esquerda.

O leme pode também ser utilizado no controle de curva e inclinação em voo.

A principal função do leme é girar a aeronave em voo. Esse giro é mantido pela pressão lateral do ar em movimento, passando pela superfície vertical.

Quando uma aeronave começa a escorregar ou derrapar, é aplicada uma pressão no leme para manter a aeronave aprofada na direção desejada.

Glissagem se refere a qualquer movimento da aeronave para o lado e para baixo, na direção do interior da curva. Derrapagem diz respeito a qualquer movimento para cima e para fora do centro da curva.

Controle em torno do eixo lateral

Quando o nariz de uma aeronave é levantado ou abaixado, ele gira sobre seu eixo lateral.

Os profundores são superfícies móveis de comando que provocam sua rotação (figura 13-23). Eles estão normalmente unidos ao bordo de fuga do estabilizador horizontal.

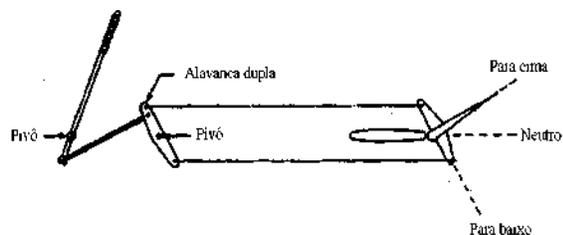


Figura 13-23 Controle do profundor.

Os profundores são usados para fazer a aeronave elevar-se ou mergulhar e, também para obter suficiente sustentação das asas para manter a aeronave nivelada nas diversas velocidades de voo.

Os profundores podem ser movimentados tanto para cima quanto para baixo; se ele for movimentado para cima, diminui a força de sustentação na cauda, provocando sua queda e elevação do nariz, se o profundor for movimentado para baixo, ele

aumenta a força de sustentação sobre a cauda, provocando sua elevação e abaixando o nariz.

Abaixando-se o nariz da aeronave, aumenta-se sua velocidade; elevando-o, diminuímos a velocidade.

Algumas aeronaves utilizam uma superfície horizontal móvel chamada estabilizador móvel (figura 13-24). Esse estabilizador serve para o mesmo propósito do estabilizador horizontal, combinado ao profundor.

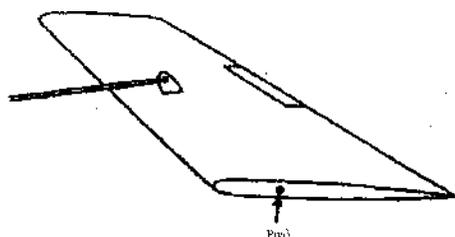


Figura 13-24 Estabilizador horizontal móvel.

Quando o controle na cabine é comandado, o estabilizador completo é movimentado para elevar ou abaixar o bordo de ataque, mudando dessa forma o ângulo de ataque e a sustentação nas superfícies da empenagem. Algumas empenagens de aeronaves são projetadas com uma combinação dos estabilizadores vertical e horizontal. Esse tipo de empenagem tem os seus estabilizadores montados, formando um ângulo, conforme mostra a figura 13-25. As empenagens com esse formato são conhecidas como empenagem em "V".

As superfícies de comando são instaladas no bordo de fuga dos estabilizadores. A parte estabilizadora desse conjunto é denominada estabilizador e a parte de comando é denominada "ruddervators" (combinação de leme e profundor).

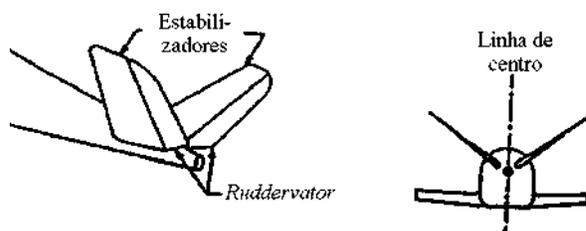


Figura 13-25 Empenagem em "V".

Essas superfícies podem ser comandadas, ambas para baixo ou para cima, ao mesmo tempo. Quando utilizadas dessa forma, o resultado é o mesmo que seria obtido com

qualquer outro tipo de profundor. Esse comando é executado através do manche.

Os "ruddervators" podem ser comandados em sentidos opostos um ao outro, empurrando-se o pedal do leme direito ou esquerdo (figura 13-26).

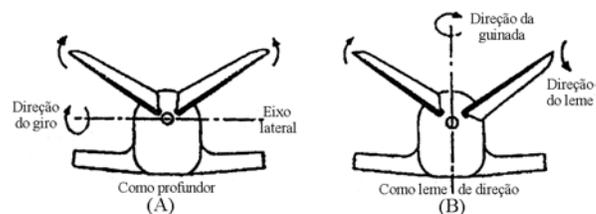


Figura 13-26 Ação dos *Ruddervators*

Se o pedal do leme direito for empurrado, a superfície direita se move para baixo e a esquerda para cima. Isso produz um movimento de rotação que moverá o nariz da aeronave para a direita.

COMPENSADORES

Muito embora uma aeronave tenha a estabilidade inerente, nem sempre ela tende a voar reta e nivelada.

O peso e a distribuição da carga afetam a estabilidade da aeronave. Diversas velocidades também afetam as características de voo.

Se o combustível do tanque de uma asa for utilizado antes do combustível do tanque da outra asa, a aeronave tenderá a girar para o lado do tanque cheio.

Todas essas variações requerem constante atuação nos comandos para correção.

Enquanto subindo ou em planeio, é necessário aplicar pressão nos comandos para que a aeronave mantenha a atitude desejada.

Para compensar as forças que tendem a desbalancear o voo de uma aeronave, os ailerons, profundores e leme dispõem de comandos auxiliares conhecidos como compensadores.

São pequenas superfícies de comando, ligadas ao bordo de fuga da superfície de comando primária (figura 13-27). Os compensadores podem ser comandados para cima ou para baixo, por meio de manivela ou comando elétrico na cabine. Os compensadores podem ser comandados para cima ou para baixo, por meio de manivela ou comando elétrico na cabine.

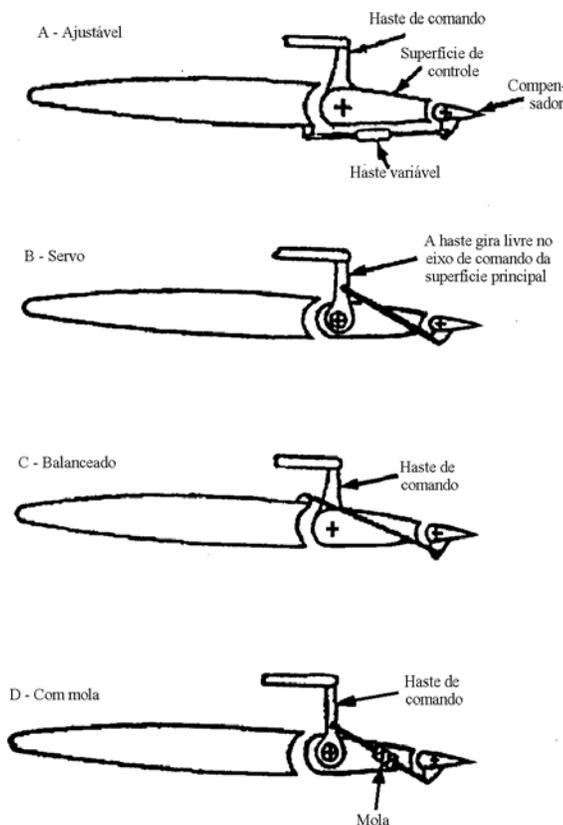


Figura 13-27 Tipos de compensadores.

Esses compensadores podem ser usados para contrabalançar as forças que atuam sobre os comandos, de forma que a aeronave voe reta e nivelada, ou mantenha uma atitude de subida ou planeio.

Compensadores ajustáveis

Os compensadores ajustáveis, ajustam a aeronave em vôo. Ajustar significa corrigir qualquer tendência que a aeronave tenha de se movimentar para uma atitude indesejada de vôo.

Os compensadores ajustáveis controlam o balanceamento de uma aeronave de forma a mantê-la em vôo reto e nivelado, sem atuação na coluna de comando, volante ou pedais do leme.

A figura 13-27A ilustra um compensador ajustável. Note que o compensador tem uma articulação variável, que é ajustada da cabine.

O movimento do compensador em uma direção provoca a deflexão da superfície de comando na direção oposta.

A maioria dos compensadores instalados

em aeronaves são comandados mecanicamente da cabine, através de um sistema individual de cabos. Contudo, algumas aeronaves têm compensadores ajustáveis que são operados através de um atuador elétrico.

Os compensadores ajustáveis são ou controlados da cabine, ou ajustados no solo, antes da decolagem. Eles são instalados nos profundos leme, e ailerons.

Servo compensadores

Os servos compensadores (figura 13-27B) são similares em aparência e operação aos compensadores já mencionados. São utilizados primariamente nas grandes superfícies de comando principais. Eles ajudam na movimentação da superfície de comando, mantendo-a na posição desejada. Apenas o servo compensador se movimenta, em resposta ao comando da cabine (A haste do servo compensador é livre para girar, do eixo da superfície de comando principal).

A força do fluxo de ar sobre o servo compensador então movimenta a superfície primária de comando. Com a utilização do servo compensador menos força é necessária para movimentar a superfície de comando primária.

Servo comando

Um servo comando é mostrado na figura 13-27C. A articulação é projetada de tal maneira que, quando a superfície de comando primário é movimentada, o compensador, se move na direção oposta. Dessa forma, forças aerodinâmicas, atuando sobre o compensador ajudam a movimentar a superfície de comando primária.

Compensadores com mola

Os compensadores com mola (figura 13-27D) são de aparência similar aos compensadores ajustáveis, porém servem para diferentes propósitos.

Os compensadores com mola são usados com os mesmos propósitos dos atuadores hidráulicos, isto é, ajudar na movimentação da superfície primária de comando.

Existem diversas montagens utilizadas na articulação do compensador com mola. Em

algumas aeronaves, um compensador com mola está ligado ao bordo de fuga de cada aileron, e é atuado por um conjunto formado por haste, do tipo vaivém, carregada por mola, a qual está também ligada à articulação de controle dos ailerons. A articulação é conectada de tal forma que o movimento do aileron em uma direção, provoca a deflexão do compensador com mola na direção oposta. Isso proporciona uma condição de balanceamento, reduzindo dessa forma, a intensidade da força requerida para movimentar os ailerons.

A deflexão do compensador com mola é diretamente proporcional à carga aerodinâmica imposta ao aileron; por conseguinte, as baixas velocidades e o compensador com mola permanecem na posição neutra, e o aileron fica sendo uma superfície controlada manualmente. As altas velocidades, onde a carga aerodinâmica é maior, o compensador funciona como uma ajuda na movimentação da superfície primária de comando.

Para reduzir a força requerida para comandar uma superfície de comando, elas são geralmente balanceadas estaticamente e aerodinamicamente. O balanceamento aerodinâmico é geralmente conseguido através da extensão de parte da superfície de comando à frente da linha da dobradiça. Isso utiliza o fluxo de ar na aeronave para ajudar na movimentação da superfície. Os diversos métodos para se obter o balanceamento aerodinâmico são mostrados na figura 13-28.

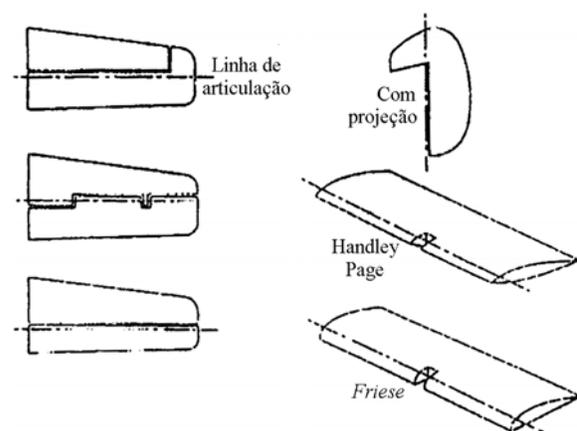


Figura 13-28 Três formas de balanceamento aerodinâmico.

O balanceamento estático é conseguido através da adição de pesos à seção à frente da

linha de articulação, até esses pesos se igualarem ao da seção traseira. Quando fazendo reparo de uma superfície de comando, observamos os cuidados necessários a evitar danos ao balanceamento estático. Uma superfície desbalanceada tem uma tendência a vibrar, na medida em que o ar passa por ela.

DISPOSITIVO DE HIPERSUSTENTAÇÃO

Dispositivos de hipersustentação são utilizados em combinação com aerofólios, de forma a reduzir a velocidade de decolagem ou de pouso, mudando as características de um aerofólio durante essas fases.

Quando esses dispositivos não são necessários, são retornados para uma posição dentro da asa para recuperar as características normais do aerofólio.

Dois dispositivos de hipersustentação comumente utilizados em aeronaves são mostrados na figura 13-29. Um desses dispositivos é conhecido como eslote e é utilizado como um passadiço através do bordo de ataque da asa.

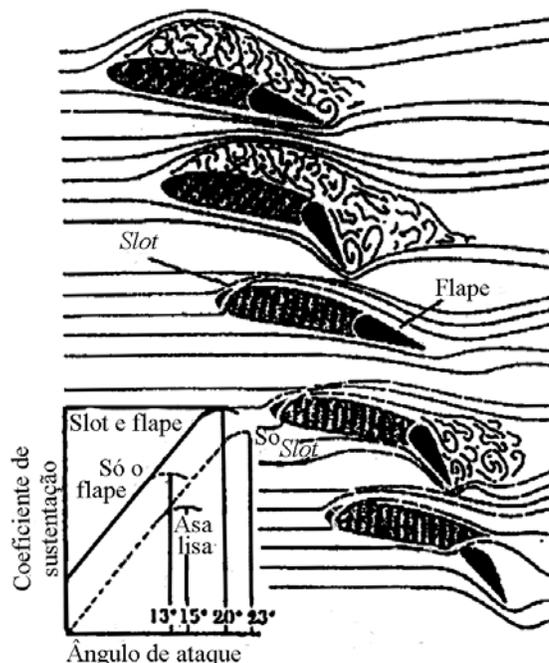


Figura 13-29 Dispositivos de hipersustentação.

Em grandes ângulos de ataque, o ar flui através do eslote e suaviza o fluxo de ar sobre a superfície superior da asa.

Isso permite que a asa vá além do seu ponto normal de estol, sem estolar. Maiores

sustentações são obtidas com a asa operando com ângulo de ataque maior.

O outro dispositivo de hipersustentação é conhecido como flape. É uma superfície ligada à superfície do bordo de fuga da asa. O flape é controlado da cabine, e quando não está em uso, aloja-se suavemente na superfície inferior de cada asa.

A utilização dos flapes aumenta a cambra da asa e, por conseguinte, a sustentação da asa, tornando possível a redução da velocidade da aeronave, sem estolar. Isso também permite a obtenção de curvas com grande inclinação nas aproximações para pouso. Os flapes são usados primariamente durante decolagens e pousos.

Os tipos de flapes em uso em aeronaves incluem: (1) plano, (2) bipartido, (3) "fowler" e (4) eslotado. O plano (figura 13-30) é simplesmente articulado com a asa, formando uma parte da superfície, quando recolhido.

O flape bipartido (figura 13-30) tem esse nome devido a articulação na parte inferior da asa, próximo ao bordo de fuga permitindo que ele seja abaixado da superfície fixa superior.

O flap "fowler" (figura 13-30) é instalado na parte inferior da asa, de forma a facear com a superfície. Quando o flape é acionado, desliza para trás sobre trilhos e pende para baixo ao mesmo tempo.

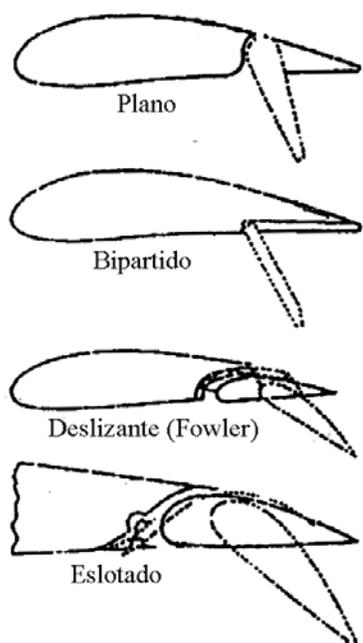


Figura 13-30 Tipos de flapes das asas.

Isso aumenta a cambra da asa, da mesma forma que ocorre com outros tipos de flapes. Contudo, os flapes "fowler" aumentam a área da asa; desse modo, eles aumentam a sustentação sem indevidamente aumentar o arrasto.

O flape eslotado (figura 13-30) é igual ao flap "fowler" quanto a operação, porém, em aparência é similar ao flape plano. Esse flape, ou está equipado com trilhos e roletes ou acoplamentos de projeto especial.

Durante a operação, o flape se desloca para baixo e para trás, para fora da asa. Dessa forma, o eslote aberto permite um fluxo de ar sobre a superfície superior do flape.

O efeito é um fluxo de ar supostamente alinhado e uma melhoria da eficiência do flape.

Dispositivos de controle da camada limite.

A camada de ar sobre a superfície com menor velocidade em relação ao fluxo de ar, é conhecida por camada limite. O fluxo de ar inicial sobre uma superfície uniforme (figura 13-31) dá a evidência de uma camada limite muito fina, com um fluxo que ocorre em camadas que deslizam suavemente, uma sobre a outra. Portanto, o termo para esse tipo de fluxo é "camada limite laminar".

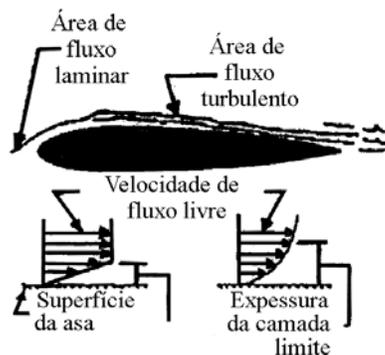


Figura 13-31 Características da camada limite.

Enquanto o fluxo continua do bordo de ataque para trás, forças de fricção na camada limite continuam a dissipar a energia do fluxo dos filetes de ar, diminuindo esse fluxo. A camada limite laminada aumenta em espessura com relação a distância do bordo de ataque da asa.

A certa distância do bordo de ataque, o fluxo laminar começa um distúrbio oscilante instável. Uma ondulação ocorre na camada

limite laminar, a qual cresce de modo a tornar-se mais severa e destruir o suave fluxo laminar. Dessa forma, uma transição ocorre, quando a camada limite laminar desagrega-se numa camada limite turbulenta.

O mesmo tipo de transição pode ser observado na fumaça de um cigarro. Primeiramente a cinta de fumaça é suave e laminar, depois revela uma ondulação definitiva e, depois, torna-se uma amostra turbulenta de fumaça. Os dispositivos de controle da camada limite constituem meios adicionais de aumentar o coeficiente de sustentação de uma seção. A fina camada de ar adjacente à superfície de um aerofólio mostra as velocidades reduzidas pelo efeito do atrito de superfície. Em grandes ângulos de ataque, a camada limite sobre a superfície superior tende a estagnar-se. Quando isso acontece, o fluxo de ar se separa da superfície e ocorre o estol.

Vários dispositivos de controle da camada limite para aplicação de alta sustentação, se destacam para manter a alta velocidade na camada limite e retardar a separação do fluxo de ar. O controle da energia cinética da camada limite pode ser conseguido usando-se eslates (aerofólio auxiliar móvel no bordo de ataque da asa) e a aplicação de sucção, para retirar o ar estagnado e recolocá-lo com alta velocidade de fora da camada limite.

Eslotes (figura 13-32) são superfícies de controle móveis presas ao bordo de ataque das asas. Na posição fechada eles formam o bordo de ataque da asa, na posição aberta (estendido para frente) uma fenda é criada entre o eslote e o bordo de ataque da asa. Dessa forma, ar na forma de alta energia é introduzido na camada limite no topo da asa. Isso é conhecido como "controle da camada limite".

Em baixas velocidades do ar, isso melhora as características de movimentação, permitindo que a aeronave seja controlada lateralmente a velocidades abaixo das velocidades normais de pouso. Controlando-se o ar da camada limite pela sucção na superfície, permite-se que a asa opere em ângulos de ataque maiores.

O efeito das características de sustentação é similar àquele de um eslote, porque o eslote é essencialmente um dispositivo de controle da camada limite, conduzindo ar de alta energia para a superfície superior.

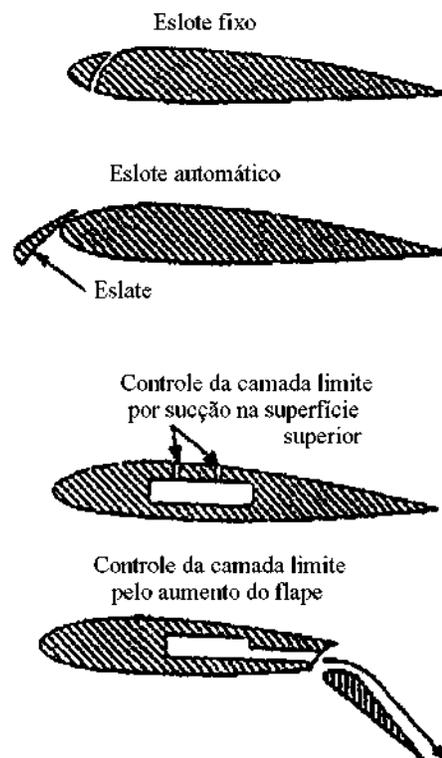


Figura 13-32 Métodos de controlar a camada limite.

O controle da camada limite também pode ser conseguido, direcionando-se o ar sangrado do motor a alta pressão através de um estreito orifício, localizado exatamente à frente no bordo de ataque do flape de asa. Isso dirige um fluxo laminar (camadas de ar) sobre a asa e os flapes, quando estes estiverem abaixados o suficiente para expor o orifício em alta temperatura. O ar laminar a alta velocidade passando sobre a asa e flapes, retarda a separação do fluxo (o fluxo de ar sobre um aerofólio segue o contorno deste aerofólio). Isso resulta em menor velocidade de estol e permite velocidades de pouso mais baixas.

FORÇAS QUE ATUAM SOBRE UM HELICÓPTERO

Uma das diferenças entre um helicóptero e uma aeronave de asas fixas é a principal fonte de sustentação. A aeronave de asa fixa deduz sua sustentação da superfície de um aerofólio fixo, enquanto um helicóptero deriva sustentação de um aerofólio rotativo, denominado rotor.

As aeronaves são classificadas de asa fixa ou de asa rotativa. A palavra helicóptero vem de uma palavra grega, significando "asa rotativa".

Durante qualquer tipo de vôo horizontal ou vertical, existem quatro forças atuando na sustentação, no empuxo, no peso e no arrasto do helicóptero. Sustentação é a força requerida para suportar o peso do helicóptero. Empuxo é a força requerida para vencer o arrasto sobre a fuselagem e outros componentes do helicóptero.

Durante vôo pairado, numa condição "sem vento", o plano desenvolvido é horizontal, isto é, paralelo ao solo. Sustentação e empuxo agem em linha reta para cima; peso e arrasto agem retos para baixo. A soma das forças de sustentação e de empuxo tem que igualar a soma das forças do peso e empuxo, de forma a fazer o helicóptero pairar.

Durante o vôo vertical, numa condição "sem vento", as forças de sustentação e empuxo agem ambos verticalmente para cima. Peso e arrasto agem, ambos verticalmente, para baixo. Quando sustentação e empuxo se igualam ao peso e arrasto, o helicóptero paira; se a sustentação e o empuxo são menores que peso e arrasto, o helicóptero desce verticalmente; se sustentação e empuxo são maiores que peso e arrasto, o helicóptero sobe verticalmente.

Em vôos para frente, o plano desenvolvido é inclinado para frente, dessa forma inclinando a força sustentação-empuxo para frente.

Essa força resultante sustentação-empuxo pode ser decomposta em duas componentes (sustentação atuando verticalmente, e empuxo atuando horizontalmente na direção do vôo). Além disso, para sustentação e empuxo, existe o peso, a força que atua para baixo, e o arrasto, a força que atua para trás, ou força retardadora de inércia e de resistência ao vento.

Em vôo reto e nivelado, vôo para frente desacelerado, a sustentação se iguala ao peso, e o empuxo se iguala ao arrasto (vôo reto e nivelado é o vôo com proa e altitude constantes). Se sustentação exceder o peso, o helicóptero sobe; se a sustentação for menor que o peso o helicóptero desce.

Se o empuxo exceder o arrasto a velocidade do helicóptero aumenta; se o empuxo for reduzido, a velocidade diminui; em

vôo lateral, o plano desenvolvido é inclinado lateralmente na direção do vôo, inclinando dessa forma o vetor sustentação-empuxo lateral total. Nesse caso, a componente sustentação, ou vertical, é ainda reto para cima, o peso reto para baixo; porém o componente aceleração, ou horizontal, agora atua lateralmente com o arrasto, atuando para o lado oposto.

No vôo para trás, o plano desenvolvido é inclinado para trás, inclinando o vetor sustentação-empuxo, lateralmente. O componente do empuxo é para trás, e o componente arrasto, para frente, exatamente oposto ao vôo para frente. O componente de sustentação é reto para cima, e o do peso, reto para baixo.

Torque

A terceira lei de Newton estabelece que "para toda ação existe uma reação igual e oposta". Como o rotor principal de um helicóptero gira em uma direção, a fuselagem tende a girar na direção oposta. Essa tendência que a fuselagem tem de girar, é denominada torque. Uma vez que o efeito do torque sobre a fuselagem é o resultado direto da potência do motor suprida para o rotor principal, qualquer mudança na potência do motor causará uma mudança correspondente no efeito do torque. Quanto maior a potência do motor, maior o efeito do torque. Uma vez que não haja potência do motor, sendo suprida para o rotor principal durante a autorotação, não haverá, também, reação de torque durante a auto-rotação. A força que compensa o torque e proporciona o controle direcional, pode ser produzida por um rotor auxiliar, localizado na cauda.

Esse rotor auxiliar, geralmente chamado de rotor de cauda ou rotor antitorque, produz empuxo na direção oposta à reação de torque desenvolvida pelo rotor principal (figura 13-33).

Pedais na cabine de comando permitem ao piloto aumentar ou diminuir o empuxo no rotor de cauda, como necessário, para neutralizar o efeito de torque.

Outros métodos de compensação do torque e de se prover controle direcional estão ilustrados na figura 13-33.

A centrifugação do rotor principal de um helicóptero atua como um giroscópio. Como tal, ele tem as propriedades da ação giroscópica, uma das quais, a precessão.

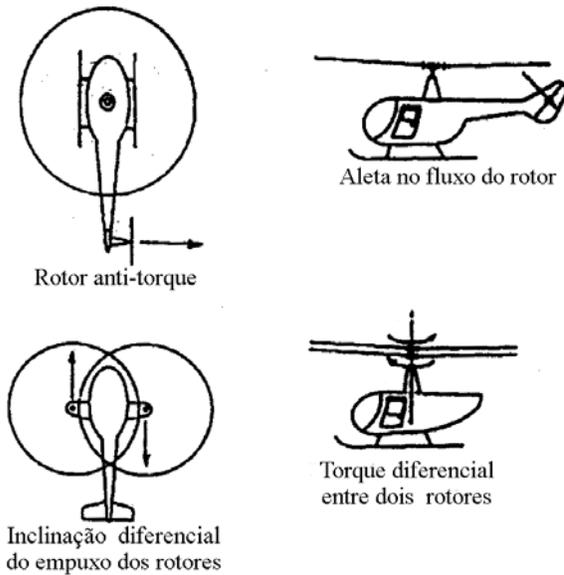


Figura 13-33 Métodos para obtenção do controle direcional

Precessão giroscópica é a ação resultante ou deflexão de um objeto em centrifugação, quando uma força é aplicada a esse objeto.

Essa ação ocorre aproximadamente a 90° na direção de rotação, em relação ao ponto onde a força é aplicada (figura 13-34). Através do uso desse princípio, o plano desenvolvido de um rotor principal pode estar inclinado da horizontal. O movimento no controle cíclico de passo, num sistema de rotor de duas pás, aumenta o ângulo de ataque de uma das pás do rotor, resultando na aplicação de uma força de sustentação maior nesse ponto, no plano de rotação.

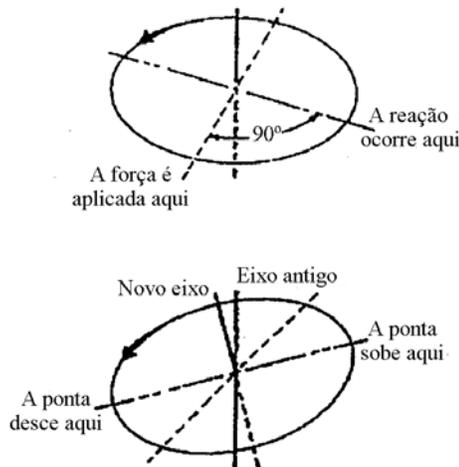


Figura 13-34 Princípio da precessão giroscópica.

Esse mesmo movimento de controle, simultaneamente diminui o ângulo de ataque da outra pá, diminuindo dessa forma a força de sustentação aplicada nesse ponto, no plano de rotação.

A pá com o ângulo de ataque aumentado tende a subir; a pá com o ângulo de ataque diminuído tende a abaixar. Contudo, devido à propriedade da precessão giroscópica, as pás não sobem ou abaixam para a deflexão máxima, até um ponto aproximadamente a 90° após, no plano de rotação

Conforme mostra a figura 13-35, o ângulo de ataque da pá que recua, é aumentado; e o ângulo de ataque da pá que avança, é diminuído; resultando numa inclinação do plano, uma vez que a deflexão máxima acontece 90° atrasados quando as pás estão atrás e na frente respectivamente.

Nos rotores tripás, o movimento do cíclico muda o ângulo de ataque de cada pá de forma apropriada, de maneira que o resultado final seja o mesmo, uma inclinação para frente da ponta do plano quando a máxima troca de ângulo de ataque é feita na medida em que cada pá passa no mesmo ponto no qual os aumentos e diminuições máximos ocorrem para o rotor de duas pás, como mostra a fig. 13-35.

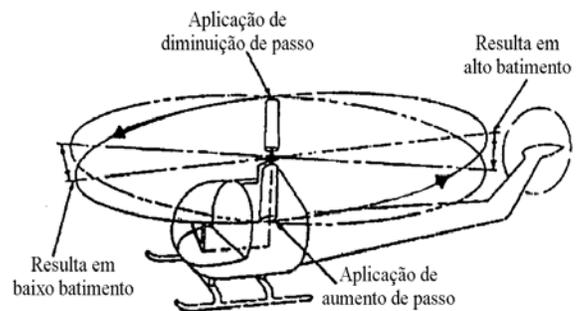


Figura 13-35 O disco do rotor atua como um giroscópio.

Na medida em que cada pá passa pela posição de 90° à esquerda, ocorre o aumento máximo do ângulo de ataque. Na medida em que cada pá passa pela posição de 90° para a direita, ocorre a diminuição máxima no ângulo de ataque.

A deflexão máxima ocorre 90° atrasada. A deflexão máxima para cima na traseira, e a deflexão máxima para baixo na frente e o plano desenvolvido cai para a frente.

Assimetria de sustentação

A área dentro do plano desenvolvido por um rotor principal, é conhecida como área do disco ou disco do rotor.

Quando pairando no ar, a sustentação criada pelas pás do rotor em todas as posições correspondentes em torno do disco é igual.

A assimetria de sustentação é criada pelo vôo horizontal ou vento, durante o vôo pairado, e é a diferença entre a sustentação existente entre a metade da pá avançada da área do disco e a metade da pá retraída. Na R.P.M. normal de operação do rotor e velocidade zero, a velocidade de rotação da ponta da pá é aproximadamente 400 M.P.H.

Quando pairando numa condição sem vento, a velocidade do vento relativo nas pontas das pás, e em qualquer ponto específico ao longo da pá, é a mesma através do plano desenvolvido (figura 13-36).

Contudo, a velocidade é reduzida na medida em que esse ponto se move para posições mais próximas do cubo do rotor, conforme indicado na figura 13-36 pelos dois círculos internos.

Na medida em que o helicóptero se desloca no vôo para frente, o vento relativo que passa por cada pá do rotor se torna uma combinação da velocidade de rotação do rotor e do movimento para frente, do helicóptero.

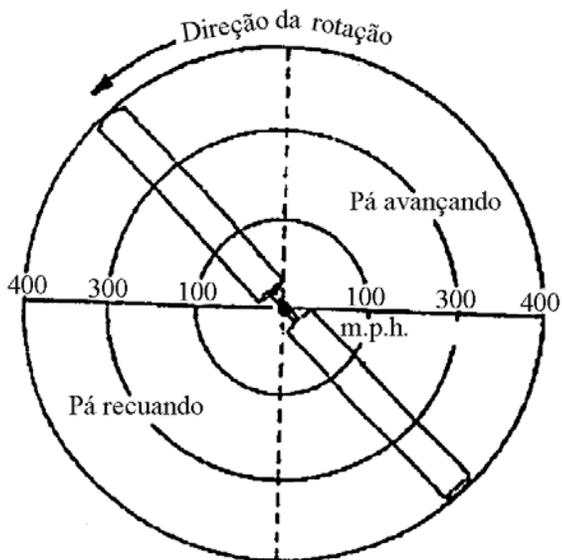


Figura 13-36 Comparação das velocidades entre a pá que avança e a que recua, durante o vôo pairado.

Conforme mostra a figura 13-37, a pá que avança tem a velocidade combinada da pá, mais a do helicóptero.

No lado oposto, a velocidade da pá, que recua é a velocidade da pá menos a velocidade do helicóptero.

É evidente que a sustentação na pá que avança, na metade do disco do rotor, será maior que a sustentação na metade da pá que recua, durante o vôo horizontal, ou quando pairando no vento.

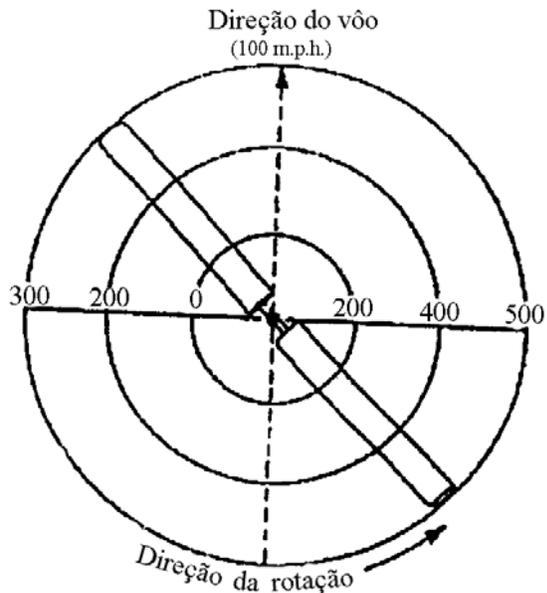


Figura 13-37 Comparação das velocidades das pás entre a pá que avança e a que recua durante o vôo para frente.

Devido à maior sustentação na pá que avança, o helicóptero tende à rolagem, a menos que alguma coisa seja feita para equalizar a sustentação durante o vôo horizontal, ou quando pairando no vento.

Devido à maior sustentação na pá que avança, o helicóptero tende à rolagem, a menos que alguma coisa seja feita para equalizar a sustentação nas pás, em ambos os lados do helicóptero.

Ângulo de batimento

No sistema do rotor tripá, as pás são ligadas ao cubo do rotor pela articulação horizontal, a qual permite que as pás se movam no plano vertical, ou seja para cima ou para baixo na medida em que elas giram (figura 13-38).

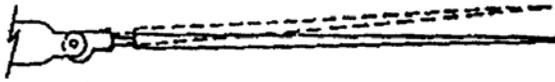


Figura 13-38 Ação do ângulo de batimento (plano vertical).

No vôo para frente, considerando que o passo da pá permanece constante, o aumento de sustentação na pá que avança, provoca o levantamento da pá, aumentando o ângulo de ataque, uma vez que o vento relativo irá mudar da direção horizontal para baixo. A redução da sustentação na pá que recua causará a queda da pá, aumentando o ângulo de ataque devido à troca do vento relativo, da direção horizontal para a direção para cima. A combinação do ângulo de ataque reduzido na pá que avança e o ângulo de ataque aumentado na pá que recua pela ação do ângulo de batimento, tende a equalizar a sustentação sobre as duas metades do disco do rotor. O deslocamento da pá para cima é consequência da força centrífuga, a qual tende a arrancar a pá do cubo e da força de sustentação que tende a levantar a pá sobre sua articulação. Na medida em que as pás sobem, elas deixam seu plano desenvolvido momentaneamente. Em consequência, a ponta da pá que está "batendo" deve percorrer uma distância maior. Dessa forma, ela tem que atingir maior velocidade pôr uma fração de segundo, de forma a acompanhar as outras pás.

A ação de batimento da pá, cria uma condição de desbalanceamento, resultando em vibração. Para evitar essa vibração, braços de arrasto (figura 13-39) são incorporados para permitir o movimento de vaivém no plano horizontal.

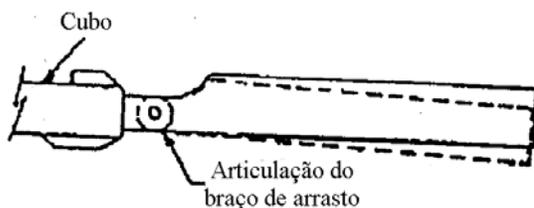


Figura 13-39 Ação do braço de arrasto.

Com as pás livres para se movimentarem no eixo de arrasto, uma condição de desbalanceamento é criada, uma vez que o C.G. (Centro de Gravidade) não irá permanecer fixo, mas sim se

mover em volta do mastro. Esse movimento do C.G. causa vibração excessiva.

Para amortecer as vibrações, amortecedores hidráulicos limitam o movimento das pás sobre o braço de arrasto. Esses amortecedores também tendem a manter o relacionamento geométrico das pás.

Um rotor que permite o movimento individual das pás em relação ao cubo, tanto no plano vertical quanto horizontal, é chamado de rotor articulado.

Os pontos de articulação e direção do movimento, ao redor da articulação, estão ilustrados na figura 13-40.

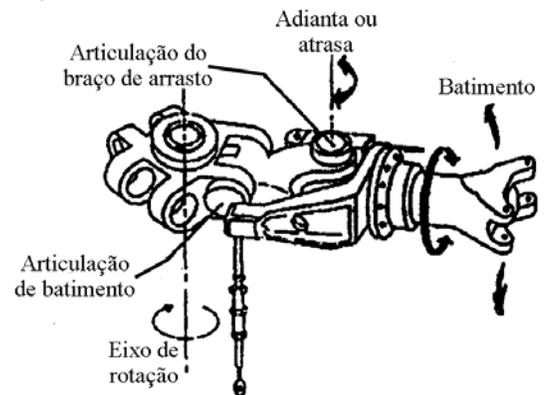


Figura 13-40 Cabeça de rotor articulado.

Num sistema bi-pá, as pás batem como uma só unidade. Enquanto a pá que avança bate para cima devido ao aumento de sustentação, a pá que recua bate para baixo, devido à redução da sustentação. A mudança no ângulo de ataque em cada pá produzida por esse fato, tende a equalizar a sustentação sobre as duas metades do disco do rotor.

A posição do controle cíclico de passo no vôo para frente, também causa diminuição do ângulo de ataque na pá que avança, e um aumento do ângulo de ataque na pá que recua. Isso, somados ao batimento das pás equaliza a sustentação sobre as duas metades do disco do rotor.

Formação de cones

A formação de cone (figura 13-41) é uma espécie de dobramento das pás para cima, causada pela combinação das forças de sustentação e centrífuga. Antes da decolagem,

as pás giram em um plano aproximadamente perpendicular ao mastro do rotor, uma vez que a força centrífuga é a maior força atuando sobre elas.

Quando é realizada uma decolagem vertical, duas grandes forças estão agindo ao mesmo tempo. A força centrífuga atuando perpendicularmente ao mastro do rotor e a força de sustentação, atuando paralelamente ao mastro.

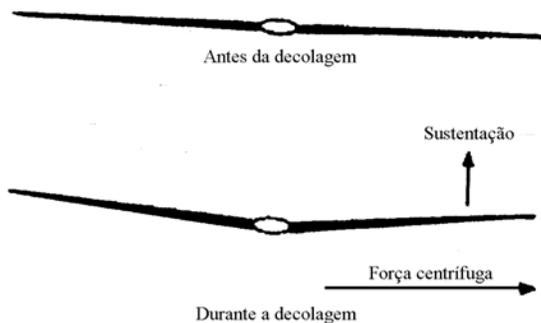


Figura 13-41 Cone nas pás.

O resultado da ação dessas duas forças, é que as pás assumem uma forma cônica, ao invés de permanecerem no plano perpendicular ao mastro. A formação de cone resulta em um arqueamento das pás em um rotor semi-rígido; em um rotor articulado, as pás assumem um ângulo para cima, através do movimento ao redor da articulação.

Efeito solo

Quando um helicóptero está num vôo pairado, próximo ao solo, as pás do rotor afastam o ar descendente através do disco, com velocidade superior àquela com que ele é capaz de escapar debaixo do helicóptero. Isso produz um denso colchão de ar entre o solo e o helicóptero (figura 13-42).

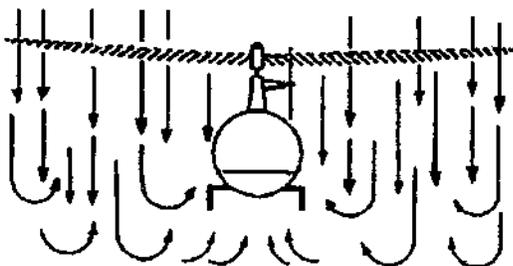


Figura 13-42 Efeito de solo.

Esse colchão de ar mais denso é chamado de efeito solo e ajuda na sustentação do helicóptero durante o vôo pairado. Ele geralmente é efetivo a uma altura de aproximadamente metade do diâmetro do disco do rotor. A aproximadamente 3 a 5 milhas por hora em relação ao solo, o helicóptero deixa o colchão.

Auto-rotação

Auto-rotação é o termo usado para a condição de vôo durante o qual não há fornecimento de potência do motor, e o rotor principal é acionado apenas pela ação do vento relativo. A transmissão do helicóptero ou trem de potência é projetado, de forma que o motor, quando para, é automaticamente desengajado do sistema do rotor principal, para permitir que este gire livremente na sua direção original.

Quando a potência do motor está sendo suprida para o rotor principal, o fluxo de ar é para baixo, através do rotor.

Quando a potência do motor não está sendo suprida para o rotor principal, ou seja, quando o helicóptero está em auto-rotação, o fluxo de ar do rotor é para cima. É esse fluxo de ar para cima que faz com que o rotor continue girando após a falha do motor.

A parte da pá do rotor que produz as forças, que fazem com que o rotor gire, quando o motor não está mais suprindo potência para o rotor, é aquela entre aproximadamente 25% e 70% do raio, a partir do centro. Essa parte é freqüentemente chamada de "região de acionamento ou de auto-rotação". Forças aerodinâmicas, ao longo dessa parte da pá, tendem a aumentar a rotação delas.

Os 25% da parte interna da pá do rotor, chamada de "região de estol", opera acima do ângulo máximo de ataque (ângulo de estol), contribuindo dessa forma com pouca sustentação, porém considerável arrasto, o qual tende a diminuir a rotação da pá.

Os 30% para a extremidade da pá do rotor são conhecidos como "região de propulsão".

As forças aerodinâmicas nessa região resultam numa pequena força de arrasto, a qual tende a retardar a porção da ponta da pá. As regiões aerodinâmicas, como descritas acima, são para auto-rotações verticais.

Durante o vôo para frente em auto-rotação, essas regiões são deslocadas através do disco do rotor para a esquerda. A R.P.M. do rotor estabiliza quando as forças auto-rotativas (empuxo) da "região de propulsão" e as forças auto-rotativas (arrasto) da "região acionada" e a "região de estol" são iguais.

A velocidade para frente durante a descida em auto-rotação, permite que o piloto incline o disco do rotor para trás, causando assim uma curva suave. A sustentação adicional induzida, criada por um volume maior de ar, momentaneamente retém a velocidade para frente, bem como a descida.

O volume maior de ar atuando sobre o disco do rotor, normalmente aumenta a R.P.M. do rotor durante o arredondamento de planeio. Na medida em que a velocidade para frente e a de descida se aproximam de zero, o fluxo de ar para cima praticamente cessa e a R.P.M. do rotor outra vez diminui; o helicóptero se precipita com uma razão ligeiramente aumentada, porém com velocidade para frente reduzida.

O arredondamento permite que o piloto faça um pouco de emergência em lugar definido, com pouca ou nenhuma rolagem ou derrapagem.

Eixos de vôo do helicóptero

Quando um helicóptero faz uma manobra no ar, sua atitude em relação ao solo se altera. Essas mudanças são descritas com referência aos três eixos de vôo (figura 13-43): (1) Vertical, (2) Longitudinal e (3) Lateral.

O movimento em torno do eixo vertical produz guinada, uma oscilação do nariz (ou mudança de direção) para a direita ou para a esquerda. Isso é controlado pelo pedal.

Os diversos métodos de obtenção do controle direcional foram discutidos anteriormente nessa seção.

O movimento em torno do eixo longitudinal é chamado de rolagem. Esse movimento é efetuado movimentando-se o controle cíclico de passo para a direita ou para a esquerda. O controle cíclico de passo é similar ao manche de uma aeronave convencional. Ele atua por meio de articulações mecânicas (figura 13-44) para mudar o passo de cada pá do rotor principal durante um ciclo de rotação.

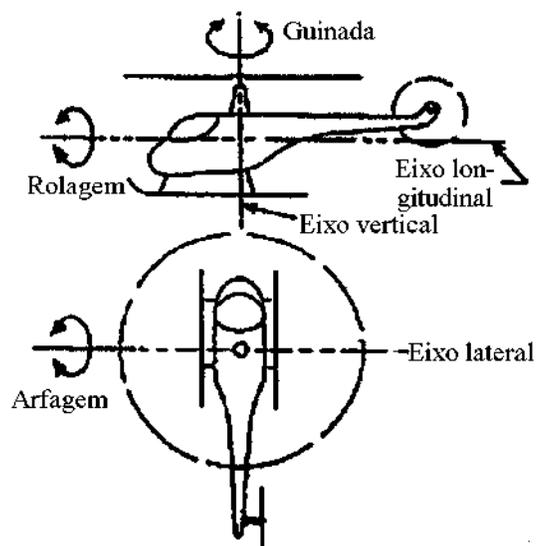


Figura 13-43 Eixos de vôo.

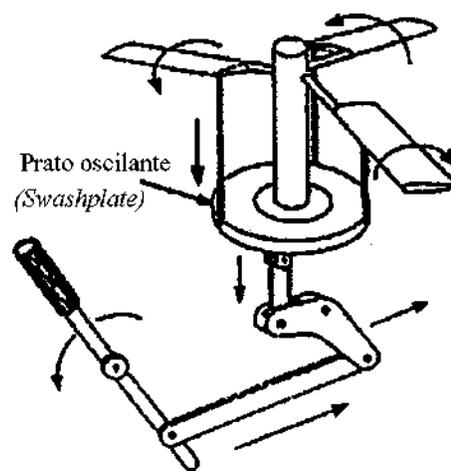


Figura 13-44 Mecanismo de controle do passo cíclico.

A rapidez com que as pás do rotor giram, cria uma área de disco que pode ser inclinada em qualquer direção, com respeito à sustentação do mastro do rotor.

O movimento horizontal é controlado pela mudança de direção da inclinação do rotor principal, para produzir uma força na direção desejada.

O movimento em torno do eixo lateral produz o levantamento ou abaixamento do nariz. Esse movimento é conseguido através do controle cíclico de passo, para frente ou para trás.

O controle de passo coletivo (figura 13-45) varia a sustentação do rotor principal,

aumentando ou diminuindo o passo de todas as pás ao mesmo tempo.

Levantando o controle de passo coletivo, aumenta o passo das pás, aumentando dessa forma a sustentação.

Abaixando o controle, diminui o passo das pás, provocando uma perda de sustentação.

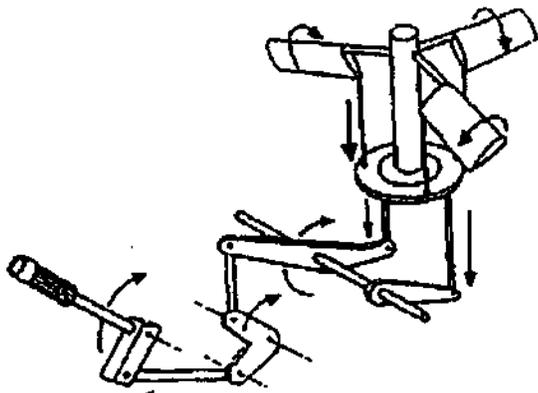


Figura 13-45 Mecanismo de controle do passo coletivo.

O controle de passo coletivo é também usado em coordenação com o controle cíclico para regular a velocidade do helicóptero.

Muitos fatores determinam a sustentação disponível na operação de um helicóptero. Genericamente falando, o piloto tem controle sobre dois controles.

Um é o ângulo do passo das pás do rotor; o outro é a potência entregue para o rotor, representada pela R.P.M. e pela pressão de admissão.

Controlando o passo das pás do rotor, o piloto pode estabelecer o vôo vertical do helicóptero. Manipulando um comando, uma velocidade constante pode ser mantida, independentemente do aumento ou da redução do passo das pás. Esse comando está instalado no punho do coletivo, e é operado girando-se o punho. O comando está sincronizado com o controle de passo de rotor principal, de tal maneira que um aumento no passo, aumenta a potência; e uma redução no passo reduz a potência. Um sistema de controle completo de um helicóptero convencional é mostrado na figura 13-46.

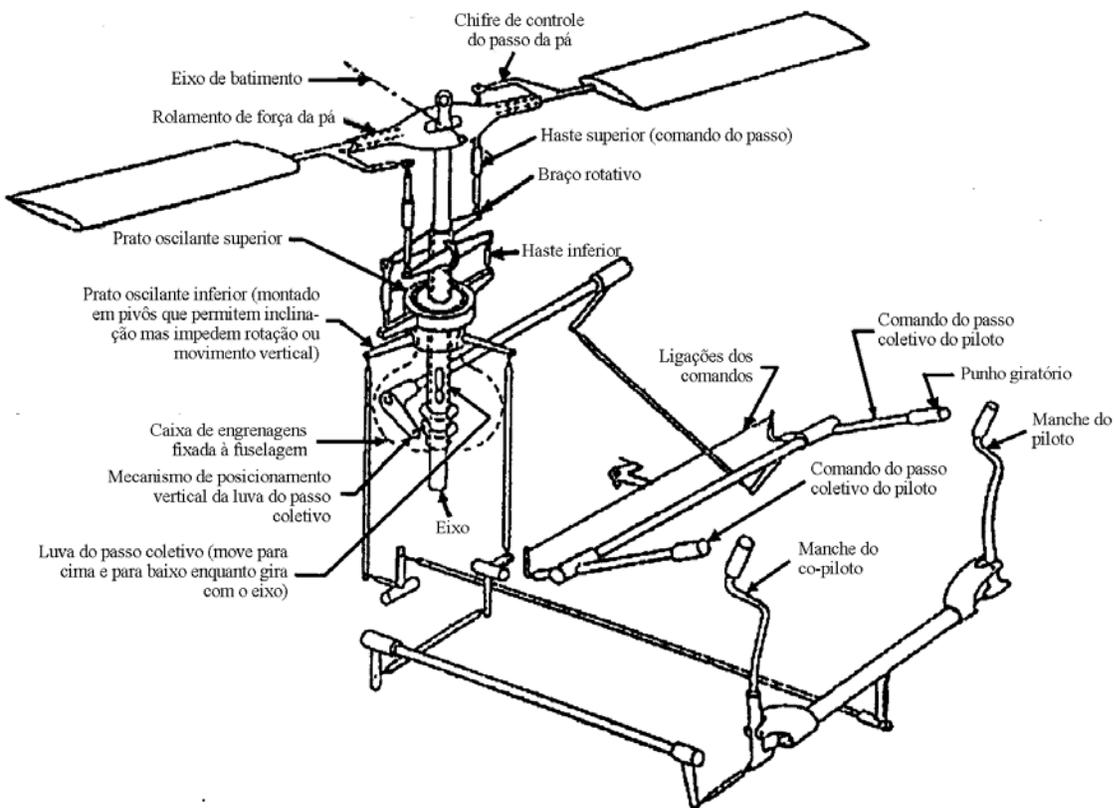


Figura 13-46 Sistema de controle de helicóptero convencional

AERODINÂMICA DE ALTA VELOCIDADE

O desenvolvimento das aeronaves e dos motores, estão cedendo aos transportes de alta performance, a capacidade para realizar vôos a velocidades muito altas.

Diferenças muito significantes aparecem no estudo da aerodinâmica de alta velocidade quando comparada com a de velocidade muito baixa.

É necessário, portanto, que as pessoas associadas com a aviação comercial estejam familiarizadas com a natureza do fluxo de ar de alta velocidade e com as peculiaridades dos aviões de alta performance.

Conceitos gerais de padrão de fluxo supersônico

Em baixas velocidades de vôo, o ar experimenta pequenas mudanças de pressão, as quais provocam variações desprezíveis de densidade, simplificando consideravelmente o estudo da aerodinâmica de baixa velocidade.

O fluxo é dito incompressível, uma vez que o ar passa por pequenas mudanças de pressão, sem mudança significativa na sua densidade. Em grandes velocidades de vôo, contudo, as mudanças de pressão ocorridas são maiores e mudanças significantes na densidade do ar ocorrem.

O estudo do fluxo de ar em grandes velocidades, tem que considerar essas mudanças na densidade do ar, e tem que considerar que o ar é compressível, ou que existem efeitos de compressibilidade.

A velocidade do som é muito importante no estudo do fluxo de ar de alta velocidade além de variar com a temperatura ambiente. Ao nível do mar, num dia padrão, a velocidade do som é cerca de 661,7 nós (760 M.P.H).

Na medida em que a asa se desloca através do ar, ocorrem mudanças na velocidade local as quais criam perturbações no fluxo de ar ao redor da asa.

Essas perturbações são transmitidas através do ar à velocidade do som.

Se a asa estiver se deslocando a baixa velocidade, as perturbações serão transmitidas e estendidas indefinidamente em todas as direções.

Evidências dessas perturbações são vistas no exemplo típico de fluxo subsônico ilustrado na figura 13-47, onde o fluxo, ligeiramente para cima, muda de direção bem à frente do bordo de ataque da asa.

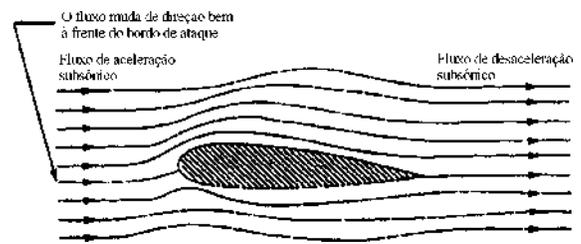


Figura 13-47 Exemplo típico de fluxo subsônico, asa subsônica.

Se a asa estiver deslocando com velocidade acima da velocidade do som, o fluxo de ar à frente da asa não sofrerá influência do campo de pressão da asa, uma vez que as perturbações não podem se propagar mais rápido que a velocidade de vôo, que se aproxima da velocidade do som.

Uma onda de compressão se forma no bordo de ataque e todas as mudanças de velocidade e pressão acontecem repentinamente.

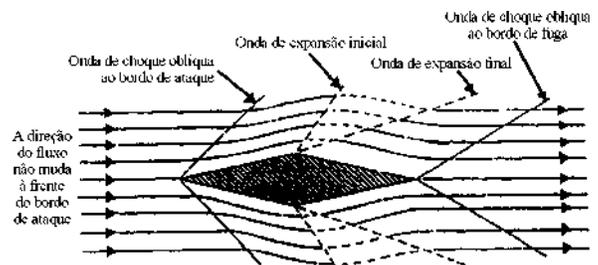


Figura 13-48 Exemplo típico de fluxo supersônico, asa supersônica.

O fluxo de ar à frente da asa não é influenciado até que as moléculas de ar sejam repentinamente desviadas pela asa. Uma evidência desse fenômeno é visto no exemplo típico de fluxo supersônico mostrado na figura 13-48.

O efeito da compressibilidade não depende da velocidade do ar, mas do relacionamento entre a velocidade do ar e a velocidade do som. Esse relacionamento é chamado de número de Mach, e é a razão entre a velocidade verdadeira do ar e a velocidade do som a uma altitude particular.

Os efeitos da compressibilidade não estão limitados às velocidades de vôo à velocidade do som ou acima desta. Uma vez que qualquer avião é construído com forma aerodinâmica, o ar acelera e desacelera ao redor dessas formas e alcança velocidades locais acima da velocidade de vôo. Assim, uma aeronave pode experimentar efeitos de compressibilidade em velocidades de vôo bem abaixo da velocidade do som. Uma vez que é possível ter fluxos tanto subsônicos quanto supersônicos na aeronave ao mesmo tempo, é melhor definir o regime exato de vôo. Esses regimes são definidos como se segue:

- (1) SUBSÔNICO - Vôo com número de Mach abaixo de 0,75.
- 2) TRANSÔNICO - Vôo com número de Mach entre 0,75 e 1,20.
- (3) SUPERSÔNICO - Vôo com número de Mach entre 1,20 e 5,00.
- (4) HIPERSÔNICO - Vôo com número de Mach acima de 5,00.

Enquanto os números de Mach do vôo, usados para definir esses regimes, são aproximados, é importante avaliar os tipos de fluxo existentes em cada área. No regime subsônico, existem fluxos subsônicos de ar em todas as partes da aeronave.

No regime transônico, o fluxo sobre os componentes da aeronave é parcialmente subsônico e parcialmente supersônico. Nos regimes supersônico e hipersônico existe fluxo supersônico sobre todas as partes da aeronave. Naturalmente, nos vôos supersônico e hipersônico, algumas partes da camada limite são subsônicas, porém o fluxo predominante ainda é supersônico.

Diferença entre os fluxos subsônico e supersônico

Em um fluxo subsônico, toda molécula é mais ou menos afetada pelo movimento de todas as outras moléculas, em todo o campo do fluxo. Em velocidades supersônicas, uma molécula de ar pode influenciar apenas aquela parte do fluxo contido no cone Mach, formado atrás daquela molécula.

As diferenças peculiares entre os fluxos subsônicos e supersônicos podem ser vistas

melhor, considerando o fluxo de ar num tubo fechado de contração e expansão, conforme representado na figura 13-49.

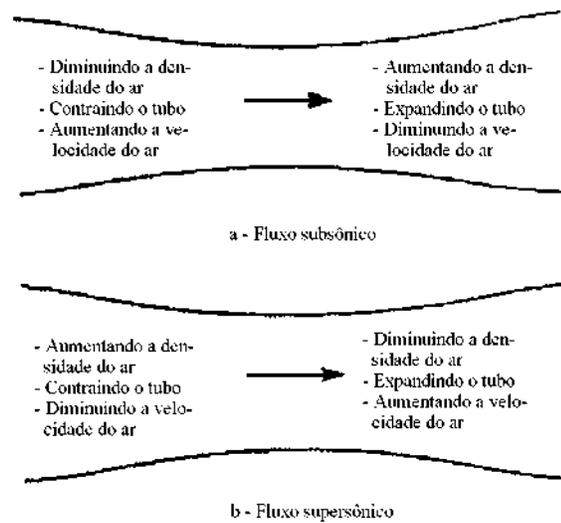


Figura 13-49 Comparação dos fluxos subsônico e supersônico através de um tubo fechado.

	Contraindo o tubo	Expandindo o tubo
Fluxo subsônico	Acelera e rarefaz ligeiramente	Desacelera e comprime ligeiramente
Fluxo supersônico	Desacelera e comprime grandemente	Acelera e rarefaz grandemente

Figura 13-50 Fluxos de alta velocidade.

Ao contrário do fluxo subsônico, um fluxo de ar supersônico acelera ao longo de um tubo de expansão, provocando a rápida queda da densidade do ar, para compensar os efeitos combinados do aumento de velocidade e aumento da área seccional.

Ao contrário do fluxo subsônico, um fluxo de ar supersônico desacelera ao longo de um tubo de contração, causando a rápida queda da densidade do ar, para compensar os efeitos combinados da queda de velocidade e redução da área seccional.

Para clarear esses pontos fundamentais, a figura 13-50 relaciona a natureza dos dois tipos de tubos.

Um entendimento das figuras 13-49 e 13-50 é essencial para quem pretende entender os fundamentos do fluxo supersônico.

Exemplos típicos de fluxo supersônico

Com fluxo supersônico, todas as mudanças na velocidade, pressão, temperatura, densidade e direção de fluxo acontecem repentinamente e em curta distância. As áreas de mudanças são distintas, e os fenômenos causadores da mudança são chamados de formações de ondas.

Todas as ondas de compressão ocorrem abruptamente e são dissipadoras de energia.

As ondas de compressão são familiarmente conhecidas como ondas de choque. Ondas de expansão resultam na transição de fluxos brandos e, não são perdas de energia, como as ondas de choque. Três tipos de ondas podem ocorrer num fluxo supersônico: (1) ondas de choque oblíquas (compressão em ângulo inclinado); (2) onda de choque normais (compressão em ângulo reto); e (3) ondas de expansão. A natureza da onda depende do número de Mach, da forma do objeto causador da mudança de fluxo e da direção do fluxo.

Um fluxo de ar passando através de uma onda de choque oblíqua, passa pelas seguintes mudanças:

- 1) O fluxo de ar é diminuído. Tanto o número de Mach quanto a velocidade atrás da onda são reduzidos, mas o fluxo é ainda supersônico.
- 2) A direção do fluxo é mudada de forma que irá seguir paralela à nova superfície.
- 3) A pressão estática atrás da onda é aumentada.
- 4) A temperatura estática atrás da onda é aumentada (ocorrendo o mesmo com a velocidade local do som);
- 5) A densidade do fluxo de ar atrás da onda é aumentada;
- 6) Parte da energia disponível do fluxo de ar (indicada pela soma das pressões estática e dinâmica) é dissipada por conversão em energia calorífica indisponível. Assim, a onda de choque é dissipação de energia.

Onda de choque normal

Se um objeto despontado é colocado num fluxo de ar supersônico, a onda de choque formada é desprendida do bordo de ataque. O desprendimento da onda também ocorre quando uma borda, ou ângulo de meio cone, excede um valor crítico. A figura 13-51 mostra a formação

de uma onda de choque normal, dos dois casos acima.

Sempre que uma onda de choque se forma, perpendicular ao fluxo livre, é chamada normal (ângulo reto), e o fluxo, imediatamente atrás da onda, é subsônico. Não importa quão intenso o número de Mach do fluxo livre possa ser; o fluxo diretamente atrás de uma onda de choque normal é sempre subsônico. De fato, quanto maior o número de Mach do fluxo livre supersônico (M) na frente da onda de choque normal, menor o número de Mach subsônico atrás da onda. Por exemplo, se M_1 for 1,5, M_2 será 0,7; enquanto que se M_1 for 2,6, M_2 será apenas 0,5.

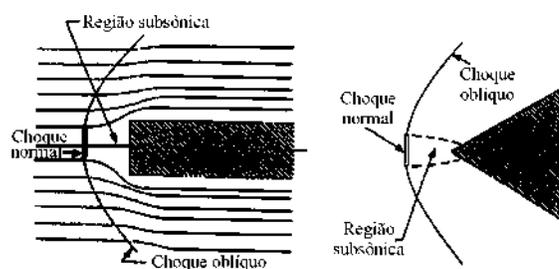


Figura 13-51 Formação de onda de choque normal com onda desprendida.

Uma onda de choque normal se forma imediatamente na frente de qualquer objeto relativamente despontado num fluxo de ar supersônico, diminuindo esse fluxo para subsônico, de forma que o fluxo possa sentir a presença do objeto sem ponta e, assim, fluir em volta dele. Uma vez passado o nariz, o fluxo de ar pode permanecer subsônico ou pode acelerar de novo para supersônico, dependendo da forma do nariz e do número de Mach do fluxo livre.

Uma onda normal pode ser formada quando não houver objeto no fluxo supersônico. Acontece que sempre que um fluxo de ar supersônico é diminuído para subsônico, sem uma troca de direção, uma onda de choque normal se forma na fronteira entre as regiões supersônicas e subsônicas. É, devido a isso, que os aviões encontram efeitos de compressibilidade antes de velocidades sônicas.

A figura 13-52 ilustra a maneira na qual um aerofólio em grandes velocidades subsônicas tem velocidade de fluxo local supersônica. Na medida em que o fluxo supersônico local se move para trás, uma onda de choque normal se forma para que o fluxo possa retornar

para subsônico e reunir o fluxo livre subsônico no bordo de fuga sem descontinuidade. A transição do fluxo subsônico para o supersônico é branda, e não é acompanhada pelas ondas de choque se a transição for feita gradualmente com a superfície lisa. A transição do fluxo de supersônico para subsônico, sem troca de direção, sempre forma uma onda de choque normal. Um fluxo de ar supersônico, que passa por uma onda de choque normal, experimenta as seguintes mudanças:

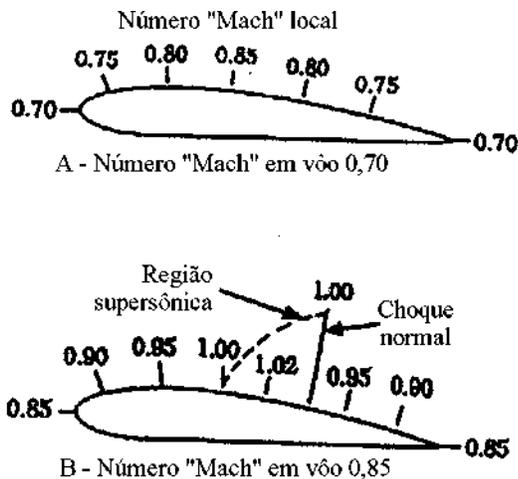


Figura 13-52 Formação de onda de choque normal sobre um aerofólio num fluxo de ar supersônico.

- 1) O fluxo é diminuído para subsônico. O número de Mach local atrás da onda é aproximadamente igual a recíproca do número de Mach adiante da onda. Por exemplo, se o número de Mach à frente de uma onda é 1.25, o número de Mach do fluxo atrás da onda é cerca de 0.8 (mais exatamente 0.81264).
- 2) A direção do fluxo imediatamente atrás da onda é inalterada.
- 3) A pressão estática atrás da onda é significativamente aumentada.
- 4) A temperatura estática atrás da onda é significativamente aumentada (e, assim, a velocidade local do som).
- 5) A densidade do fluxo de ar atrás da onda é significativamente aumentada.
- 6) A disponibilidade de energia do fluxo de ar (indicado pela soma das pressões dinâmica e estática) é significativamente reduzida. A

onda de choque normal é muito dissipadora de energia.

Onda de expansão

Se um fluxo de ar for desviado do seu caminho normal, uma onda de expansão será formada.

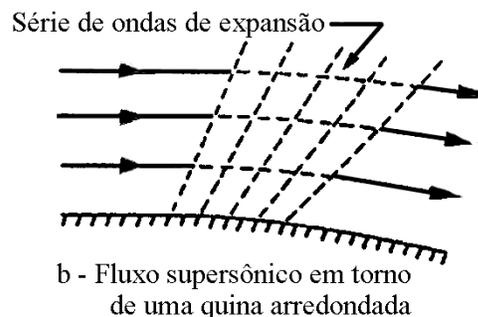
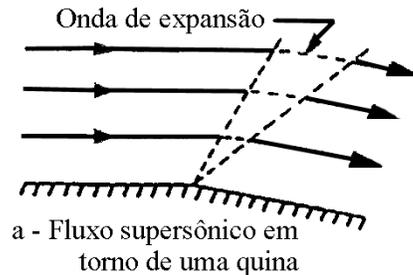


Figura 13-53 Formação de onda de expansão.

O fluxo em uma quina canto, mostrado na figura 13-53, não causa mudança brusca, exceto no próprio canto e, assim, não é de fato uma onda de choque.

Um fluxo de ar supersônico que passa através de uma onda de expansão, passa pelas seguintes mudanças:

- 1) O fluxo supersônico é acelerado. A velocidade e o número de Mach atrás da onda são maiores.
- 2) A direção do fluxo é alterada de forma que o fluxo de ar segue paralelo à nova superfície, uma vez que não ocorre separação.
- 3) A temperatura estática atrás da onda diminui.
- 4) A temperatura estática atrás da onda diminui (e com isso a velocidade local do som diminui).
- 5) A densidade do fluxo de ar atrás da onda diminui.
- 6) Uma vez que o fluxo se altera de maneira gradual, não há choque nem perda de energia no

fluxo de ar. A onda de expansão não dissipa a energia do fluxo de ar.

Um sumário das características das três principais formas de onda encontradas com fluxo supersônico é mostrado na figura 13-54.

Tipo de onda	Mudança na direção do fluxo	Efeito na velocidade e no número "Mach"	Efeito na pressão e temperatura estática e densidade	Efeito na energia disponível
	Fluxo dentro da curva	Diminui mas permanece supersônico	Aumenta	Diminui
	Não muda	Diminui para subsônico	Grande aumento	Grande diminuição
	Fluxo em torno da curva	Aumenta para mais supersônico	Diminui	Não muda (Sem onda de choque)

Figura 13-54 Característica da onda supersônica.

A figura 13-55 mostra um exemplo de onda para um aerofólio subsônico despontado convencional, em um fluxo supersônico. Quando o nariz é rombo, a onda tem que se desprender e se tornar uma onda de choque normal, imediatamente à frente do bordo de ataque.

Uma vez que o fluxo atrás de uma onda de choque normal é sempre subsônico, o bordo de ataque do aerofólio é uma região subsônica de pressão estática, temperatura estática e densidade muito grandes.

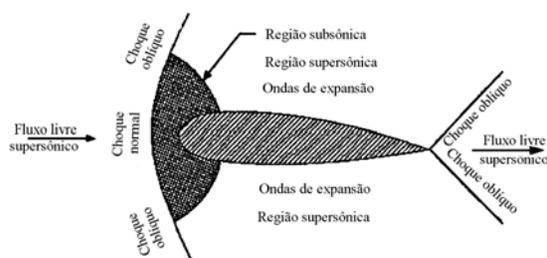


Figura 13-55 Aerofólio subsônico convencional no fluxo supersônico.

Em vôo supersônico, a sustentação zero de um aerofólio de espessura finita inclui uma onda de arrasto.

Onda de arrasto é separada e distinta do arrasto devido à sustentação.

A espessura do aerofólio tem um efeito extremamente poderoso sobre o arrasto de onda. O arrasto de onda varia com o quadrado da razão de espessura (espessura máxima dividida

pela corda). Por exemplo, se a espessura for reduzida pela metade, o arrasto de onda será reduzido de três quartos.

Os bordos de ataque das formas supersônicas têm que ser afilados. Se eles não forem, a onda formada próximo ao bordo de ataque será uma onda de choque normal, separada e forte.

Uma vez que o fluxo sobre o aerofólio é supersônico, o centro aerodinâmico da superfície está localizado aproximadamente a 50% da posição da corda; isso contrasta com a localização, subsônica do centro aerodinâmico, o qual está próximo da posição de 25% da corda.

Durante o fluxo supersônico, todas as mudanças de velocidade, número de Mach, pressão estática, temperatura estática, densidade e direção de fluxo, ocorrem repentinamente através de diversas formas de onda. A forma do objeto, o número de Mach e a mudança de direção de fluxo requerida, ditam o tipo e a extensão da onda formada.

Qualquer objeto em vôo subsônico, o qual tenha alguma espessura finita, ou esteja produzindo sustentação, tem velocidades locais sobre a superfície as quais são maiores que a velocidade do fluxo livre. Assim, a ocorrência dos efeitos de compressibilidade pode ser esperada em velocidades de vôo que sejam menores que a velocidade do som.

O regime de vôo transônico, proporciona a oportunidade para velocidades mistas (subsônica e supersônica) e justifica os primeiros efeitos significantes de compressibilidade.

Conforme a velocidade de vôo se aproxima da velocidade do som, as áreas de vôo supersônico se ampliam, e as ondas de choque se movem mais próximas do bordo de fuga.

A camada limite pode permanecer separada ou pode se rejuntar, dependendo muito da forma do aerofólio e do ângulo de ataque.

Quando a velocidade de vôo excede a velocidade do som, uma onda de proa aparece repentinamente na frente do bordo de ataque, com a região subsônica atrás da onda.

As ondas de choque normais se movem para o bordo de fuga. Se a velocidade de vôo aumentar para qualquer valor supersônico, a onda de proa se moverá para mais próximo do bordo de

ataque, inclinando-se mais para baixo; e as ondas de choque normais do bordo de fuga se tornam ondas de choque oblíquas.

Naturalmente, todos os componentes de uma aeronave são afetados pela compressibilidade, de alguma forma similar àquela dos aerofólios básicos (empenagem, fuselagem, naceles, e assim por diante).

Uma vez que a maioria das dificuldades do vôo transônico estão associadas com a separação do fluxo induzido das ondas de choque, quaisquer meios de retardar ou reduzir a separação induzida de choque, melhoram as características aerodinâmicas.

Uma configuração de aeronave pode fazer uso de superfícies finas, de pouco alongamento, com enflechamento, para reduzir a intensidade da divergência da força transônica. Além disso, diversos métodos de controle da camada limite como dispositivos de hipersustentação, geradores de redemoinho e assim por diante, podem ser aplicados para melhorar as características transônicas.

Por exemplo, a montagem de geradores de redemoinhos sobre uma superfície pode produzir altas velocidades de superfície local, e aumenta a energia cinética da camada limite. Dessa forma, um gradiente de pressão mais severa (ondas de choque mais fortes) seria necessário para produzir a indesejável separação do fluxo de ar.

Um gerador de redemoinho é um par complementar de aerofólios pequenos, de baixo alongamento (pequeno espaço em relação a corda) montados a ângulos de ataque opostos um ao outro, e perpendiculares a superfície aerodinâmica.

A fig. 13-56 mostra as características dos aerofólios e dos fluxos de ar de um gerador de redemoinho.

A exemplo de qualquer aerofólio, aqueles do gerador produzem sustentação, além disso, como qualquer aerofólio de alongamento especialmente baixo, os aerofólios dos geradores também desenvolvem turbilhonamentos muito fortes.

Esses turbilhonamentos provocam um fluxo de ar para fora e para dentro, num caminho circular em volta das pontas dos aerofólios. Os turbilhonamentos gerados têm o efeito de arrastar o ar de alta energia da camada

limite exterior, no ar mais lento que se move junto do revestimento.

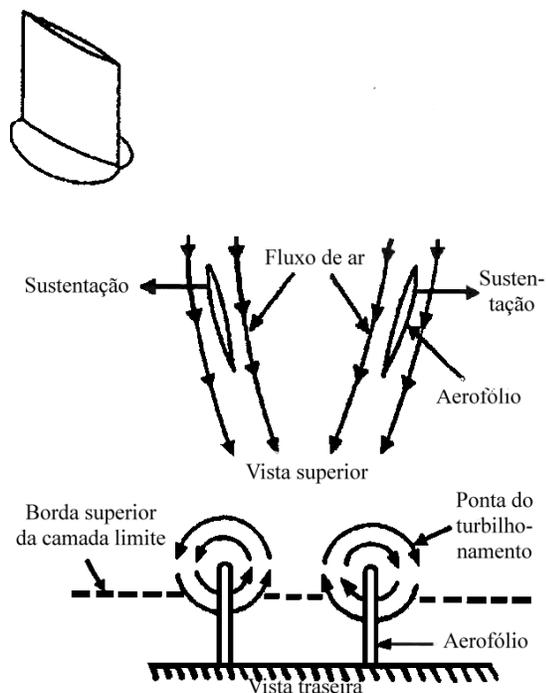


Figura 13-56 Gerador de turbilhonamento na asa.

O comprimento dos vórtices (turbilhonamento), é proporcional à sustentação desenvolvida pelos aerofólios do gerador.

Os geradores de turbilhonamento se prestam a dois diferentes propósitos, dependendo da superfície aerodinâmica na qual ela está instalada.

Fileiras de geradores de turbilhonamento, localizadas na superfície superior da asa, exatamente direcionadas para cima dos ailerons, retardam o princípio da divergência de arrasto em altas velocidades, e também ajudam a manter a efetividade do aileron em altas velocidades.

Em contraste, fileiras de geradores de turbilhonamento instalados em ambos os lados da aleta vertical direcionada para cima, no leme, proporcionam a separação do fluxo sobre o leme durante ângulos extremos de guinada, os quais são atingidos apenas quando a aplicação do leme é retardada após uma perda de motor em velocidades muito baixas.

Além disso, fileiras de geradores de turbilhamento colocados no lado inferior (e ocasionalmente na superfície superior) do estabilizador horizontal, direcionados para o profundor, evitam a separação do fluxo sobre os profundos em velocidades muito baixas.

Em suma, geradores de turbilhamento sobre as superfícies das asas, melhoram as características de alta velocidade, enquanto os geradores de redemoinho, sobre as superfícies da cauda, em geral melhoram as características de baixa velocidade.

Superfícies de controle

As superfícies de controle utilizadas nas operações de aeronaves em vôo a velocidades transônica e supersônica, envolvem considerações importantes.

Superfícies de controle de bordo de ataque podem ser afetadas de maneira adversa pelas ondas de choque, formadas em vôo acima do número de Mach crítico da superfície de controle.

Se o fluxo de ar for separado por ondas de choque, a vibração de pré-estol resultante da superfície de controle, pode ser muito inconveniente.

A instalação de geradores de redemoinho pode reduzir a vibração de pré-estol causada pela separação de fluxo de choque induzido.

Além da vibração de pré-estol da superfície, a alteração na distribuição de pressão, devido à separação e localização da onda de choque, pode criar alterações muito grandes nos momentos de articulação da superfície de controle.

Tais mudanças nos momentos de articulação, produzem forças de controle indesejáveis, as quais podem requerer o uso de um sistema de controle irreversível.

Um sistema de controle irreversível emprega potência hidráulica, ou atuadores elétricos, para mover as superfícies de controle, assim, as cargas de ar desenvolvidas nas superfícies não podem ser sentidas pelo piloto. Adequados retornos devem ser sintetizados pelas molas de retorno "q", contrapesos, e assim por diante.

Aquecimento aerodinâmico

Quando o ar flui sobre qualquer superfície aerodinâmica, ocorrem certas reduções de velocidade, as quais produzem os correspondentes aumentos de temperatura.

A maior redução de velocidade e aumento de temperatura, ocorrem nos diversos pontos de repouso da camada limite na aeronave. Naturalmente, menores mudanças ocorrem em outros pontos da aeronave, porém essas

baixas temperaturas podem estar relacionadas ao aumento da temperatura de impacto no ponto de estagnação.

Enquanto os vôos subsônicos não produzem qualquer interesse real, vôos supersônicos podem gerar temperaturas suficientemente elevadas, para tornarem-se de grande importância para a estrutura, sistema de combustível e grupo motopropulsor. Temperaturas mais elevadas produzem reduções específicas na resistência das ligas de alumínio e requerem a utilização de ligas de titânio e aços inoxidáveis.

Exposições contínuas em temperaturas elevadas, reduzem a resistência e ampliam os problemas de falha por desligamento e rigidez estrutural.

O efeito do aquecimento aerodinâmico sobre o sistema de combustível, deve ser considerado no projeto de um avião supersônico. Se a temperatura do combustível for elevada para a temperatura de ignição espontânea, os vapores de combustível irão queimar na presença de ar, sem a necessidade de uma centelha inicial ou chama.

O desempenho de motor turbojato é adversamente afetado pela alta temperatura do ar na entrada do compressor.

O empuxo de saída do turbojato, obviamente é uma função do fluxo de combustível. Porém, o fluxo máximo permitível de combustível, depende da temperatura máxima permitível para operação da turbina. Se o ar que entra no motor já estiver aquecido, menos combustível pode ser adicionado, de forma a evitar que os limites de temperatura da turbina sejam excedidos.