

### SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS

#### SISTEMAS HIDRÁULICOS DE AERONAVES

A palavra hidráulica é baseada na palavra água, e, originalmente, significa o estudo do comportamento físico da água em repouso e em movimento. Hoje o significado foi expandido para incluir o comportamento físico de todos os líquidos, incluindo fluido hidráulico.

Sistemas hidráulicos não são novidades na aviação. As primeiras aeronaves tinham sistemas de freio hidráulico. Conforme as aeronaves se tornaram mais sofisticadas, novos sistemas utilizando potência hidráulica, foram desenvolvidos.

Apesar de alguns fabricantes de aeronaves utilizarem mais sistemas hidráulicos que outros, o sistema hidráulico de uma aeronave moderna, na média executa diversas funções. Entre as unidades comumente acionadas por sistemas hidráulicos estão os trens de pouso, os flapes, os freios das rodas e os aerodinâmicos, e as superfícies de controle de voo.

Os sistemas hidráulicos apresentam muitas vantagens como fonte de potência para acionamento de várias unidades da aeronave. Os sistemas hidráulicos combinam as vantagens de pouco peso, facilidade de instalação, simplicidade de inspeção, e requisitos mínimos de manutenção. As operações hidráulicas são também quase que 100% eficientes, com somente uma perda desprezível devido ao atrito do fluido.

Todos os sistemas hidráulicos são essencialmente semelhantes. Independentemente da aplicação, cada sistema hidráulico tem um número mínimo de componentes e algum tipo de fluido hidráulico.

#### FLUIDO HIDRÁULICO

Os líquidos dos sistemas hidráulicos são usados, primeiramente, para transmitir e distribuir potência a várias unidades a serem acionadas. Os líquidos são capazes de fazer isso por serem praticamente incompressíveis.

A Lei de Pascal afirma que a pressão aplicada em qualquer parte de um líquido

confinado é transmitida sem perda de intensidade para todas as outras partes. Assim, se um número de passagens existe em um sistema, a pressão pode ser distribuída por todas elas através do líquido.

Geralmente, o fabricante de dispositivos hidráulicos especifica o tipo de líquido mais apropriado para os seus equipamentos de acordo com as condições de funcionamento, o serviço requerido, as temperaturas esperadas no interior e no exterior dos sistemas, as pressões que o líquido deve suportar, as possibilidades de corrosão e outras condições que devem ser consideradas.

Se as únicas qualidades requeridas fossem incompressibilidade e fluidez, qualquer líquido não muito grosso poderia ser utilizado num sistema hidráulico. Algumas das propriedades e características que devem ser consideradas quando da seleção de um líquido satisfatório para um sistema em particular, são discutidas nos parágrafos seguintes.

#### Viscosidade

Uma das mais importantes propriedades de qualquer fluido hidráulico é sua viscosidade, que é a resistência interna ao escoamento. Um líquido como a gasolina escoo facilmente (tem viscosidade baixa) enquanto que, um líquido como o alcatrão escoo lentamente (tem alta viscosidade). A viscosidade aumenta com a diminuição da temperatura.

Um líquido satisfatório para um dado sistema hidráulico deve ser encorpado o suficiente para permitir uma boa vedação nas bombas, válvulas e pistões; mas não pode ser tão grosso que ofereça resistência ao escoamento, levando a perdas de potência e temperaturas de operação mais altas. Esses fatores se somarão à carga e ao desgaste excessivo das partes. Um fluido muito fino também levará a um rápido desgaste das partes móveis ou de partes com altas cargas.

A viscosidade de um líquido é medida com um viscosímetro. Existem vários tipos, mas o instrumento mais usado por engenheiros nos EUA é o viscosímetro universal de Saybolt

(figura 8-1). Esse instrumento mede o tempo em que uma quantidade fixa de líquido (60cm<sup>3</sup>) leva para escoar através de um pequeno orifício de comprimento e diâmetro padrões a uma temperatura específica. Esse tempo é medido em segundos, e a viscosidade é expressa em SSU (segundos, Saybolt universal). Por exemplo, um certo líquido pode ter uma viscosidade de 80 SSU a 130° F.

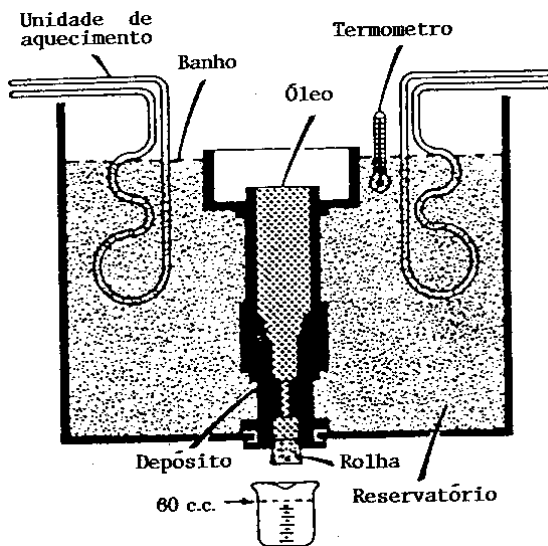


Figura 8-1 Viscosímetro de Saybolt.

### Estabilidade Química

Estabilidade química é outra propriedade que é extremamente importante na seleção de um fluido hidráulico. É a habilidade do fluido de resistir a oxidação e deterioração por longos períodos. Todos os líquidos tendem a passar por transformações químicas, desfavoráveis sob condições severas de operação. Esse é o caso, por exemplo, quando um sistema opera por um período considerável a altas temperaturas.

Temperaturas excessivas têm um grande efeito sobre a vida de um líquido. Deve ser notado que a temperatura do líquido, no reservatório de um sistema hidráulico em operação, nem sempre representa o estado verdadeiro das condições de operação. Pontos quentes localizados ocorrem em rolamentos, dentes de engrenagens ou em pontos onde o líquido sob pressão é forçado a passar através de um pequeno orifício.

A passagem contínua de um líquido por esses pontos pode produzir temperaturas locais altas o suficiente para carbonizar ou engrossar o líquido, ainda que o líquido no reservatório não

indique uma temperatura excessivamente alta. Líquidos com alta viscosidade têm maior resistência ao calor do que líquidos leves ou de baixa viscosidade, que tenham sido derivados da mesma fonte. O líquido hidráulico médio tem baixa viscosidade. Felizmente, há uma vasta gama de opções de líquidos disponíveis para uso dentro de uma faixa de viscosidade requerida para fluidos hidráulicos.

Líquidos podem decompor-se quando expostos à água, ao sal, ou a outras impureza, especialmente se estiverem em constante movimento ou sujeitos ao calor. Alguns metais como zinco, grafite, bronze e cobre têm reações químicas indesejáveis com certos líquidos.

Esses processos químicos resultam em formação de gomas, carbono ou outros depósitos que obstruem passagens, causam engrossamento ou vazamento em válvulas e pistões e dão má lubrificação a partes móveis.

Logo que pequenas quantidades de depósitos são formados, a taxa de formação geralmente aumenta mais rapidamente. Ao serem formados, ocorrem algumas alterações nas propriedades físicas e químicas do líquido. O líquido geralmente fica mais escuro, com viscosidade mais alta e com formação de ácidos.

### Ponto de Ignição (Flash Point)

Ponto de ignição ("Flash point") é a temperatura na qual um líquido libera vapor em quantidade suficiente para ignizar-se momentaneamente, ou, espocar quando uma chama é aplicada. Um alto ponto de ignição é desejável para fluidos hidráulicos, uma vez que indica boa resistência a combustão e baixo grau de evaporação a temperaturas normais.

### Ponto de fogo (Fire Point)

Ponto de fogo é a temperatura na qual uma substância libera vapor em quantidade suficiente para ignizar-se e para continuar a queimar, quando exposta a uma fagulha ou chama. Como o ponto de ignição, um alto ponto de fogo é requerido para os fluidos hidráulicos desejáveis.

## TIPOS DE FLUIDOS HIDRÁULICOS

Para assegurar uma operação adequada do sistema, e para prevenir danos aos

componentes não-metálicos do sistema hidráulico, o fluido correto deve ser usado.

Quando adicionando fluido a um sistema, usamos o tipo especificado no manual de manutenção do fabricante da aeronave, e na placa de instrução afixada no reservatório da unidade a ser servida.

Existem três tipos de fluido hidráulico, atualmente em uso nas aeronaves civis.

### **Fluido Hidráulico à Base de vegetal**

O fluido hidráulico à base de vegetal (MIL-H-7644) é composto essencialmente de óleo de mamona e álcool. Ele tem um odor alcohólico penetrante e geralmente pigmentado em azul. Embora o MIL-H-7644 tenha uma composição similar ao fluido hidráulico tipo automotivo, ele não é intercambiável.

Esse fluido foi usado primitivamente nos antigos tipos de avião. Selos em borracha natural são usados com fluido hidráulico à base vegetal. Se ele for contaminado com fluidos à base de petróleo ou éster fosfato, o selo irá inchar, quebrar e bloquear o sistema. Esse tipo de fluido é inflamável.

### **Fluido Hidráulico à Base de mineral**

O fluido hidráulico à base de mineral (MIL-H-5606) é processado do petróleo. Ele tem um odor similar ao óleo penetrante e a pigmentação vermelha. Selos de borracha sintética são usados com fluidos à base de petróleo. Não os misturamos com fluidos hidráulicos à base de éster fosfato ou base vegetal. Este tipo de fluido é inflamável.

### **FLUIDO À BASE DE ÉSTER FOSFATO**

Fluidos hidráulicos não derivados de petróleo foram introduzidos em 1948 para obter-se resistência ao fogo, quando usados em aeronaves com motores a pistão de alta performance e em aeronave turboélice.

A resistência ao fogo desses fluidos foi testada pela vaporização sobre uma chama de maçarico de solda (6.000°). Não houve combustão, apenas alguns lampejos de fogo. Estes e outros testes provaram que fluidos não derivados do petróleo (SKYDROL) não sustentam a combustão. Ainda que eles possam queimar em temperaturas excessivamente altas,

os fluidos SKYDROL não poderiam propagar o fogo porque a combustão estaria localizada na fonte de calor. Uma vez que a fonte de calor tenha sido removida ou o fluido afastado da fonte, não ocorrerá mais a queima ou combustão.

Vários tipos de fluidos hidráulicos à base de éster fosfato (SKYDROL) têm sido descontinuados. Correntemente usados em aeronaves são os SKYDROL 500B - um líquido púrpura-claro, tendo boas características de temperaturas de operação e baixo efeito colateral corrosivo; e o SKYDROL LD - um fluido púrpura-claro leve, formulado para uso em grandes aeronaves de transporte a jato, jumbo, onde o peso é um fator primordial.

### **Mistura de Fluidos**

Devido à diferença na composição, fluidos à base de vegetal, petróleo ou éster fosfato não serão misturados. Os selos para cada tipo de fluido não são tolerantes aos fluidos dos outros tipos.

Se o sistema hidráulico de uma aeronave for abastecido com o tipo de fluido errado, imediatamente drenamos e lavamos com jato forte o sistema, e mantemos o selo de acordo com as especificações do fabricante.

### **Compatibilidade com os materiais da Aeronave**

Os sistemas hidráulicos de aeronaves projetados para fluidos SKYDROL deveriam ser virtualmente livres de defeitos, se adequadamente mantidos.

O SKYDROL não afeta apreciavelmente os metais das aeronaves em geral, tais como: alumínio, prata, zinco, magnésio, cádmio, aço, aço-inoxidável, bronze, cromo, e outros, enquanto os fluidos são mantidos livres de contaminação.

Devido à base éster fosfato dos fluidos SKYDROL, as resinas termoplásticas, incluindo compostos de vinil, lacas nitrocelulose, pinturas à base de óleo, linóleo e asfalto, podem ser amolecidos quimicamente por fluidos SKYDROL. Contudo, essa ação química usualmente requer mais tempo que uma exposição momentânea. Respingos que sejam limpos com sabão e água não causam danos nesses materiais.

As pinturas resistentes ao SKYDROL incluem epoxies e poliuretanos. Hoje, os poliuretanos são o padrão da indústria aeronáutica devido à sua capacidade de manter um brilho e acabamento por longos períodos de tempo, e pela facilidade com a qual eles podem ser removidos.

O SKYDROL é uma marca registrada da Monsanto Company.

O fluido SKYDROL é compatível com as fibras naturais e com um número mero de sintéticos, incluindo nylon e poliéster, os quais são usados extensivamente na maioria das aeronaves.

Os selos de neoprene ou Buna-N, do sistema hidráulico de óleo à base de petróleo, não são compatíveis com SKYDROL e devem ser substituídos com selos de elastômeros de borracha butil ou etileno-propileno. Esses selos estão prontamente disponíveis em qualquer fornecedor.

### **Saúde e Manuseio**

O fluido SKYDROL não apresenta qualquer particular dano à saúde em seus usos recomendados. Ele tem uma taxa de toxicidade muito baixa quando ingerido ou aplicado sobre a pele em forma de líquido; e causa dor quando em contato com o tecido dos olhos, mas os estudos em animais e experiências humanas indicam que o fluido SKYDROL não causa danos permanentes. O tratamento de primeiros socorros para contato com os olhos inclui lavagem dos olhos imediatamente com água em abundância, e aplicação de solução anestésica oftálmica. Se a dor persistir, o indivíduo deve ser encaminhado ao médico.

Na forma de vapor ou névoa, o SKYDROL é ligeiramente irritante às vias respiratórias, e geralmente produz tosse e espirro. Tal irritação não persiste cessando-se a exposição. Ungüentos de silicone, luvas de borracha e, procedimentos de uma cuidadosa lavagem, devem ser utilizados para evitar uma repetição excessiva do contato do SKYDROL, de modo a evitar o efeito solvente sobre a pele.

### **Contaminação do Fluido Hidráulico**

A experiência tem mostrado que, a ocorrência de problemas em um sistema hidráulico é inevitável, sempre que for

permitido ao líquido contaminar-se. A natureza do problema, um simples mau funcionamento ou a completa destruição de um componente, depende de alguma forma do tipo de contaminante.

Dois contaminantes gerais são:

- 1) Abrasivos, incluindo partículas tais como grão de areia, salpico de solda, rebarbas de usinagem e ferrugem.
- 2) Não abrasivos, incluindo aqueles resultantes da oxidação do óleo e fragmentos ou partículas provenientes do desgaste dos selos e outros componentes orgânicos.

### **Verificação de contaminação**

Sempre que se suspeitar que um sistema hidráulico tenha sido contaminado, ou o sistema tenha sido operado em temperaturas além do máximo especificado, uma verificação deve ser feita. Os filtros, na maioria dos sistemas, são projetados para remover partículas estranhas que são visíveis a olho nu. O fluido hidráulico que parece limpo a olho nu pode estar contaminado ao ponto de estar inadequado para o uso.

Uma inspeção visual do fluido hidráulico não determina a quantidade total de contaminação no sistema. Grandes partículas de impureza no sistema hidráulico são indicações de que um ou mais componentes estão sujeitos a desgaste excessivo.

O isolamento do componente defeituoso requer um processo sistemático de eliminação. O fluido que retorna ao reservatório pode conter impurezas de qualquer parte do sistema. Para determinar qual o componente que está defeituoso, amostras do fluido devem ser tomadas do reservatório e de vários outros locais do sistema.

As amostras devem ser tomadas de acordo com as instruções aplicáveis do fabricante para um sistema hidráulico particular. Alguns sistemas hidráulicos são equipados com válvulas de sangria permanentemente instaladas para tomadas de amostras do fluido, enquanto que, em outros sistemas, as linhas são desconectadas para que se obtenha um local para tomada da amostra.

Em qualquer caso, enquanto o fluido está sendo tomado, uma pequena quantidade de

pressão deve ser aplicada ao sistema. Isso assegura que o fluido irá fluir para fora no ponto de amostragem, e então prevenir que a sujeira penetre no sistema hidráulico. Alguns kits de teste de contaminação têm uma seringa hipodérmica para coleta de amostras.

Vários procedimentos de teste são usados para determinar o nível de contaminação em fluidos hidráulicos. O teste de comparação do filtro proporciona uma idéia razoável das condições do fluido.

Este teste consiste basicamente da filtragem de uma amostra do fluido do sistema hidráulico através de um papel de filtro especial. Esse papel de filtro escurece na proporção da qualidade de contaminação presente na amostra; ele é comparado a uma série de discos de filtro padronizados, os quais, pelo grau de escurecimento, indicam os vários níveis de contaminação. O equipamento fornecido com um tipo de kit de teste de contaminação é ilustrado na figura 8-2.

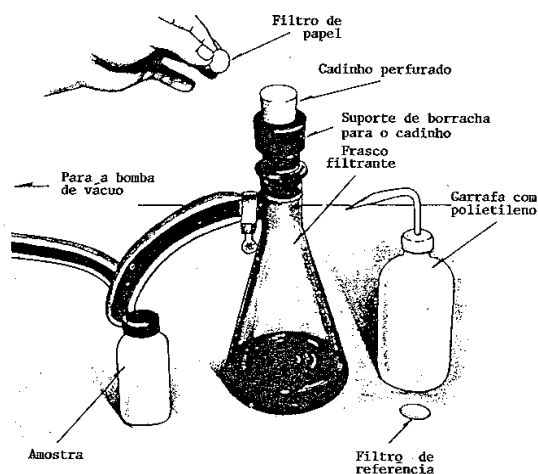


Figura 8-2 Teste de contaminação.

Quando se utiliza esse tipo de kit de teste de contaminação, as amostras de fluidos devem ser vertidas através do papel de filtro, e o papel de filtro teste deve ser comparado aos discos fornecidos com o kit de teste.

Os kits de teste mais caros têm um microscópio para se fazer essa comparação.

Para verificação do fluido quanto à decomposição, coloca-se novo fluido hidráulico dentro de uma garrafa (para amostra do mesmo tamanho e cor), contendo o que será verificado. Visualmente compara-se a cor das duas garrafas. O líquido decomposto será mais escuro.

Ao mesmo tempo que a verificação da contaminação é feita, pode ser necessário fazer um teste químico. Esse teste consiste de uma verificação da viscosidade, uma verificação da umidade e uma verificação do ponto de ignição (FLASH POINT).

Todavia, desde que um equipamento especial é requerido para essas verificações, as amostras do fluido devem ser enviadas a um laboratório, onde um técnico irá desenvolver o teste.

## Controle de Contaminação

Os filtros proporcionam o controle adequado do problema da contaminação durante todas as operações normais do sistema hidráulico.

O controle da extensão e quantidade de contaminação entrando no sistema, proveniente de qualquer outra fonte, é responsabilidade do pessoal que opera e mantém o equipamento. Todavia, precauções devem ser tomadas para minimizar a contaminação durante a manutenção, reparo e emprego.

Se o sistema contaminar-se, o elemento de filtro deve ser removido e limpo ou substituído.

Como um auxílio no controle da contaminação, os seguintes procedimentos de manutenção e emprego devem ser seguidos o tempo todo:

- (1) Manter todas as ferramentas e áreas de trabalho (bancadas e equipamentos de teste) em uma condição de limpeza livres de sujeira.
- (2) Um recipiente adequado deverá sempre estar a disposição para receber o fluido hidráulico que é derramado durante a remoção do componente, ou procedimentos de desmontagem.
- (3) Antes de desconectar as linhas hidráulicas ou conectores, limpa-se a área afetada com solvente para limpeza a seco.
- (4) Todas as linhas hidráulicas e conectores devem ser encapados ou fechados imediatamente após a desconexão.
- (5) Antes da montagem de quaisquer componentes hidráulicos, lava-se todas as

partes com um solvente para limpeza a seco aprovado.

- (6) Após a limpeza das peças em uma solução para limpeza a seco, seca-se completamente as peças, e as lubrifica-se com o preservativo recomendado ou fluido hidráulico, antes da montagem. Usam-se panos limpos e livres de fiapos para limpar ou secar as peças componentes.
- (7) Todos os selos e gaxetas devem ser substituídos durante o procedimento de remontagem. Somente selos e gaxetas recomendados pelo fabricante são usados.
- (8) Todas as peças devem ser conectadas com cuidado para evitar esfolamento em lascas de metal de áreas rosqueadas. Todas as conexões e linhas devem ser instaladas e torquadas de acordo com as instruções técnicas aplicáveis.
- (9) Todos os equipamentos de operação hidráulica devem ser mantidos limpos e em boas condições de operação.

## FILTROS

Um filtro é um entelamento ou dispositivo coador usado para limpar o fluido hidráulico, prevenindo contra partículas estranhas, e contra substâncias contaminantes de permanecerem no sistema. Se tal material indesejável não for removido, ele poderá causar uma falha no sistema hidráulico inteiro da aeronave pelo colapso, ou mau funcionamento de uma única unidade do sistema.

O fluido hidráulico mantém em suspensão finas partículas de metal, que são depositadas durante o desgaste normal das válvulas seletoras, bombas e outros componentes do sistema. Tais minúsculas partículas de metal podem danificar as unidades e as peças, através das quais elas passam, caso não sejam removidas pelo filtro.

Desde que as tolerâncias dentro dos componentes do sistema hidráulico sejam muito pequenas, é evidente que a confiabilidade e eficiência do sistema completo depende sobretudo de uma filtragem adequada.

Os filtros podem ser localizados dentro do reservatório, na linha de pressão, na linha de retorno, ou em qualquer outro local onde o

projetista do sistema decidir que eles sejam necessários para resguardar o sistema hidráulico contra impurezas.

Existem muitos modelos e estilos de filtros. Suas posições na aeronave, e os requisitos de projeto determinam suas formas e tamanhos.

A maioria dos filtros usados nas modernas aeronaves são do tipo em linha. O conjunto de filtro em linha é formado por três unidades básicas: conjunto da cabeça, corpo e elemento. O conjunto da cabeça é aquela parte que é fixa na estrutura da aeronave e nos conectores da linha. Dentro da cabeça existe uma válvula de desvio que direciona o fluido hidráulico diretamente do canal de entrada para o de saída, caso o elemento de filtro seja obstruído com material estranho. O corpo é o alojamento que mantém o elemento na cabeça do filtro, sendo a parte a ser removida quando for necessária a remoção do elemento.

O elemento poderá ser um micrônico, um metal poroso ou do tipo magnético. O elemento micrônico é feito de um papel especialmente tratado e, normalmente, é jogado fora quando removido. Os elementos de filtro magnético ou metal poroso são projetados para serem limpos por vários métodos, e recolocados no sistema.

### Filtros do tipo micrônico

Um filtro do tipo micrônico é mostrado na figura 8-3. Esse filtro utiliza um elemento feito de um papel especialmente tratado que é dobrado em rugas verticais. Uma mola interna mantém os elementos em forma.

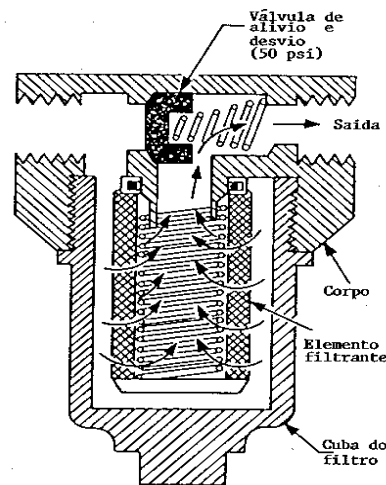


Figura 8-3 Filtro hidráulico do tipo micrônico.

O elemento micrônico é projetado para prevenir a passagem de sólidos maiores que 10 microns (0,000394 da polegada) em tamanho (figura 8-4). No caso em que o elemento de filtro torne-se obstruído, a válvula de alívio sob tensão de mola na cabeça do filtro irá desviar o fluido após uma pressão diferencial de 50 p.s.i.

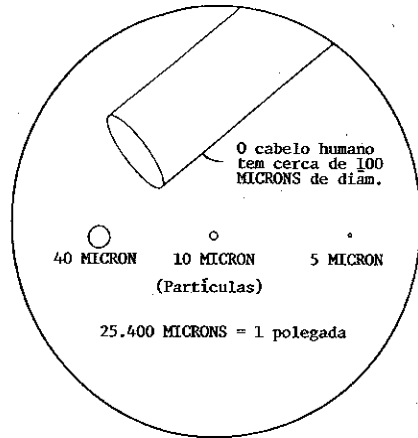


Figura 8-4 Ampliação de pequenas partículas.

O fluido hidráulico entra no filtro através do canal de entrada e do corpo do filtro; e flui em volta do elemento, dentro do corpo. A filtragem ocorre quando o fluido passa através do elemento para o orifício central, deixando o material estranho no lado externo do elemento filtrante.

### Manutenção dos Filtros

A manutenção dos filtros é relativamente fácil. Ela envolve principalmente a limpeza do filtro, e o elemento ou limpeza do filtro, e substituição do elemento.

Os filtros usando elemento do tipo micrônico devem ter o elemento substituído periodicamente de acordo com as instruções aplicáveis. Desde que os filtros dos reservatórios sejam do tipo micrônico, eles devem ser periodicamente trocados ou limpos. Os filtros, usando outros que não o elemento do tipo micrônico, normalmente são apenas limpos, o filtro e o elemento. Todavia o elemento deve ser inspecionado muito atentamente para nos assegurarmos de que ele esteja completamente sem danos. Os métodos e materiais usados na limpeza dos filtros são muito numerosos para serem mencionados. Consulta-se as informações do fabricante para essa informação.

Alguns filtros hidráulicos têm sido equipados com um pino que irá indicar visualmente uma obstrução do elemento. Quando esse pino se sobressai do alojamento do filtro, o elemento deve ser removido e limpo; e, também, o fluido coletado do filtro deve ser verificado quanto à contaminação, e limpo se necessário. todos os filtros remanescentes devem ser verificados quanto à contaminação, e limpos (se necessário) para determinar sua causa.

### O SISTEMA HIDRÁULICO BÁSICO

Independente de sua função e projeto, cada sistema hidráulico tem um número mínimo de componentes básicos em adição aos meios através dos quais o fluido é transmitido.

#### Sistema de bomba manual

A figura 8-5 mostra um sistema hidráulico básico. O primeiro dos componentes básicos, o reservatório, estoca o suprimento de fluido hidráulico para a operação do sistema. Ele recompleta o fluido do sistema quando necessário, proporciona espaço para expansão térmica e, em alguns sistemas, proporciona meios para a sangria de ar do sistema.

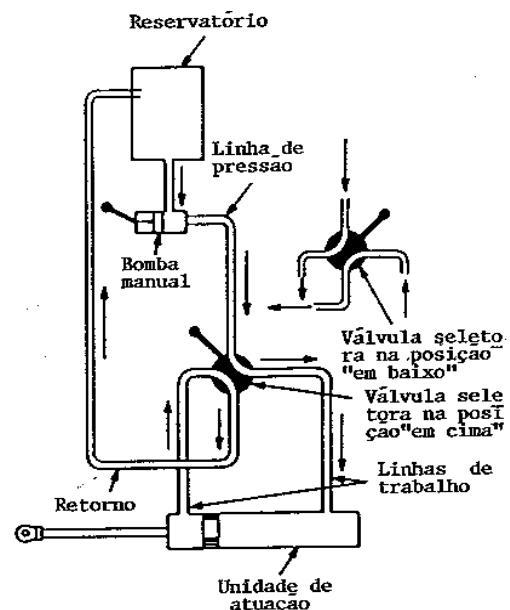


Figura 8-5 Sistema hidráulico básico com bomba manual.

Uma bomba é necessária para criar um fluxo de fluido. A bomba mostrada na figura 8-5

é operada manualmente; todavia, os sistemas das aeronaves são, na maioria dos casos, equipados com bombas acionadas elétrica ou mecânicamente.

A válvula seletora é usada para dirigir o fluxo do fluido. Essas válvulas são, normalmente, atuadas por solenóides, ou manualmente operadas, direta ou indiretamente através de uma conexão mecânica. Um cilindro atuador converte a pressão do fluido em trabalho útil através de um movimento mecânico linear ou recíproco, enquanto que, um motor hidráulico converte a pressão do fluido em trabalho útil através de um movimento mecânico rotativo.

O fluxo de fluido hidráulico pode ser acompanhado desde o reservatório, através da bomba e para a válvula seletora, na figura 8-5. Com a válvula seletora na posição mostrada, o fluido hidráulico flui através da válvula seletora para a extremidade direita do cilindro atuador. A pressão do fluido então força o pistão para a esquerda, e ao mesmo tempo o fluido que está sobre o lado esquerdo do pistão (figura 8-5) é forçado para fora, subindo pela válvula seletora e retornando ao reservatório através da linha de retorno.

Quando a válvula seletora é movimentada para a posição oposta, o fluido da bomba flui para o lado esquerdo do cilindro atuador, revertendo, assim, o processo. O movimento do pistão pode ser parado a qualquer momento pela movimentação da válvula seletora para neutro. Nessa posição, todas as quatro passagens são fechadas, e a pressão é mantida em ambas as linhas de trabalho.

### Sistema de bomba mecânica

A figura 8-6 mostra um sistema básico com a adição de uma bomba mecânica e um filtro, um regulador de pressão, acumulador, medidor de pressão, válvula de alívio, e duas válvulas unidirecionais. A função de cada um desses componentes é descrita nos parágrafos seguintes.

O filtro remove as partículas estranhas do fluido hidráulico, prevenindo contra a entrada de poeira, areia, ou outros materiais indesejáveis no sistema.

O regulador de pressão descarrega ou alivia a bomba mecânica quando a pressão desejada é alcançada. Então, ele é

frequentemente mencionado como uma válvula de descarregamento. Quando uma das unidades atuadoras está sendo operada, e a pressão na linha entre a bomba e a válvula seletora cresce até o ponto desejado, a válvula no regulador de pressão abre automaticamente, sendo o fluido desviado de volta para o reservatório. Essa linha de desvio é mostrada na figura 8-6, partindo do regulador de pressão para a linha de retorno.

Muitos sistemas hidráulicos não usam um regulador de pressão, mas têm outros dispositivos de descarregamento da bomba e manutenção da pressão desejada no sistema. Esses métodos são descritos neste capítulo.

O acumulador (figura 8-6) atende a duas finalidades: (1) age como um amortecedor ou absorvedor de choque pela manutenção de uma pressão constante no sistema, e (2) estoca fluido suficiente sob pressão, para prover certas unidades quando em operação de emergência. Os acumuladores são projetados com uma câmara de ar comprimido que está separada do fluido por um diafragma flexível ou um pistão móvel.

O medidor de pressão (figura 8-6) indica a quantidade de pressão hidráulica no sistema.

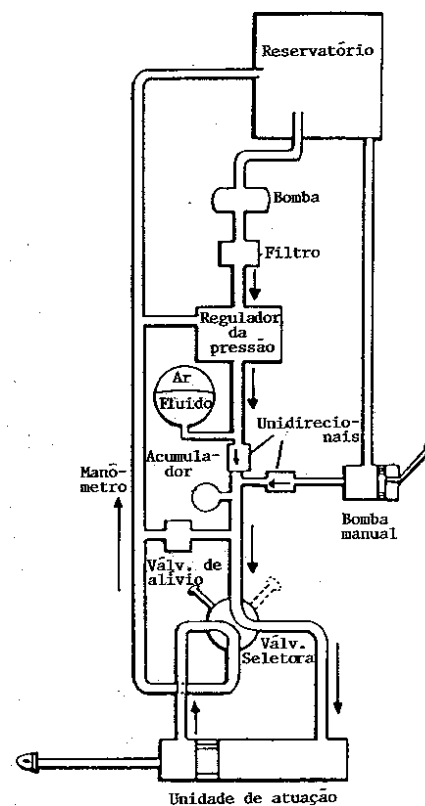




Figura 8-6 Sistema hidráulico básico com bomba mecânica e outros componentes hidráulicos.

A válvula de alívio é uma válvula de segurança instalada no sistema para desviar o fluido para o de retorno ao reservatório, nos casos de uma pressão excessiva ocorrer no sistema.

As válvulas unidirecionais permitem ao fluxo do fluido fluir somente em uma direção. As válvulas unidirecionais estão instaladas em vários pontos nas linhas de todos os sistemas hidráulicos de aeronaves. Na figura 8-6, uma válvula unidirecional evita que a pressão da bomba mecânica entre na linha da bomba manual; e a outra evita que a pressão da bomba manual seja direcionada para o acumulador. As unidades de um sistema hidráulico típico, usado mais comumente, são discutidas em detalhes nos parágrafos seguintes. Nem todos os modelos ou tipos são incluídos, mas exemplos de componentes típicos são usados em todos os casos.

## RESERVATÓRIOS

Existe uma tendência a imaginar um reservatório como um componente individual; todavia, isto não é sempre verdade. Existem dois tipos de reservatórios:

- 1) Em-Linha - Esse tipo tem seu próprio reservatório, é completo e conectado a outros componentes em um sistema por tubulação ou mangueira.
- 2) Integral - Esse tipo não tem seu próprio reservatório, sendo, simplesmente, um espaço anexo dentro de algum componente principal para manter o suprimento operacional de fluido. Um exemplo familiar desse tipo é o espaço para fluido de reserva, encontrado na maioria dos cilindros mestres dos freios automotivos.

Em um reservatório em-linha, (figura 8-7), um espaço é providenciado acima do nível normal do fluido, para expansão do fluido e escapamento do ar aprisionado no sistema. Os reservatórios nunca são intencionalmente encheidos até o topo com fluido. A maioria dos

reservatórios é projetada para que a borda do gargalo abastecedor fique, de algum modo abaixo do

topo do reservatório prevenindo contra o excesso durante o recompletamento.

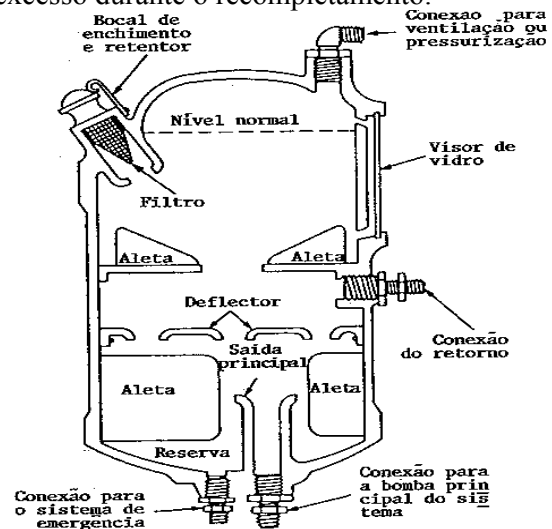


Figura 8-7 Reservatório.

A maioria dos reservatórios é equipada com uma vareta ou um visor de vidro medidores, através dos quais o nível do fluido pode ser conveniente e precisamente verificado.

Os reservatórios são abertos, fechados ou pressurizados para a atmosfera. Nos reservatórios abertos, a pressão atmosférica e a gravidade são as forças que fazem com que o fluido saia do reservatório para a entrada da bomba. Em muitas aeronaves, a pressão atmosférica é a principal força produtora do fluxo de fluido para a entrada da bomba. Todavia, em algumas aeronaves, a pressão atmosférica torna-se tão baixa para suprir a bomba, com a adequada quantidade de fluido, que o reservatório deve ser pressurizado.

Existem vários métodos de pressurização de um reservatório. Alguns sistemas usam a pressão de ar diretamente do sistema de pressurização da cabine da aeronave; ou do compressor do motor, no caso de aeronave propulsão a turbina.

Outro método usado é um aspirador ou venturi em "T". Em outros sistemas uma bomba hidráulica adicional é instalada na linha de suprimento na saída do reservatório, para suprir o fluxo sob pressão para a bomba hidráulica principal.

A pressurização com ar é obtida pela sua introdução sob pressão no reservatório acima do

nível do fluido. Na maioria dos casos, a fonte inicial de pressão de ar é o motor da aeronave do qual ele é sangrado. Usualmente, o ar vindo diretamente do motor está a uma pressão de aproximadamente 100 p.s.i. Essa pressão é reduzida para ficar entre 5 e 15 p.s.i., dependendo do tipo de sistema hidráulico, pela utilização de um regulador de pressão.

Os reservatórios que são pressurizados com fluido hidráulico (figura 8-8) são construídos de uma forma um pouco diferente dos reservatórios pressurizados com ar.

Um saco flexível, revestido com tecido, chamado "bellowfram", ou diafragma, é fixado à cabeça do reservatório. O saco está pendurado dentro de um cilindro metálico, formando um recipiente para o fluido. O fundo do diafragma repousa sobre um grande pistão.

Fixo a esse grande pistão está uma haste indicadora. A outra extremidade da haste indicadora é usinada para formar um pequeno pistão, que é exposto à pressão do fluido da bomba hidráulica.

Essa pressão força o pequeno pistão para a frente, fazendo com que o grande pistão também se mova para a frente, produzindo no reservatório uma pressão de aproximadamente 30 a 32 p.s.i. em operação normal.

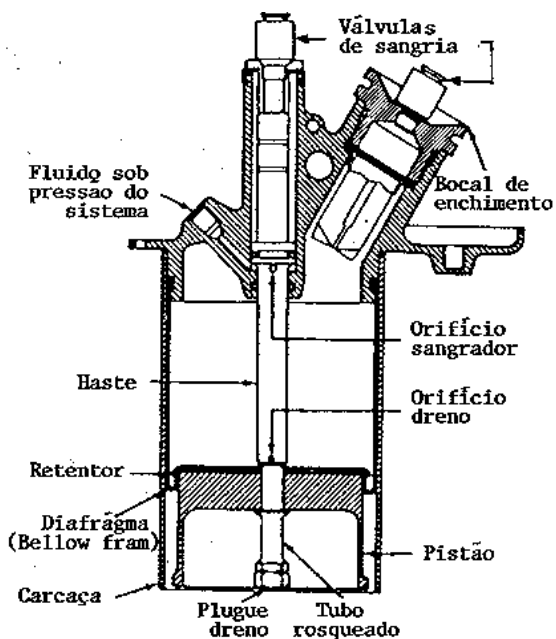


Figura 8-8 Reservatório hidráulico pressurizado com fluido.

Se a pressão interna exceder 46 p.s.i., a válvula de alívio do reservatório irá abrir,

permitindo o escapamento do fluido através do furo na cabeça da válvula de retenção. Esse tipo de reservatório deve ser abastecido com fluido hidráulico, e ter todo o ar sangrado do seu interior.

### Componentes do reservatório

Aletas e/ou defletores estão incorporados na maioria dos reservatórios para manter o fluido livre de movimentos, tal como turbilhonamento (redemoinho) e ondas. Essas condições podem fazer com que o fluido espume e o ar entre na bomba com o fluido.

Muitos reservatórios incorporam filtros no gargalo de enchimento para prevenir contra a entrada de material estranho durante o abastecimento. Esses filtros são feitos de uma tela de malha fina e, são, geralmente conhecidos como filtros de dedo devido à sua forma. Esses filtros não devem nunca ser removidos ou furados, com a finalidade de apressar a entrada de óleo para o reservatório.

Alguns reservatórios incorporam elementos de filtro. Eles podem ser usados para filtrar o ar antes dele entrar no reservatório, ou para filtrar o fluido antes dele deixar o reservatório.

Um elemento de filtro de ar, quando usado, é localizado na parte superior do reservatório, acima do nível de fluido. Um elemento de filtro de fluido, quando usado, está localizado no fundo do reservatório ou próximo do fundo.

O fluido, assim que retorna para o reservatório, circunda o elemento. Este deixa qualquer contaminante do fluido sobre o outro lado do elemento de filtro.

Reservatórios com elemento de filtro incorporam uma válvula de desvio, normalmente fechada por uma mola. A válvula de desvio assegura que a bomba não sofrerá falta de fluido em caso do elemento de filtro ser obstruído.

Um filtro entupido produz um vácuo parcial e, em consequência, a válvula de desvio, carregada por ação de mola, se abre. O elemento de filtro mais comumente usado em reservatórios é o do tipo micrônico. Esses elementos de filtro, de celulose tratada, são moldados em dobras semelhantes as de acordeão.

As pregas expõem o fluido ao máximo de superfície filtrante dentro de um dado

espaço. Esses elementos micrônicos são capazes de remover pequenas partículas de contaminação.

Algumas aeronaves têm sistemas hidráulicos de emergência que entram no circuito, caso o sistema principal falhe. Em muitos desses sistemas, as bombas de ambos obtêm fluido de um mesmo reservatório. Em tais circunstâncias o suprimento de fluido, para a bomba de emergência, é assegurado pela retirada do fluido hidráulico do fundo do reservatório.

O sistema principal tira o seu fluido através de um tubo pescador localizado no nível mais alto. Com essa disposição, o fluido em quantidade adequada é deixado para a operação do sistema de emergência, caso o suprimento de fluido do sistema principal fique reduzido.

### Bombas manuais de Dupla-Ação

A bomba manual hidráulica de dupla ação é usada em algumas aeronaves antigas e, em alguns poucos sistemas modernos, como uma unidade auxiliar.

As bombas manuais de dupla ação produzem um fluxo de fluido e pressão em cada movimento da alavanca.

A bomba manual de dupla ação (figura 8-9) consiste basicamente de um alojamento com um núcleo cilíndrico e duas aberturas, um pistão, duas válvulas unidirecionais e uma alavanca de operação.

Um anel de vedação (“O” ring) sobre o pistão sela contra a fuga de fluido entre as duas cavidades do núcleo cilindro-pistão.

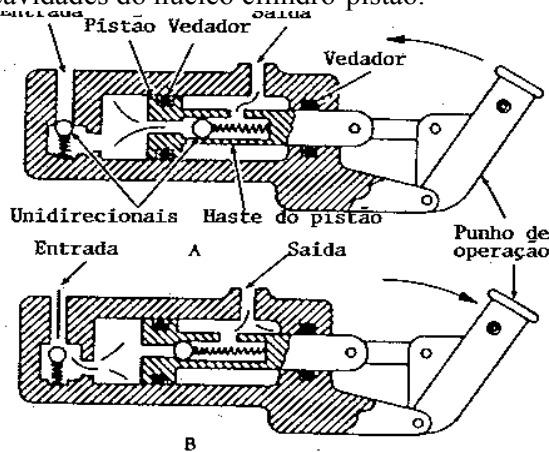


Figura 8-9 Bomba manual de dupla ação.

Um anel de vedação, na ranhura da extremidade do alojamento da bomba, sela

contra a fuga de fluido entre a haste do pistão e o alojamento da bomba.

### Bombas mecânicas

Muitas bombas hidráulicas mecânicas das aeronaves atuais são do tipo controladas por compensador e com demanda variável. Existe algumas bombas de demanda constante em uso. Os princípios de operação são os mesmos para ambos os tipos de bombas.

Devido à sua relativa simplicidade e facilidade de entendimento, a bomba de demanda constante é usada para descrever os princípios de operação das bombas mecânicas.

### Bombas de fluxo constante

Uma bomba de fluxo constante, independente da rotação da bomba, força uma quantidade fixa ou invariável de fluido através do orifício de saída durante cada revolução da bomba. Bombas de fluxo constante são, algumas vezes, chamadas bombas de volume constante ou de fluxo fixo. Elas entregam uma quantidade fixa de fluido por revolução, independente da pressão solicitada.

Desde que a bomba de fluxo constante proporcione uma quantidade fixa de fluido durante cada revolução da bomba, a quantidade de fluido entregue por minuto dependerá da rotação da bomba. Quando uma bomba de fluxo constante é usada em um sistema hidráulico, na qual a pressão deve ser mantida em um valor constante, um regulador de pressão é necessário.

### Bomba de fluxo variável

Uma bomba de fluxo variável tem uma saída de fluido, que é variada para satisfazer à demanda de pressão do sistema, pela variação da saída de seu fluido. O fluxo de saída é mudado automaticamente pelo compensador da bomba, instalado na parte interna da bomba.

### Mecanismo de bombeamento

Vários tipos de mecanismo de bombeamento são usados em bombas hidráulicas, tais como engrenagens, rotores, palhetas e pistões. O mecanismo tipo pistão é comumente usado em bombas mecânicas devido à sua durabilidade e capacidade de desenvolver

alta pressão. Em sistemas hidráulicos de 3.000 p.s.i., as bombas do tipo pistão são quase sempre usadas.

### Bomba do tipo engrenagem

Uma bomba mecânica do tipo engrenagem (figura 8-10) consiste de duas engrenagens engrazadas que giram em um alojamento. A engrenagem motora é girada pelo motor da aeronave ou por alguma outra unidade motriz. A engrenagem acionada está engrazada na motora, sendo acionada por ela. A folga entre os dentes no engajamento e, entre os dentes e o alojamento, é muito pequena.

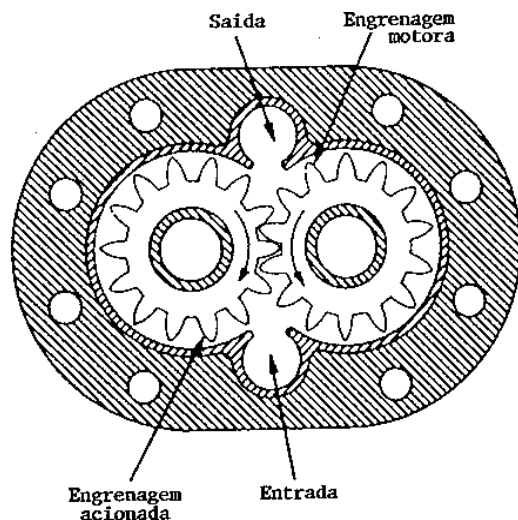


Figura 8-10 bomba do tipo engrenagens.

O orifício de entrada da bomba é conectado ao reservatório, e o de saída à linha de pressão. Quando a engrenagem motora gira na direção anti-horária, como mostrado na figura 8-10, ela gira a engrenagem acionada no sentido horário. À medida que os dentes passam no orifício de entrada, o fluido é retido entre os dentes da engrenagem e o alojamento, sendo então transportado em torno do alojamento para o orifício de saída.

### Bomba do tipo rotor

Uma bomba do tipo rotor (figura 8-11) consiste essencialmente de um alojamento contendo um revestimento estacionário excêntrico, um rotor de engrenagem interno com cinco dentes largos de pequena altura; uma

engrenagem motora em forma de espigão (spur) com quatro dentes estreitos, e uma capa de bomba que contém duas aberturas de forma crescente.

Uma abertura projeta-se para dentro do orifício de entrada, e a outra projeta-se para dentro do orifício de saída. A capa da bomba, como mostrada na figura 8-11, tem sua face de encaixe virada para cima, para mostrar claramente as aberturas em forma crescente.

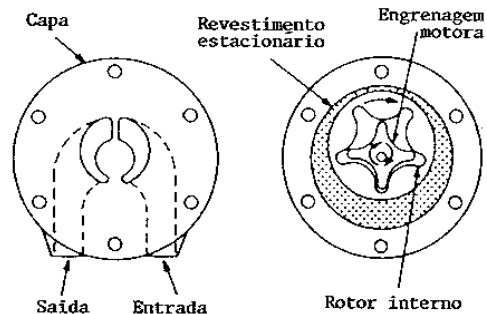


Figura 8-11 Bomba do tipo rotor.

Quando a capa é virada para cima e apropriadamente instalada no alojamento da bomba, ela terá seu orifício de entrada à esquerda, e o de saída à direita.

Durante a operação da bomba, as engrenagens giram no sentido horário. À medida que os espaços coletores que se encontram no lado esquerdo da bomba movem-se de uma posição inferior máxima em direção a uma posição superior máxima, os coletores aumentarão em tamanho (figura 8-11), resultando na produção de um vácuo parcial dentro desses coletores. Quando os coletores abrem no orifício de entrada, o fluido é sugado para dentro deles. Como esses espaços coletores (agora cheios de fluido) giram sobre o lado direito da bomba, movendo-se da posição alta máxima em direção à posição baixa máxima, eles diminuem de tamanho. Isso resulta na expulsão do fluido dos coletores através do orifício de saída.

### Bomba do tipo palheta

A bomba do tipo palheta (figura 8-12) consiste de um alojamento contendo quatro palhetas (lâminas), um rotor oco de aço com ranhuras para as palhetas, e um acoplamento

para girar o rotor. O rotor é posicionado excêntricamente dentro da luva.

As palhetas, que estão montadas nas ranhuras do rotor, juntas com o rotor, dividem o núcleo da luva em quatro seções.

À medida que o rotor gira cada seção, uma de cada vez, passa em um ponto onde o seu volume está no mínimo, e em outro ponto onde o seu volume está no máximo. O volume gradualmente aumenta de um mínimo a um máximo durante metade de uma revolução. E gradualmente diminui de um máximo para um mínimo durante a segunda metade da revolução.

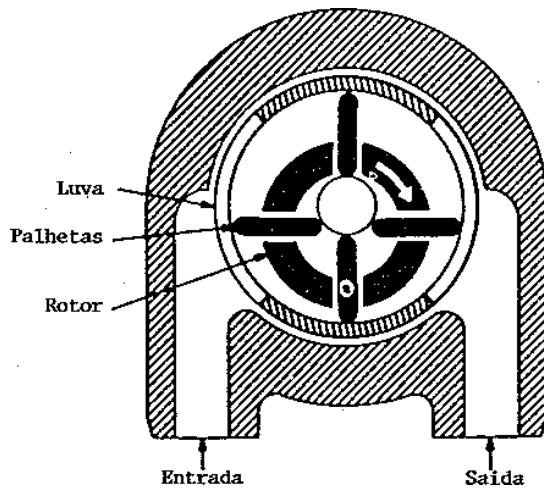


Figura 8-12 Bomba do tipo palheta.

À medida que o volume de uma dada seção está aumentando, ela é conectada ao orifício de entrada da bomba através de uma abertura na luva. Desde que um vácuo parcial é produzido pelo aumento do volume da seção, o fluido é drenado para a seção através do orifício de entrada da bomba e da abertura na luva.

À medida que o rotor gira através da segunda metade da revolução, e o volume de uma dada seção está diminuindo, o fluido é deslocado para fora da seção através da ranhura na luva do orifício de saída e para fora da bomba.

### Bomba do tipo pistão

As características comuns de projeto e operação, que são aplicáveis a todas as bombas hidráulicas do tipo pistão, estão descritas nos parágrafos seguintes. As bombas mecânicas do tipo pistão têm bases de apoio flangeadas, com a

finalidade da montagem das bombas na seção de acionamento dos acessórios dos motores da aeronave e transmissões.

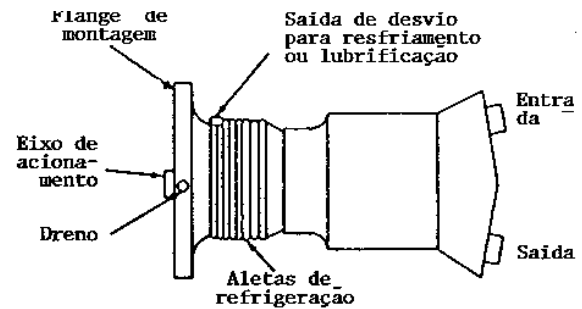


Figura 8-13 Bomba hidráulica do tipo pistão.

Um eixo motriz da bomba que gira o mecanismo, projeta-se do alojamento da bomba ligeiramente, além da base de montagem (figura 8-13).

O torque da unidade motora é transmitido ao eixo motriz da bomba por um dispositivo de acoplamento (figura 8-14). Esse dispositivo de acoplamento é um eixo curto estriado em ambas as extremidades. Essas estrias engrazam na roda motriz em uma extremidade; e na bomba em outra extremidade.

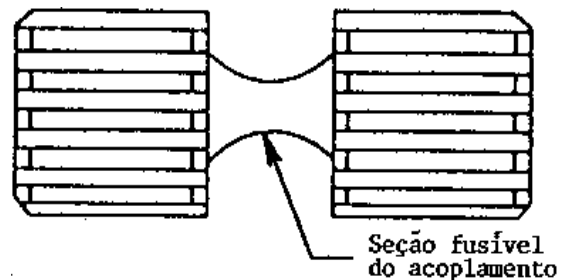


Figura 8-14 Dispositivo de acoplamento da bomba.

Os acopladores de bomba são projetados para servirem também como dispositivos de segurança. A seção de cisalhamento do dispositivo de acoplamento, localizada no meio entre as duas extremidades estriadas, é de menor diâmetro que a parte estriada. Se a bomba se tornar dura para girar, esta seção irá cisalhar, protegendo a bomba ou a unidade motriz quanto a danos.

O mecanismo básico de bombeamento das bombas tipo pistão (figura 8-15) consiste em um bloco cilíndrico com múltiplos furos cilíndricos, um pistão para cada furo, e um dispositivo de válvulas para cada furo. A finalidade desse dispositivo é permitir a entrada

e a saída do fluido quando a bomba estiver em funcionamento.

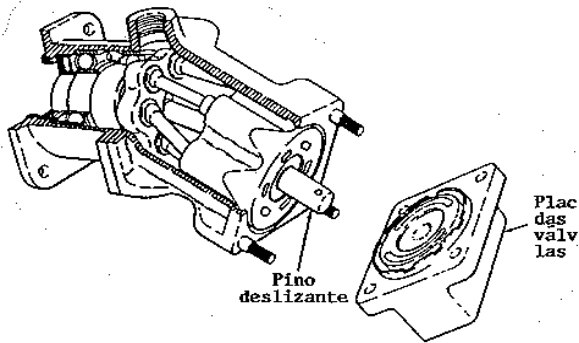


Figura 8-15 Mecanismo da bomba a pistão tipo axial.

Os furos cilíndricos estão dispostos paralelamente e simetricamente em torno do eixo da bomba.

O termo “bomba a pistão axial” é usado freqüentemente ao se referir a bombas com esse dispositivo. Todas as bombas a pistão-axial de aeronave têm um número ímpar de pistões (5, 7, 9, 11, etc).

### BOMBA A PISTÃO TIPO ANGULAR

Uma bomba do tipo angular típica é mostrada na figura 8-16. O alojamento angular da bomba forma um ângulo, correspondente ao que existe entre o bloco cilíndrico e a placa do eixo acionador, onde os pistões estão fixos. É esta configuração angular da bomba que faz com que os pistões se desloquem, à medida que seu eixo é girado.

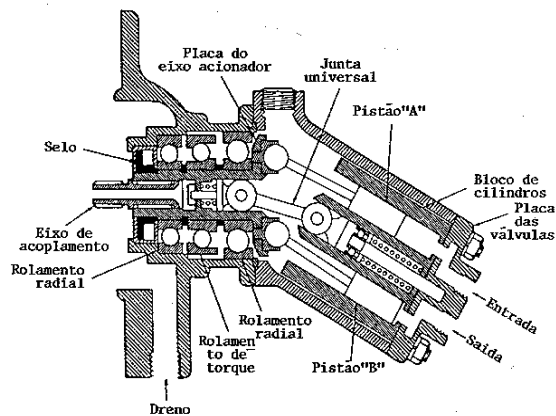


Figura 8-16 Bomba a pistão tipo angular.

Quando a bomba é operada, todas as partes dentro dela (exceto a pista externa dos rolamentos que apóiam o eixo acionador, o pino deslizante do cilindro sobre o qual o bloco

cilíndrico gira, e o selo de óleo) giram juntas, como um conjunto rotativo.

Devido ao ângulo entre o eixo acionador e o bloco cilíndrico, num ponto de rotação do conjunto rotativo, uma distância mínima existe entre o topo do bloco cilíndrico e a face superior da placa do eixo acionador. Em um ponto de rotação a 180°, a distância entre o topo do bloco cilíndrico e a face superior da placa do eixo acionador está no máximo.

Em um momento qualquer da operação, três dos pistões estarão se distanciando da face superior do bloco cilíndrico, produzindo um vácuo parcial, onde esses pistões atuam. O fluido será drenado para esses furos cilíndricos nesse momento.

O movimento dos pistões quando sugando e expelindo fluido é projetado de tal forma, que a descarga de fluido da bomba é praticamente constante.

### Bomba do tipo de ressalto

A bomba do tipo de ressalto (figura 8-17) utiliza um ressalto para provocar o deslocamento dos pistões. Existem duas variações de bombas de ressalto; uma na qual o ressalto gira e o bloco cilíndrico é estacionário; e outra na qual o ressalto fica estacionário e o bloco cilíndrico é rotativo.

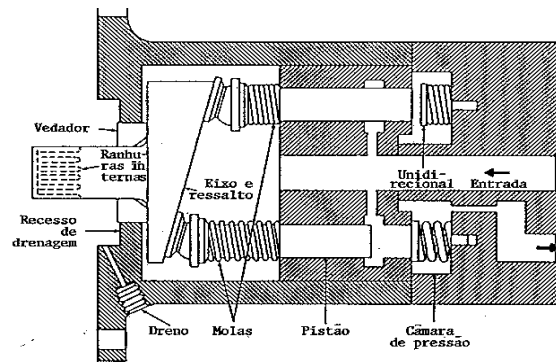


Figura 8-17 Bomba do tipo ressalto.

Como um exemplo da maneira com que os pistões de uma bomba tipo ressalto são movimentados, a operação de uma bomba do tipo ressalto rotativo é descrita a seguir: à medida que o ressalto gira, seus pontos altos e baixos passam alternadamente e, um de cada vez, sob cada pistão. Quando a rampa de subida do ressalto passa sob o pistão, ela empurra o pistão em direção à sua cavidade, fazendo com

que o fluido seja expelido. Quando a rampa de descida do ressalto passa sob um pistão, a mola de retorno desse pistão projeta-o para fora da sua cavidade. Isso faz com que o fluido seja sugado para dentro da sua cavidade.

Devido o movimento dos pistões, quando sugando ou expelindo fluido, ser de natureza sobreposta, a descarga do fluido de uma bomba do tipo de ressalto é praticamente constante.

Cada cavidade tem uma válvula unidirecional que abre para permitir que o fluido seja expelido da cavidade pelo movimento do pistão. Essas válvulas fecham durante o movimento de entrada de óleo dos pistões. Devido a isso, a entrada de fluido nas cavidades somente pode ser feita através da passagem central.

## REGULAGEM DA PRESSÃO

A pressão hidráulica deve ser regulada, de maneira a usá-la para cumprir as funções desejadas. Os sistemas de regulagem de pressão usarão sempre três dispositivos elementares: uma válvula de alívio, um regulador e um medidor de pressão.

### Valvulas de alivio de pressão

Uma válvula de alívio de pressão é usada para limitar a quantidade de pressão que está sendo exercida em um líquido confinado. Isso é necessário para prevenir a falha dos componentes, ou ruptura das linhas hidráulicas sob pressão excessiva. A válvula de alívio é, de fato, uma válvula de segurança do sistema.

O projeto das válvulas de alívio de pressão incorpora válvulas ajustáveis por pressão de mola. Elas são instaladas, e descarregam o fluido da linha de pressão para a linha de retorno ao reservatório, quando a pressão excede a um máximo pré-determinado para o qual a válvula foi ajustada.

Vários tipos e desenhos de válvulas de alívio de pressão estão em uso, mas em geral, todas elas empregam um dispositivo de regulagem sob pressão de mola, operado por pressão hidráulica e tensão de mola. As válvulas de alívio de pressão são ajustadas pelo aumento ou diminuição da tensão sobre a mola, para determinar a pressão requerida para a abertura da válvula. Dois modelos gerais de válvulas de

alívio de pressão, a de duas entradas e a de quatro entradas são ilustradas na figura 8-18.

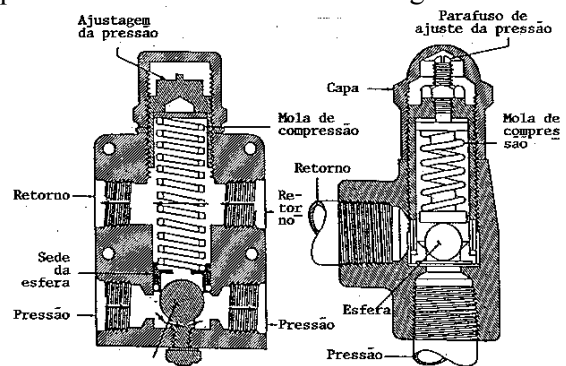


Figura 8-18 Válvulas de alívio da pressão.

As válvulas de alívio de pressão podem ser classificadas quanto ao seu tipo de construção ou usos no sistema. Todavia, a finalidade geral e a operação de todas as válvulas de pressão são as mesmas. A diferença básica na construção das válvulas de alívio de pressão está no seu desenho. Os tipos mais comuns de válvulas são:

- 1) Tipo esfera - Nas válvulas de alívio de pressão com um dispositivo valvulado de esfera, a esfera repousa sobre um batente com o seu contorno. Uma pressão atuando sobre a base da esfera empurra-a para fora do seu batente, permitindo a passagem do fluido.
- 2) Tipo luva - Nas válvulas de alívio de pressão com um dispositivo valvulado de luva, a esfera permanece estacionária, e o batente tipo luva é movimentado pela pressão do fluido. Isso permite ao fluido passar entre a esfera e a sede da luva deslizante.
- 3) Tipo gatilho - Nas válvulas de alívio de pressão com um dispositivo valvulado do tipo gatilho, um gatilho em forma cônica pode ter qualquer uma entre várias configurações de projeto; todavia, ela é basicamente um cone e uma sede usinados em ângulos casados para prevenir contra a fuga de fluido. À medida que a pressão sobe ao seu ajuste pré-determinado, o gatilho é levantado para fora da sua sede, como no dispositivo de esfera. Isso permite ao fluido passar através da abertura criada e sair pela abertura de retorno.

As válvulas de alívio de pressão não podem ser usadas como reguladoras de pressão

em grandes sistemas hidráulicos, que dependem de bombas mecânicas acionadas pelo motor da aeronave como fonte básica de pressão, porque a bomba está constantemente sob pressão, e a energia gasta na manutenção da válvula de alívio de pressão fora do seu batente é transformada em calor.

Esse calor é transferido para o fluido e, por sua vez, aos anéis de vedação, provocando sua rápida deterioração. As válvulas de alívio de pressão, todavia, podem ser usadas como reguladores em pequenos sistemas de baixa pressão; ou quando a bomba é eletricamente acionada e de uso intermitente. As válvulas de alívio de pressão podem ser usadas como:

- 1) Válvulas de alívio do sistema - O uso mais comum das válvulas de alívio de pressão é como um dispositivo de segurança contra a possibilidade de falha do compensador da bomba ou outros dispositivos de regulação de pressão. Todos os sistemas hidráulicos, que têm bombas hidráulicas, incorporam válvulas de alívio de pressão como dispositivos de segurança.
- 2) Válvulas de alívio térmico - A válvula de alívio de pressão é usada para aliviar as pressões excessivas, que possam existir devido à expansão térmica do fluido.

### **Reguladores de pressão**

O termo “REGULADOR DE PRESSÃO” é aplicado ao dispositivo usado nos sistemas hidráulicos, que são pressurizados pelas bombas do tipo de fluxo constante. Uma finalidade do regulador de pressão é controlar a saída da bomba para manter a pressão de operação do sistema dentro de uma faixa pré-determinada. Outra finalidade é permitir à bomba girar sem resistência (período quando a bomba não está sob carga), nos momentos em que a pressão no sistema está dentro da sua faixa normal de operação. O regulador de pressão está, desse modo, localizado no sistema, no qual a saída da bomba pode alcançar o circuito de pressão somente passando através do regulador. A combinação de uma bomba do tipo de fluxo constante e um regulador de pressão é virtualmente o equivalente à bomba do tipo fluxo variável, controlada por compensador.

### **Medidores de pressão**

Tem como finalidade medir a pressão no sistema hidráulico, usado para operar as unidades hidráulicas das aeronaves. O medidor usa um tubo de Bourdon e um dispositivo mecânico para transmitir a expansão do tubo ao indicador.

Uma tomada de ar no fundo da caixa mantém a pressão atmosférica em torno do tubo de Bourdon. Ela também proporciona um dreno para qualquer umidade acumulada. Existem várias faixas de pressão usadas nos sistemas hidráulicos, e os medidores são calibrados para se adaptarem com os sistemas nos quais eles estão ligados.

### **ACUMULADORES**

O acumulador é uma esfera de aço dividida em duas câmaras por um diafragma de borracha sintética. A câmara superior contém fluido sob pressão do sistema, enquanto que a câmara inferior está carregada com ar. A função de um acumulador é:

- a) Amortecer as oscilações de pressão surgidas no sistema hidráulico, causadas pela atuação de uma unidade e do esforço da bomba, que mantém a pressão a um nível pré-ajustado.
- b) Auxiliar ou suplementar a bomba mecânica quando várias unidades estão operando ao mesmo tempo, pelo suprimento de pressão extra de sua pressão estocada ou “acumulada”.
- c) Estocar pressão para a operação limitada de uma unidade hidráulica, quando a bomba não estiver operando.
- d) Suprir fluido sob pressão para compensar pequenas perdas, internas ou externas (não desejadas), que poderiam produzir no sistema uma vibração contínua, pela ação das contínuas colisões de pressão.

### **Acumuladores do tipo Diafragma**

Os acumuladores do tipo diafragma consistem de duas metades de esferas ocas presas juntas pela linha do centro.

Uma dessas metades tem um conector para fixação da unidade ao sistema; a outra



metade é equipada com uma válvula para o carregamento da unidade com ar comprimido.

Montado entre as duas partes está um diafragma de borracha sintética que divide o tanque em dois compartimentos. Uma tela cobre a saída sobre o lado do fluido do acumulador. Isso previne que uma parte do diafragma seja empurrado para o orifício de pressão do sistema e ser danificado.

Isso poderia acontecer sempre que existisse uma pressão de ar na unidade, e não houvesse pressão de fluido em balanço. Em algumas unidades, um disco metálico fixo ao centro do diafragma é usado em lugar da tela. (ver figura 8-19).

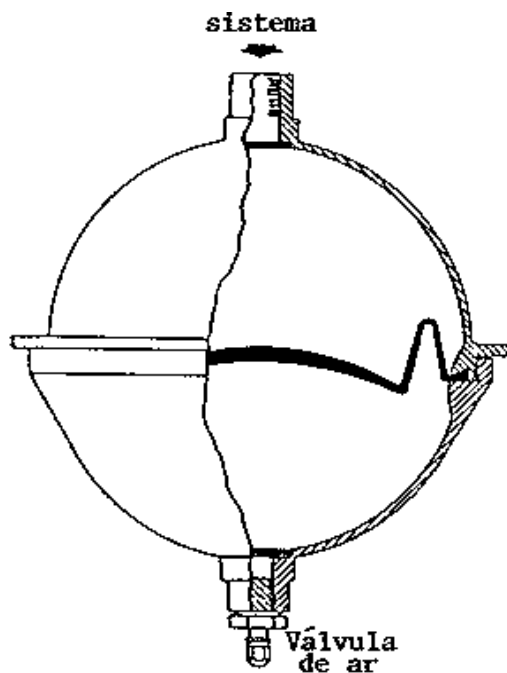


Figura 8-19 Acumulador tipo diafragma.

### Acumuladores do tipo balão

O acumulador do tipo balão opera, baseado no mesmo princípio do tipo diafragma. Ele serve para a mesma função, mas varia na construção. Esta unidade consiste em uma peça esférica de metal com uma entrada de pressão de fluido no topo. Existe uma abertura no fundo para a inserção do balão.

Um grande bujão atarraxado ao fundo do acumulador retém o balão e também veda a unidade.

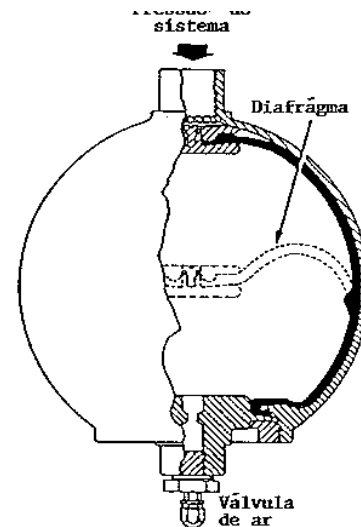


Figura 8-20 Acumulador do tipo balão.

### Acumuladores do tipo pistão

O acumulador do tipo pistão, também serve para a mesma finalidade, e opera muito semelhantemente aos de diafragma e de balão. Como mostrado na figura 8-21 esta unidade é um cilindro (B) e um conjunto de pistão (E) com aberturas em cada extremidade.

A pressão de fluido do sistema entra na abertura do topo (A) e força o pistão para baixo contra a pressão de ar no fundo da câmara (D). Uma válvula de ar de alta-pressão (C) está localizada no fundo do cilindro para reabastecer a unidade. Existem dois selos de borracha (representado pelos pontos pretos), que previnem contra a fuga entre as duas câmaras (D e C). Uma passagem (F) é aberta do lado do fluido do pistão para o espaço entre os selos. Isso proporciona lubrificação entre as paredes do cilindro e o pistão.

### Manutenção de acumuladores

A manutenção de acumuladores consiste em inspeções, pequenos reparos, substituições de partes componentes e teste. Existe um elemento de perigo na manutenção de acumuladores. Portanto, precauções apropriadas devem ser observadas estritamente para a prevenção de ferimentos e danos.

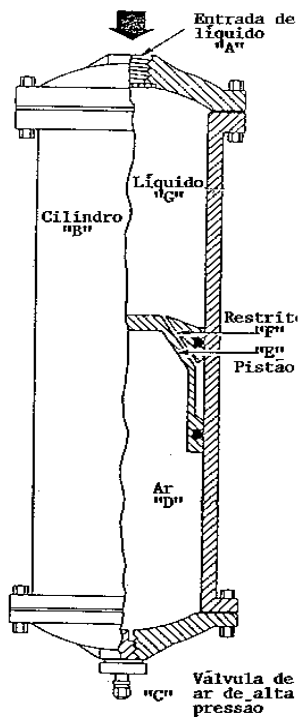


Figura 8-21 Acumulador tipo pistão.

**ANTES DE DESMONTARMOS QUALQUER ACUMULADOR, NOS ASSEGURAMOS DE QUE TODA A PRESSÃO DO AR PRÉ-CARREGADA (OU NITROGÊNIO) TENHA SIDO DESCARREGADA. A OMISSÃO EM ALIVIAR O AR PODE RESULTAR EM DANOS SÉRIOS AO MECÂNICO. (ANTES DE FAZERMOS ESSA VERIFICAÇÃO, DEVEMOS TER CERTEZA DE QUE CONHECEMOS O TIPO DE VÁLVULA DE AR DE ALTA PRESSÃO USADA.) QUANDO, FINALMENTE, TODA A PRESSÃO DE AR TIVER SIDO REMOVIDA, ABRIMOS A UNIDADE. AS INSTRUÇÕES DOS FABRICANTES DEVEM SER SEGUIDAS.**

### Valvulas unidirecionais

Para que os sistemas e componentes hidráulicos operem como previsto, o fluxo de fluido deve ser rigidamente controlado. Muitos tipos de unidades de válvulas são usadas para exercer tal controle. Uma das mais simples e mais comumente usada é a válvula unidirecional, a qual permite o livre fluxo do fluido em uma direção, mas não o permite no outro sentido, ou o faz com restrição.

As válvulas unidirecionais são feitas em dois projetos gerais para servir a duas diferentes

necessidades. Em um, a válvula unidirecional é completa nela mesma. Ela é interconectada com outros componentes, com os quais ela opera através de tubulação ou mangueira. As válvulas unidirecionais desse tipo são comumente chamadas válvulas unidirecionais em linha. Existem dois tipos de válvula unidirecionais em linha, a tipo simples e a tipo orifício. (ver figura 8-22).

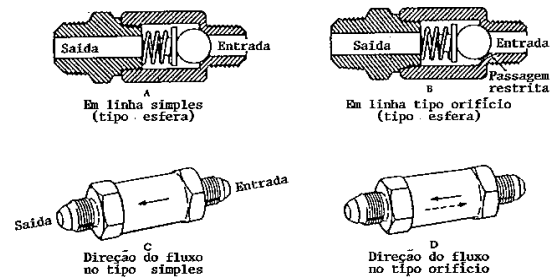


Figura 8-22 Válvulas unidirecionais típicas.

No outro projeto, a válvula unidirecional não é completa em si mesma, devido a ela não ter um alojamento exclusivamente próprio. As válvulas unidirecionais desse modelo são comumente chamadas válvulas unidirecionais integrais. Essa válvula é, na verdade, uma peça integral de algum componente maior e, como tal, compartilha o alojamento com esse componente.

### Válvula unidirecional em linha

A válvula unidirecional em linha tipo simples (normalmente chamada válvula unidirecional) é usada quando um fluxo total de fluido é desejado em somente uma direção (figura 8-22A).

O fluido entra no orifício de entrada da válvula unidirecional, forçando-a a sair do seu alojamento contra a restrição da mola. Isso permite ao fluido seguir através da passagem então aberta.

No exato momento em que o fluido para de se mover nessa direção, a mola retorna a válvula para a sua sede, e bloqueia o fluxo reverso de fluido através da válvula.

### Válvula unidirecional do tipo orifício

A válvula unidirecional em linha tipo orifício (figura 8-22B), é usada para permitir uma velocidade normal de operação de um mecanismo pelo fornecimento de um fluxo de

fluido em uma direção, enquanto permite uma velocidade limitada de operação através de um fluxo restrito na direção oposta.

A operação da válvula unidirecional em linha tipo orifício é o mesmo da válvula unidirecional em linha tipo simples, exceto quanto ao fluxo restrito permitido quando fechado. Isso é conseguido por uma segunda abertura na sede da válvula, que nunca está fechada, de tal maneira que algum fluxo reverso pode ocorrer através da válvula. A segunda abertura é muito menor que a abertura na sede da válvula. Como uma regra, é de um tamanho específico, de modo a manter um controle total sobre a razão na qual o fluido pode voltar através da válvula. Esse tipo de válvula é chamado, algumas vezes, de válvula de amortecimento.

A direção do fluido através das válvulas unidirecionais em linha é normalmente indicado por uma seta estampada sobre a carcaça (figura 8-22 C e D) Em uma válvula unidirecional, em linha tipo simples, uma única seta aponta para a direção do fluido.

A válvula unidirecional em linha do tipo orifício é geralmente marcada com duas setas. Uma seta é mais pronunciada que a outra, e indica a direção do fluxo irrestrito. A outra seta, ou é menor que a primeira ou é construída em linhas pontilhadas; apontando no sentido do fluxo reverso restrito de fluido.

Em adição às válvulas unidirecionais em linha do tipo esfera, mostrada na figura 8-22, outros tipos de válvulas tais como discos, agulhas e gatilhos são usadas.

Os princípios de operação das válvulas unidirecionais integrais são os mesmos das válvulas unidirecionais em linha.

### Válvulas para desconexão rápida ou para desconexão de linha

Essas válvulas são instaladas nas linhas hidráulicas para prevenir perda de fluido quando as unidades são removidas. Tais válvulas são instaladas nas linhas de pressão e sucção do sistema, justamente antes e imediatamente após a bomba mecânica.

Essas válvulas também podem ser usadas com outras finalidades, além da substituição de unidades do sistema e um teste hidráulico estacionário conectado em seu lugar.

Essas válvulas consistem de duas seções interligadas, acopladas juntas por uma porca quando instaladas no sistema. Cada seção da válvula tem um pistão e uma válvula de gatilho montados. Eles estão sob pressão de mola, na posição fechada quando a unidade é desconectada.

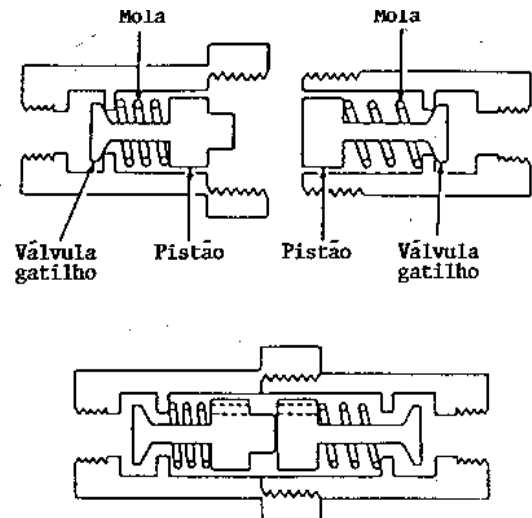


Figura 8-23 Válvula de desconexão rápida.

A ilustração superior da figura 8-23 mostra a válvula na posição desconectada da linha. As duas molas (a e b) mantêm as válvulas de gatilho (c e f) na posição fechada, como mostrado. Isso impede a perda de fluido através da linha desconectada.

A ilustração inferior da figura 8-23 mostra a válvula na posição conectada na linha. Quando a válvula está sendo conectada, a porca de acoplamento une as duas seções. A extensão (d ou e) em um dos pistões, força o pistão oposto de volta contra a sua mola. Esta ação move a válvula de gatilho para fora da sua sede e permite ao fluido sair através da seção da válvula. À medida que a porca é unida firmemente, um pistão encontra um batente; e o outro, move-se para trás contra sua mola, que, por sua vez, permite a passagem do óleo. Consequentemente o fluido pode continuar através da válvula e do sistema.

A válvula de desconexão acima é somente um dos muitos tipos atualmente utilizados. Embora todas as válvulas de desconexão de linha operem com o mesmo princípio, os detalhes são variáveis. Cada fabricante tem o seu próprio desenho e configuração.

Um fator muito importante no uso da válvula de desconexão de linha é sua própria

conexão. As bombas hidráulicas podem ser seriamente danificadas se as linhas desconectadas não estiverem adequadamente conectadas. Em caso de dúvida sobre a operação de desconexão de linha, consultamos o manual de operação da aeronave.

O grau de manutenção a ser desenvolvido em uma válvula de desconexão rápida é muito limitado. As partes internas desses tipos de válvulas são de construção de precisão, e montadas na fábrica. Elas são feitas com tolerâncias muito reduzidas, por isso, nenhuma tentativa deve ser feita para desmontar ou substituir as partes internas em qualquer das metades do acoplamento. Todavia, as metades do acoplamento, porcas de união e capa externa podem ser substituídos. Quando substituímos o conjunto, ou qualquer das suas partes, seguimos as instruções no manual de manutenção aplicável.

## CILINDROS ATUADORES

Um cilindro atuador transforma a energia na forma de pressão hidráulica em força mecânica, ou ação, para executar um trabalho. Ele é usado para conceder potência em um movimento linear a algum mecanismo ou objeto móvel.

Um cilindro atuador típico consiste basicamente de um alojamento cilíndrico, um ou mais pistões, e hastes de pistão e alguns selos. O alojamento do cilindro contém um núcleo polido, no qual o pistão opera em uma ou mais entradas, através das quais o fluido entra e sai do núcleo cilíndrico. O pistão e a haste formam um conjunto. O pistão move-se para a frente e para trás dentro do núcleo cilíndrico e uma haste fixa no pistão move-se para dentro e para fora do alojamento do cilindro, através de uma abertura em um dos lados do alojamento cilíndrico.

Os selos são usados para evitar vazamentos entre o pistão e o núcleo cilíndrico, e entre a haste do pistão e a extremidade do cilindro. Ambos, o alojamento do cilindro e a haste do pistão têm dispositivos para montagem e para fixação a um objeto ou mecanismo, que deve ser movido pela atuação do cilindro.

Os cilindros atuadores são de dois tipos principais: (1) de ação única e (2) dupla ação. O de ação única (única entrada) é um cilindro atuador capaz de produzir movimento de força

em apenas uma direção. O cilindro atuador de dupla ação (duas entradas) é capaz de produzir movimento de força em duas direções.

### Cilindro atuador de ação única

Um cilindro atuador de ação única é ilustrado na figura 8-24. O fluido sob pressão entra no orifício à esquerda e empurra contra a face do pistão, forçando-o para a direita.

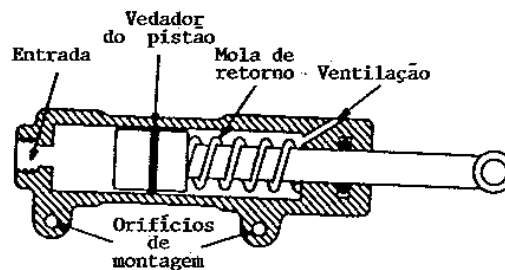


Figura 8-24 Cilindro atuador de ação única.

À medida em que o pistão se move, o ar é empurrado para fora da câmara da mola através do orifício de ventilação, comprimindo-a. Quando a pressão no fluido é aliviada para o ponto em que ela exerça menos força, que a apresentada na mola comprimida, a mola empurra o pistão para a esquerda.

À medida em que o pistão se move para a esquerda, o fluido é forçado para fora pelo orifício. Ao mesmo tempo, o movimento do pistão suga o ar para a câmara da mola através do orifício de ventilação. Uma válvula de controle de três posições normalmente é usada para controle da operação de um cilindro atuador de ação única.

### Cilindro atuador de dupla ação

Um cilindro atuador de dupla ação (duas entradas) está ilustrado na figura 8-25. A operação de um cilindro atuador de dupla ação é usualmente controlado por uma válvula seletora de quatro posições. A figura 8-26 mostra um cilindro atuador interconectado com uma válvula seletora. A operação da válvula seletora e do cilindro atuador será discutida adiante.

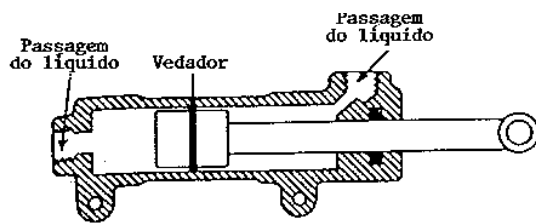


Figura 8-25 Cilindro atuador de dupla ação.

Colocando a válvula seletora na posição “ON” (figura 8-26A) admite-se pressão de fluido para a câmara esquerda do cilindro atuador. Isso resulta no pistão ser forçado para a direita.

À medida em que o pistão se move à direita, ele empurra o fluido de retorno para fora da câmara direita e, através da válvula seletora, para o reservatório.

Quando a válvula seletora é colocada em sua outra posição “ON”, como ilustrado na figura 8-26B, a pressão de fluido entra na câmara direita, forçando o pistão para a esquerda. À medida em que o pistão se move para a esquerda, ele empurra o fluido de retorno para fora da câmara e, através da válvula seletora, para o reservatório.

Essa capacidade existe, porque, quando a válvula seletora usada no controle da operação do cilindro atuador é colocada na posição “OFF”, o fluido fica retido nas câmaras, em ambos os lados do pistão do cilindro atuador.

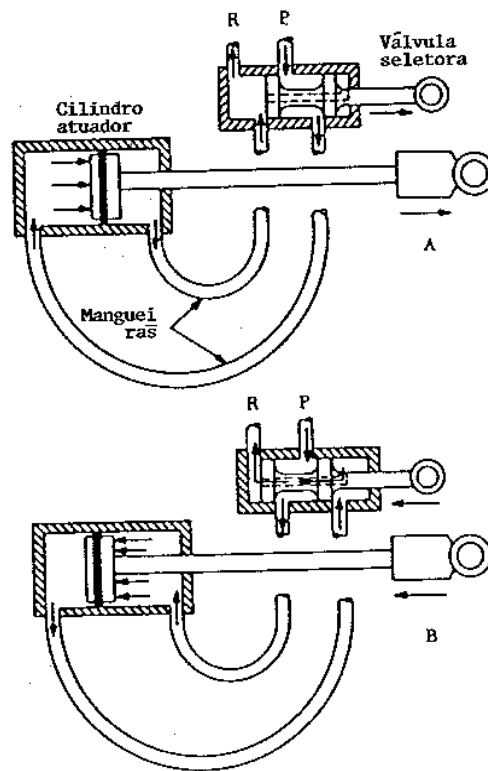


Figura 8-26 Controle do movimento do cilindro de atuação.

Além dos dois modelos gerais de cilindros atuadores discutidos (única ação e dupla ação), outros tipos estão disponíveis. A figura 8-27 mostra três tipos adicionais.

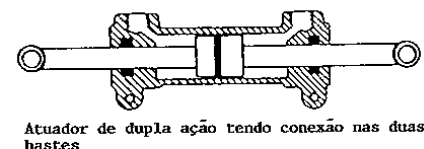
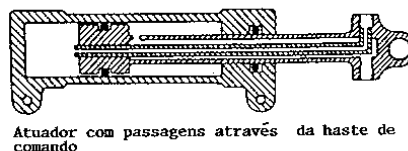


Figura 8-27 Tipos de cilindros de atuação.  
**VÁLVULAS SELETORAS**

As válvulas seletoras são usadas para controlar a direção do movimento de uma

unidade atuadora. Uma válvula seletora proporciona um caminho para fluxos simultâneos de fluido hidráulico, para dentro e para fora de uma unidade atuadora conectada. Ela, também, proporciona um meio imediato e conveniente de trocar as direções nas quais os fluidos seguem através do atuador, revertendo a direção do movimento.

Uma entrada de uma válvula seletora típica está conectada a um sistema de linha de pressão, para a injeção de fluido sob pressão. Uma segunda passagem da válvula está conectada à linha de retorno do sistema para direcionar o fluido ao reservatório. As passagens de uma unidade atuadora através das quais o fluido entra e sai, são conectadas por linhas a outras passagens da válvula seletora.

Uma válvula seletora tem vários números de passagens. O número de passagens é determinado pelas necessidades particulares do sistema no qual a válvula é usada. As válvulas seletoras tendo quatro passagens são as mais usadas.

As passagens de uma válvula seletora (figura 8-28) são marcadas individualmente para proporcionar uma pronta identificação. As marcações mais comumente usadas são: PRESSURE (ou PRESS ou P), RETURN (ou RET ou R), CYLINDER 1 (ou CYL 1), e CYLINDER 2 (ou CYL 2).

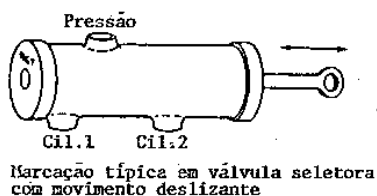
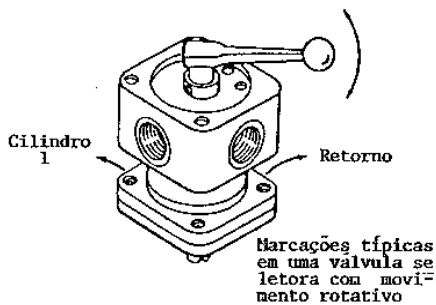


Figura 8-28 Marcações típicas em válvulas seletoras.

O uso da palavra “CYLINDER” na designação de passagens de válvulas seletora, não indica, como pode sugerir, que somente os cilindros hidráulicos devam ser conectados às passagens marcadas. De fato, qualquer tipo de unidade atuadora hidráulica pode ser conectada a essas passagens. Os números 1 e 2 são um meio conveniente de diferenciação entre as duas passagens da válvula seletora.

### Válvula seletora com fechamento central de quadro passagens

Devido às quatro passagens, uma válvula seletora de fechamento central é uma das mais comumente usadas em sistemas hidráulicos de aeronave.

Ela é discutida em detalhes nos parágrafos seguintes.

Dispositivos valvulados de vários tipos tais como esferas, válvulas gatilho, rotores ou carretéis são usados nas válvulas seletoras com fechamento central de quatro passagens.

A figura 8-29A ilustra uma válvula desse tipo na posição fechada (OFF).

Todas as passagens da válvula estão bloqueadas, e o fluido não pode seguir para dentro ou para fora da válvula.

Na figura 8-29B, a válvula seletora está colocada em uma de suas posições abertas.

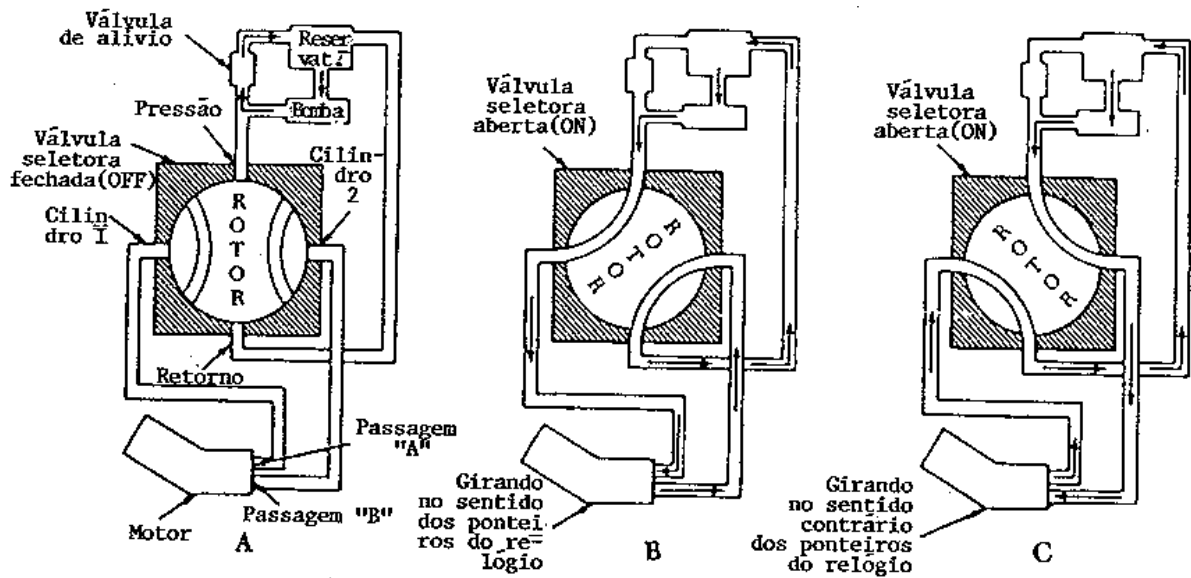


Figura 8-29 Operação da válvula seletora com fechamento central do tipo rotor.

As passagens “PRESSÃO” e “CL 1” tornam-se interligadas dentro da válvula. Como resultado, o fluido sai da bomba para a passagem “PRESS” da válvula seletora, sai da passagem “CL 1” da válvula seletora e entra na passagem “A” do motor.

O fluxo do fluido faz o motor girar no sentido horário. Simultaneamente, o fluido de retorno é forçado para fora da passagem “B” do motor, e entra na passagem “CL 2” da válvula seletora. O fluido, então, prossegue através da passagem no rotor da válvula, e deixa a válvula através da passagem “RETORNO”, para o retorno.

Na figura 8-29C, a válvula seletora está colocada na outra posição “ON”. A passagem “PRESSÃO” e “CL 2” tornam-se interligadas. Isso faz com que o fluido sob pressão seja entregue à passagem “B” do motor, o que faz com que o motor gire no sentido anti-horário.

O fluido de retorno deixa a passagem “A” do motor, entra na passagem “CL 1” da válvula seletora e segue através da passagem “RETORNO” da válvula seletora.

### Válvula seletora tipo carretel

O dispositivo da válvula seletora é em forma de carretel (figura 8-30). O carretel é uma peça inteiriça, à prova de vazamento e deslizamento livre assentado no alojamento da válvula seletora, e que pode ser movimentado longitudinalmente no alojamento por meio de

extensões, as quais projetam-se através do alojamento.

Uma passagem perfurada no carretel interliga as duas câmaras extremas da válvula seletora.

As válvulas seletoras tipo carretel são, algumas vezes, chamadas de válvulas piloto.

Quando o carretel é movimentado para a posição “OFF” da válvula seletora, as duas passagens do cilindro são diretamente bloqueadas pelos flanges do carretel (figura 8-30A). Isso indiretamente bloqueia as passagens “PRESSÃO” e “RETORNO” e o fluido não pode seguir para dentro ou para fora da válvula.

Movendo-se o carretel em direção à direita, move-se os flanges do carretel para além das passagens “CL 1” e “CL 2” (figura 8-30B). A passagem “PRESSÃO” e “CL 2” tornam-se, então, interligadas. Isso permite ao fluido, sob pressão, passar para atuar a unidade.

A passagem “RETORNO” e “CL 1” também tornam-se interligadas. Isso possibilita a abertura de um caminho para o retorno do fluido da unidade atuadora para o reservatório do sistema.

Movendo-se o carretel em direção à esquerda, move-se os flanges do carretel além das passagens “CL 1” e “CL 2” (figura 8-30C). As passagens “PRESSÃO” e “CL 1” tornam-se interligadas. Isso permite ao fluido sob pressão seguir para a unidade atuadora.

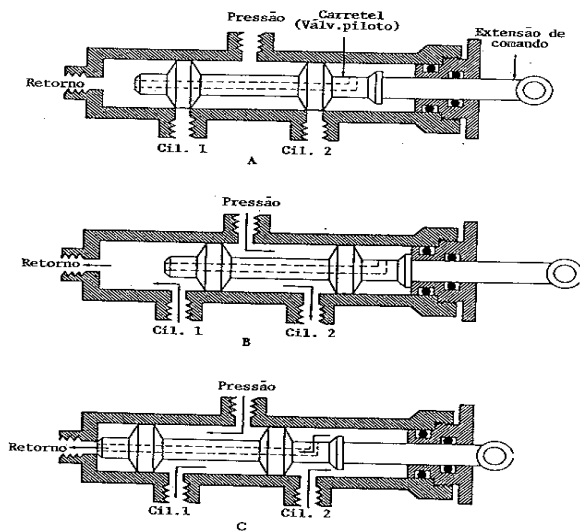


Figura 8-30 Válvula seletora do tipo carretel.

A passagem “RETORNO” e “CL 2” também tornam-se interligadas, proporcionando um caminho para o retorno do fluido da unidade atuadora para o reservatório.

## SISTEMAS PNEUMÁTICOS DE AERONAVES

Alguns fabricantes equipam suas aeronaves com um sistema pneumático. Tais sistemas operam numa grande variedade do mesmo modo que o hidráulico - a única diferença é que empregam o ar ao invés do líquido, para transmissão de força. Os sistemas pneumáticos são, algumas vezes, usados para:

- 1) Freios.
- 2) Abertura e fechamento de portas.
- 3) Bombas de acionamento hidráulico, alternadores, motores de partida, bombas de injeção de água, etc.
- 4) Dispositivos de operação de emergência.

Ambos os sistemas, pneumático e hidráulico, têm unidades similares e usam fluidos confinados. A palavra “confinado” significa retido ou completamente hermético. A palavra “fluido” implica em líquidos, tais como: água, óleo ou qualquer coisa que flua. Líquidos e gases são considerados fluidos; todavia, existe uma grande diferença nas características dos dois. Os líquidos são praticamente incompressíveis. Um litro de água ainda ocupa cerca de um litro do espaço, independente de quanto eles sejam comprimidos. Mas os gases são altamente compressíveis; um litro de ar pode

ser comprimido em um espaço muito pequeno. Apesar dessa diferença, gases e líquidos são fluidos, e podem ser confinados e usados para transmitir força.

O tipo de unidade usada para fornecer ar comprimido para sistemas pneumáticos é determinado pelas necessidades de ar comprimido do sistema.

## Sistema de alta pressão

Para sistemas de alta pressão, o ar é normalmente estocado em garrafas metálicas (figura 8-31) em pressões variando de 1.000 a 3.000 p.s.i., dependendo do sistema em particular. Este tipo de garrafa de ar tem duas válvulas, uma delas é a de carregamento. Um compressor operado no solo pode ser conectado a esta válvula para injetar ar na garrafa. A outra é uma válvula de controle. Ela age como uma válvula de corte, mantendo o ar retido na garrafa até que o sistema seja operado. Embora um cilindro para estocagem de alta pressão seja leve em peso, ele tem uma desvantagem explícita. Desde que o sistema não possa ser recarregado durante o vôo, a operação fica limitada por um pequeno suprimento de garrafas de ar. Esse dispositivo não pode ser usado para uma operação contínua de um sistema.



Figura 8-31 Garrafa de alta pressão de ar.

O suprimento de ar engarrafado é reservado para operação de emergência de um sistema, como um trem de pouso ou freios. A utilidade desse tipo de sistema é aumentada, todavia, se outras unidades de ar comprimido são adicionadas à aeronave.



Em algumas aeronaves, compressores de ar permanentemente instalados são incorporados para recarregar as garrafas de ar sempre que a pressão for usada para operar a unidade. Vários tipos de compressores são usados com essa finalidade. Alguns tem dois estágios de compressão enquanto outros tem três. A figura 8-32 mostra um esquema simplificado de um compressor de dois estágios; a pressão do ar na entrada é impulsionado pelo cilindro número 1 e, novamente pelo nº 2.

O compressor na figura 8-32 tem três válvulas unidirecionais. Como as válvulas unidirecionais na bomba manual hidráulica, essas unidades permitem o fluxo do fluido somente em uma direção.

Algumas fontes de força, tais como um motor elétrico ou o motor da aeronave, giram num eixo. À medida que o eixo gira, ele move um pistão para dentro e para fora de seus cilindros. Quando o pistão nº 1 move-se para a direita, a câmara no cilindro nº 1 torna-se maior, e o ar externo flui através do filtro para dentro do cilindro.

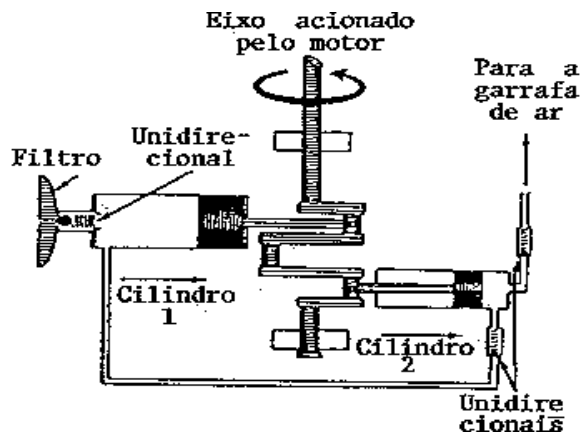


Figura 8-32 Esquema do compressor de ar de dois estágios.

À medida em que o eixo motor continua a girar, ele reverte a direção do movimento do pistão. O pistão nº 1 move-se para o fundo, dentro do seu cilindro, forçando o ar através da sua linha de pressão e dentro do cilindro nº 2. Enquanto isso, o pistão nº 2 está se movendo para fora do cilindro nº 2, de tal forma que este último cilindro possa receber o ar sob pressão. O cilindro nº 2 é menor que o cilindro nº 1; então, o ar deve ser altamente comprimido para caber no cilindro nº 2.

Na diferença, no tamanho do cilindro, o pistão nº 1 dá ao ar o seu primeiro estágio de compressão. O segundo estágio ocorre quando o pistão nº 2 move-se profundamente dentro do seu cilindro, forçando o ar em alta pressão a fluir através da linha de pressão, e entrar na garrafa de estocagem de ar.

### Sistema de média pressão

Um sistema pneumático de média pressão (100-150 p.s.i.) normalmente não possui uma garrafa de ar. Em contrapartida, ele geralmente suga o ar de uma seção do compressor da turbina

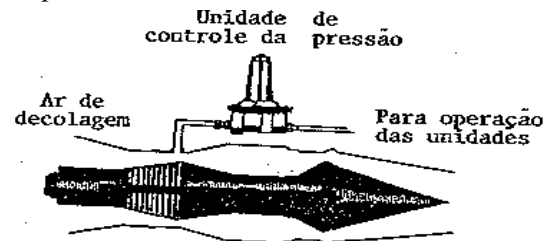


Figura 8-33 Compressor de motor a jato com sistema pneumático.

Nesse caso, o ar deixa a turbina e flui em uma tubulação, que conduz o ar inicialmente para as unidades de controle de pressão, e daí para as unidades operadoras. A figura 8-33 mostra um compressor de motor a reação com a tomada do sistema pneumático.

### Sistema de baixa pressão

Muitas aeronaves equipadas com motores convencionais obtêm um suprimento de ar de baixa pressão, de bombas tipo palheta. Essas bombas são acionadas por motores elétricos ou pelo motor da aeronave.

A figura 8-34 mostra uma via esquemática de uma dessas bombas, a qual consiste de um alojamento com duas passagens, um eixo motor e duas palhetas. O eixo motor e as palhetas possuem aberturas onde as palhetas deslizam para trás e para frente no eixo motor.

O eixo é excentricamente montado no alojamento, fazendo com que as palhetas formem quatro diferentes tamanhos de câmaras (A, B, C e D).

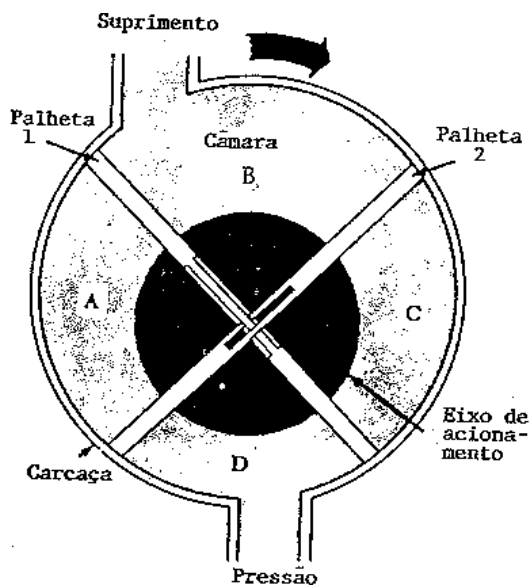


Figura 8-34 Esquema de uma bomba de ar do tipo palheta.

Na posição mostrada, "B" é a câmara maior, e está conectada à passagem de suprimento. Como descrito na ilustração, o ar exterior pode entrar na câmara "B" da bomba.

Quando a bomba começa a operar, o eixo motor gira e muda as posições das palhetas e o tamanho das câmaras. A palheta nº 1, então, move-se para a direita (figura 8-34), separando a câmara "B" da passagem de suprimento. A câmara "B" agora contém ar retido.

À medida que o eixo continua a girar, a câmara "B" se move para baixo tornando-se cada vez menor, gradualmente comprimindo o ar no seu interior. Próximo ao fundo da bomba, a câmara "B" é conectada com a passagem de pressão, enviando ar comprimido. A câmara "B" move-se para cima novamente, aumentando de tamanho.

Na passagem de suprimento, a câmara "B" recebe outro suprimento de ar. Existem quatro câmaras nessa bomba, e cada uma trabalha nesse mesmo ciclo de operação.

Daí, a bomba entrega ao sistema pneumático um suprimento contínuo de ar comprimido de 1 a 10 p.s.i.

## COMPONENTES DO SISTEMA PNEUMÁTICO

Os sistemas pneumáticos são freqüentemente comparados aos sistemas

hidráulicos, mas tais comparações podem ser verdadeiras somente em termos gerais.

Os sistemas pneumáticos não utilizam reservatórios, bombas manuais, acumuladores, reguladores ou bombas eletricamente acionadas ou acionadas pelo motor da aeronave, para a geração da pressão normal. Porém, similaridades existem em alguns componentes.

## Válvulas de alívio

As válvulas de alívio são usadas no sistema pneumático para prevenir danos.

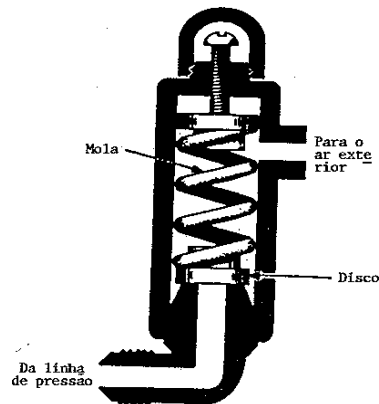


Figura 8-35 Válvula de alívio do sistema pneumático.

Elas atuam como unidades limitadoras de pressão, e previnem contra pressões excessivas, que poderiam romper as linhas e destruir os selos. A figura 8-35 ilustra uma vista em corte da válvula de alívio do sistema pneumático.

Em pressão normal, uma mola mantém a válvula fechada (figura 8-35), e o ar permanece na linha de pressão. Se a pressão se elevar muito além, a força por ela criada sobre o disco supera a tensão da mola, e abre a válvula de alívio. Então, o ar em excesso flui através da válvula, sendo eliminado como ar excedente para a atmosfera. A válvula permanece aberta até que a pressão caia para o normal.

## Válvula de controle

As válvulas de controle são também peças necessárias em um sistema pneumático típico. A figura 8-36 ilustra uma válvula usada para controlar o ar dos freios de emergência. A válvula de controle consiste de um alojamento com três passagens, duas válvulas gatilho e uma alavanca de controle com dois ressaltos.

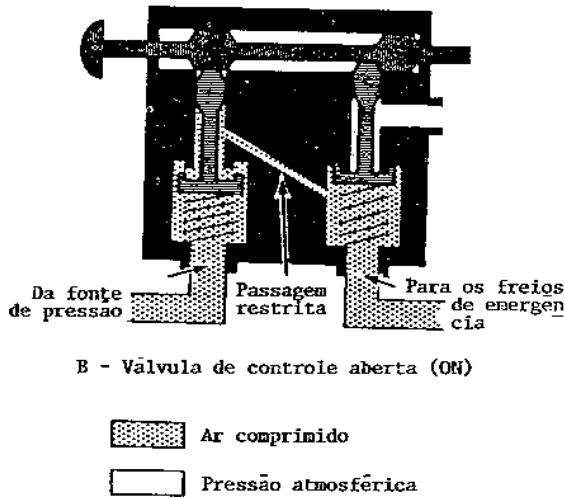


Figura 8-36 Diagrama do fluxo de uma válvula de controle pneumático.

Na figura 8-36A, a válvula de controle é mostrada na posição "OFF". Uma mola mantém o gatilho da esquerda fechado, de tal modo que o ar comprimido entrando na passagem de pressão não possa fluir para os freios.

Na figura 8-36B, a válvula de controle foi colocada na posição "ON". Um ressalto da alavanca mantém a válvula gatilho da esquerda aberta, e uma mola fecha a válvula gatilho da direita. O ar comprimido agora flui em volta da válvula gatilho aberta da esquerda através da passagem perfurada, e entra na câmara abaixo da válvula gatilho da direita, porém, como a válvula gatilho da direita está fechada, o ar sob alta pressão flui para fora pela passagem do freio, entrando na linha de freio para sua aplicação.

Para aliviar os freios, a válvula de controle é retornada para a posição "OFF" (figura 8-36A). A válvula gatilho da esquerda, agora fechada, interrompe o fluxo de ar sob alta pressão para os freios.

Ao mesmo tempo, a válvula gatilho da direita é aberta, permitindo ao ar, comprimido na linha de freio, ser eliminado através da passagem de ar para a atmosfera.

### Válvulas unidirecionais

As válvulas unidirecionais são usadas em ambos os sistemas, hidráulico e pneumático. A figura 8-37 ilustra uma válvula unidirecional pneumática tipo flape.

O ar entra pela passagem da esquerda da válvula, comprime uma leve mola, forçando a válvula unidirecional a abrir, e permitindo ao ar

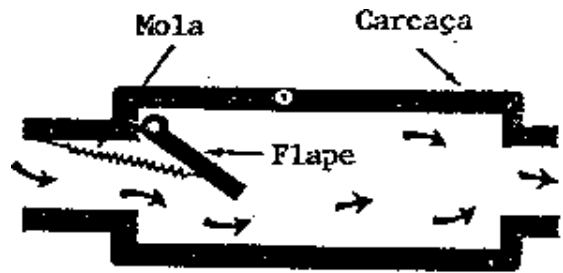


Figura 8-37 Válvula unidirecional de sistema pneumático.

O ar entra pela passagem da esquerda da válvula, comprime uma leve mola, forçando a válvula unidirecional a abrir, e permitindo ao ar fluir para fora da passagem da direita.

Se o ar entrar na passagem da direita, a pressão do ar fechará a válvula prevenindo contra a saída de um fluxo de ar pela passagem da esquerda.

Então, uma válvula pneumática unidirecional é uma válvula de controle de fluxo em uma só direção.

### Restritores

Os restritores são um tipo de válvula de controle usados nos sistemas pneumáticos. A figura 8-38 ilustra um orifício do tipo restritor com uma grande passagem de entrada e uma pequena passagem de saída. A pequena passagem de saída reduz a razão do fluxo de ar e a velocidade de operação de uma unidade atuadora.

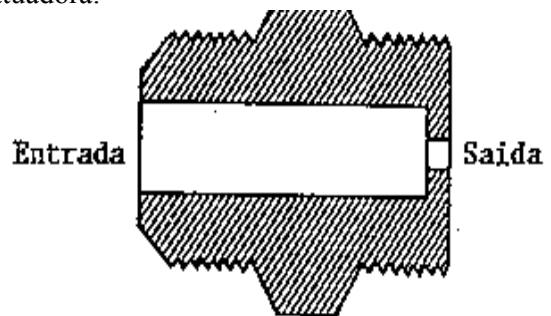


Figura 8-38 Orifício de restrição.

### Restritor variável

Outro tipo de unidade reguladora de velocidade é o restritor variável, mostrado na figura 8-39.

Ela possui uma válvula ajustável de agulha com rosca na parte superior, e uma ponta na extremidade inferior.

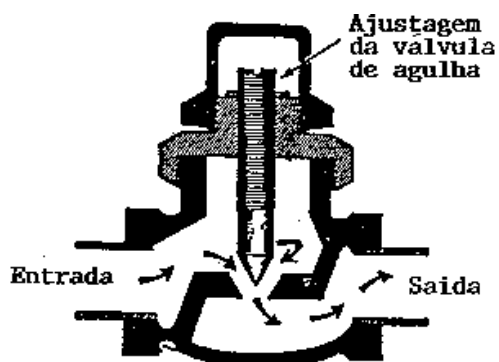


Figura 8-39 Restritor pneumático variável.

Dependendo da direção girada, a válvula de agulha movimenta sua ponta para dentro ou para fora da pequena abertura, aumentando ou diminuindo o tamanho dela. O ar seguindo pela passagem de entrada, deve passar através dessa abertura antes de alcançar a passagem de saída. Esta regulagem também determina a razão do fluxo de ar através do restritor.

## Filtros

Os sistemas pneumáticos são protegidos contra sujeira por meio de vários tipos de filtros. Um filtro micrônico (figura 8-40) consiste de um alojamento com duas passagens, um receptáculo de cartucho e uma válvula de alívio.

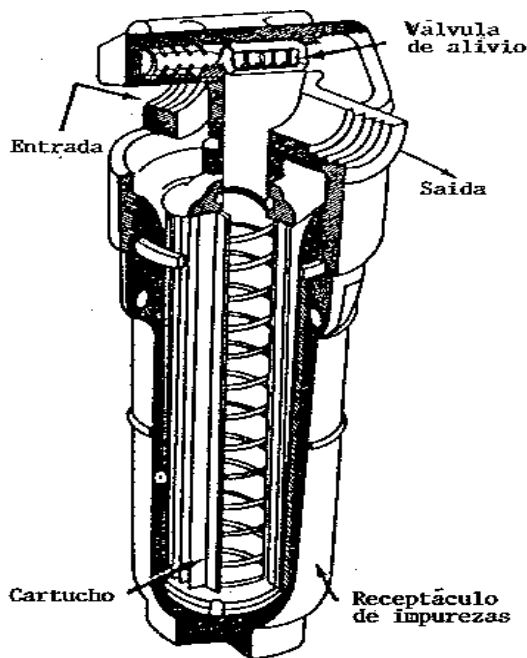


Figura 8-40 Filtro micrônico.

Normalmente, o ar passando pela entrada circula em volta do cartucho de celulose, e então flui para o centro do cartucho e daí pela passagem de saída.

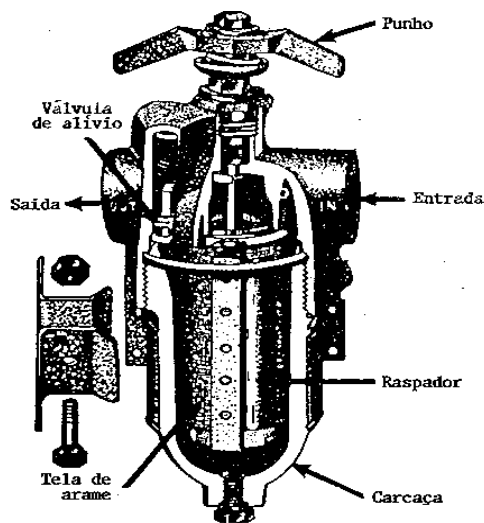


Figura 8-41 Filtro do tipo tela de arame.

Um filtro tipo tela (figura 8-41) é similar ao filtro micrônico, mas consiste de uma tela permanente de arame ao invés de um cartucho descartável.

No filtro de tela existe um punho no topo do alojamento, que é para ser usado para a limpeza, através de uma rotação da tela com um raspador metálico.

Se o sistema hidráulico principal de freio falhar, a força para atuação dos freios é obtida normalmente de algum tipo de sistema de pressurização de emergência para parar a aeronave. Em muitas ocasiões, esses sistemas de emergência, são sistemas de ar comprimido.

A figura 8-42 ilustra um tipo de sistema que utiliza ar comprimido.

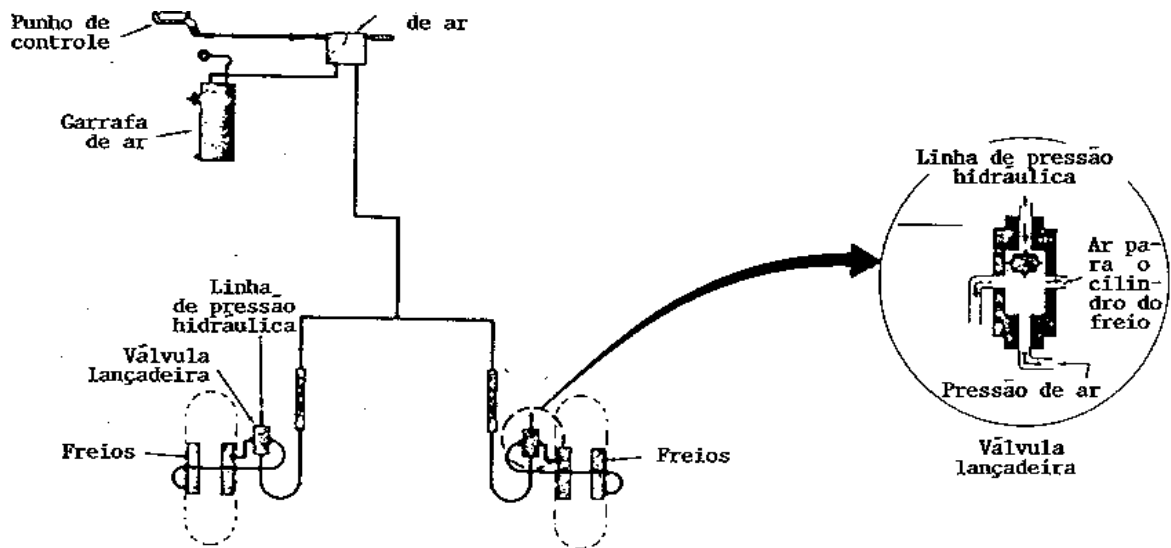


Figura 8-42 Sistema de freios de emergência a ar comprimido

### Garrafa de ar

A garrafa de ar usualmente estoca suficiente quantidade de ar comprimido para várias aplicações de frenagens. Uma linha de ar de alta pressão conecta a garrafa a uma válvula que controla a operação dos freios de emergência.

Se o sistema normal de freio falhar, coloca-se a manete de controle para a válvula de ar na posição "ON". A válvula então direciona o ar sob alta pressão para as linhas, encaminhando-o para os conjuntos de freio. Mas, antes do ar entrar nos conjuntos de freio, ele deve primeiramente fluir através de uma válvula de corte, tipo lançadeira.

### Válvula de corte de freio

O conjunto circunscrito na parte superior direita da figura 8-42 mostra um tipo de válvula de corte.

A válvula consiste de um êmbolo encapsulado por um alojamento com quatro

### Garrafa de ar

A garrafa de ar usualmente estoca suficiente quantidade de ar comprimido para várias aplicações de frenagens. Uma linha de ar de alta pressão conecta a garrafa a uma válvula que controla a operação dos freios de emergência.

passagens. O êmbolo é uma espécie de pistão oscilante que pode ser movimentado para cima e para baixo na cavidade do alojamento. Normalmente esse êmbolo está em baixo e, nessa posição, ele fecha a passagem de ar inferior, direcionando o fluido hidráulico da passagem superior para as duas passagens laterais, sendo cada qual dirigida para um dos conjuntos de freio.

Quando os freios pneumáticos de emergência são acionados, o ar sob alta pressão eleva o êmbolo, fechando a linha hidráulica e ligando a linha de pressão às passagens laterais da válvula de corte. Essa ação envia ar sob pressão para o cilindro do freio para aplicação nos freios. Após a aplicação, e quando os freios de emergência são aliviados, a válvula de ar fecha, retendo a pressão na garrafa de ar. Ao mesmo tempo, a válvula de ar deixa escapar o ar da linha pneumática de freio para a atmosfera. Então, logo que a pressão de ar nas linhas de freio caia, o êmbolo da válvula de corte move-se para a extremidade inferior do alojamento, novamente ligando os cilindros de freio com a

linha hidráulica. A pressão de ar remanescente nos cilindros de freio flui para fora na passagem superior da válvula de corte, e para a linha hidráulica de retorno.

## Linhas e tubulações

As linhas para os sistemas pneumáticos consistem de tubulações rígidas de metal e mangueiras flexíveis de borracha. As linhas de fluido e conexões são estudadas com detalhes no capítulo 5 do MANUAL DE MATERIAS BÁSICAS (AC 65-9A).

## SISTEMA PNEUMÁTICO TÍPICO

Um sistema pneumático, acionado pela turbina da aeronave, supre com ar comprimido vários sistemas atuadores normais e de emergência.

O ar comprimido é estocado em cilindros de estocagem nos sistemas atuadores, até ser requisitado para atuação do sistema.

Esses cilindros e as tubulações do sistema de potência são, inicialmente, carregados com ar comprimido ou nitrogênio de uma fonte externa, através de uma válvula simples de carregamento de ar.

Em vôo, o compressor repõe a pressão de ar e o volume perdido por vazamento, contração térmica e operação do sistema atuador.

O compressor é suprido com um supercarregador de ar do sistema de sangria de ar do motor. Isso assegura um adequado suprimento de ar para o compressor em todas as altitudes.

O compressor de ar pode ser acionado por um motor elétrico ou por um motor hidráulico.

O sistema descrito aqui é acionado hidráulicamente.

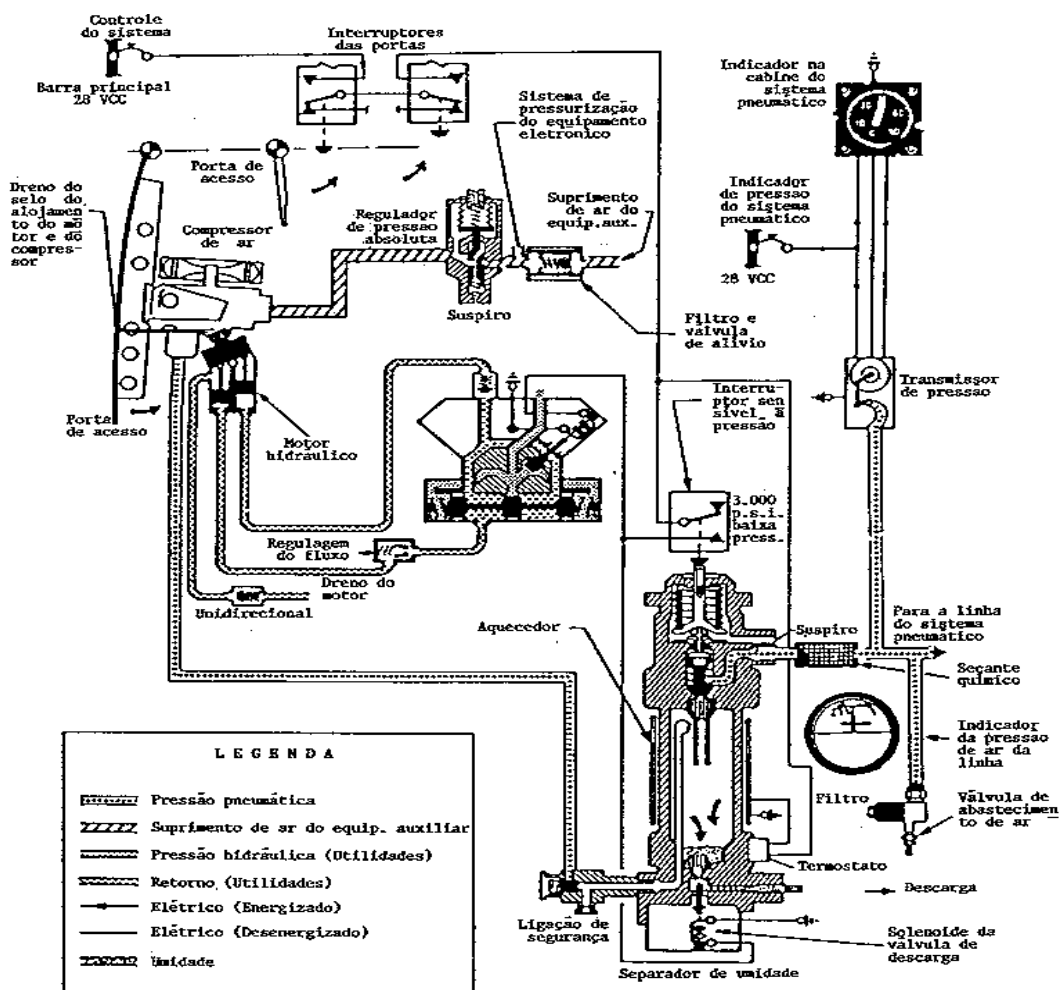


Figura 8-43 Sistema de força pneumática.

A descrição seguinte é ilustrada pelo sistema de potência pneumática mostrado na figura 8-43. O ar que entra para o compressor é filtrado através de um filtro de 10 microns de alta temperatura e a pressão do ar regulada por um regulador de pressão absoluta para proporcionar uma fonte estabilizada de ar para o compressor. (veja figura 8-43). O sistema hidráulico de utilidade da aeronave fornece potência para operar o compressor de ar acionado por motor hidráulico. O sistema de atuação hidráulica do compressor de ar consiste de uma válvula seletora operada por um solenóide, um regulador de fluxo, um motor hidráulico e uma válvula unidirecional na linha de desvio do motor (dreno do cárter).

Quando energizada, a válvula seletora permite ao sistema ser pressurizado para movimentar o motor hidráulico. Quando desenergizada, a válvula bloqueia a pressão do sistema de utilidade, parando o motor.

O regulador de fluxo, compensando as variações do fluxo e pressão do sistema hidráulico, mede o fluxo de fluido para o motor hidráulico, para prevenir a excessiva variação de velocidade e/ou sobrevelocidade do compressor.

Uma válvula unidirecional na linha de desvio do motor evita que a pressão da linha de retorno entre no motor e o faça estolar.

O compressor é uma fonte de ar pressurizado do sistema pneumático. O compressor é ativado ou desativado por um interruptor sensor de pressão na tubulação, que é uma peça integrante do conjunto separador de umidade.

O conjunto separador de umidade é a válvula de alívio e regulador sensor de pressão do sistema. O interruptor de pressão da tubulação (sistema) governa a operação do compressor. Quando a pressão na tubulação cai abaixo de 2.750 p.s.i., o interruptor sensor de pressão fecha, energizando a válvula do alijador de umidade do separador e a válvula seletora hidráulica que ativa o compressor de ar.

Quando a pressão na tubulação cresce além de 3.150 p.s.i., o interruptor sensor de pressão abre, desenergizando a válvula seletora hidráulica para desativar o compressor de ar e a válvula de alijamento, expulsando para a atmosfera qualquer umidade acumulada no separador.

Os conectores de segurança, instalados na passagem de entrada do separador de umidade, protegem o separador das explosões internas causadas por partículas aquecidas de carvão ou chamas que possam ser emitidas do compressor de ar.

Um secante químico adicionalmente reduz a umidade contida no ar proveniente do separador de umidade.

Um transmissor sente a pressão, e eletricamente transmite um sinal ao indicador de pressão pneumática localizado na cabine. O sistema de indicação é do tipo “autosyn”, que funciona exatamente como o sistema de indicação hidráulico. Uma válvula de abastecimento de ar fornece ao sistema pneumático inteiro um único ponto para abastecimento em terra.

Um medidor de pressão de ar, localizado próximo à válvula de abastecimento é usado para serviços no sistema pneumático.

Um filtro de ar (com elemento de 10 microns) na linha de abastecimento no solo, previne contra a entrada de partículas de impurezas no sistema, provenientes de fontes da manutenção no solo.

A alta pressão de ar, saindo do quarto estágio do compressor de ar, é direcionada através de uma válvula de sangria (controlada por uma tomada de pressão de óleo no lado de pressão da bomba de óleo) para a saída de ar em alta pressão.

A pressão de óleo, aplicada ao pistão da válvula de sangria, mantém o pistão da válvula na posição “fechada”.

Quando a pressão do óleo cai (devido, ou à restrição do fluxo de óleo, ou à parada do compressor), a mola dentro da válvula de sangria reposiciona o pistão, ligando, desse modo, a passagem de entrada e a passagem dreno da válvula. Esta ação descarrega a pressão do compressor e limpa a linha da umidade.

O filtro de ar, através do qual o ar do abastecimento no solo passa, está localizado imediatamente após a válvula de abastecimento. Sua finalidade é impedir a entrada de impurezas no sistema, provenientes de fontes de serviço no solo.

O conjunto de filtro é construído basicamente de três componentes básicos - corpo, elemento e receptáculo.

O ar que entra no compressor de ar do sistema pneumático é filtrado através de um filtro de alta temperatura.

Sua finalidade é impedir que partículas de material estranho entrem no regulador de pressão absoluta do compressor, provocando, assim, o seu mau funcionamento.

O filtro é em linha do tipo fluxo completo (com válvula de alívio integral) alojado em um corpo cilíndrico.

O separador de umidade é o regulador sensor de pressão do sistema de força pneumática e da válvula de alívio, sendo capaz de remover mais de 95% da umidade proveniente da linha de descarga do compressor de ar.

A válvula de alijamento de condensação, automaticamente operada, limpa a câmara do separador de óleo/umidade por meio de um jato de ar (3.000 p.s.i.), cada vez que o compressor é desligado.

O conjunto do separador é feito com vários componentes básicos, sendo que cada um desenvolve uma função específica.

## **Componentes**

O interruptor de pressão controla o sistema de pressurização pelo sensoramento da pressão do sistema entre a válvula unidirecional e a válvula de alívio.

Ele eletricamente energiza a válvula seletora do compressor de ar, que é operada por solenóide, quando a pressão do sistema cai abaixo de 2.750 p.s.i., e desenergiza a válvula seletora quando a pressão no sistema alcança 3.100 p.s.i.

O solenóide da válvula de alijamento da condensação é energizado e desenergizado por um interruptor de pressão. Quando energizado, ele protege o compressor do transbordamento da umidade do ar; quando desenergizado, ele limpa completamente o reservatório do separador e as linhas acima do compressor de ar.

Os filtros protegem a abertura da válvula de alijamento da obstrução, e ainda asseguram uma selagem apropriada do espaço entre o reservatório e a válvula de alijamento.

A válvula unidirecional protege o sistema contra a perda de pressão durante o ciclo de alijamento, e previne contra o fluxo de retorno através do separador para o compressor de ar durante a condição de alívio.

A válvula de alívio protege o sistema contra a super pressurização (expansão térmica).

A válvula de alívio abre quando a pressão do sistema alcança 3.750 p.s.i. e fecha a 3.250 p.s.i.

O elemento de aquecimento do tipo embalagem envolvente térmica, termostaticamente controlado, impede o congelamento da umidade dentro do reservatório devido às condições atmosféricas de baixa temperatura. O termostato fecha a 40° F e abre a 60° F.

## **MANUTENÇÃO DO SISTEMA PNEUMÁTICO DE POTÊNCIA**

A manutenção do sistema pneumático consiste de reparo, pesquisa de pane, remoção e instalação de componentes e teste operacional.

O nível do óleo lubrificante do compressor deve ser verificado diariamente de acordo com as instruções aplicáveis do fabricante.

O nível de óleo é indicado por meio de uma vareta ou visor.

Quando recompletando o tanque de óleo do compressor, o óleo (tipo especificado no manual de instruções aplicável) é adicionado até o nível especificado. Após o óleo ser adicionado, o bujão de enchimento deve estar apertado e devidamente frenado.

O sistema pneumático deve ser limpo periodicamente para remover a contaminação, umidade ou óleo dos componentes e linhas.

A limpeza do sistema é obtida pressurizando-o, e removendo a tubulação de vários componentes em todo o sistema.

A remoção das linhas pressurizadas produzirá uma alta razão do fluxo de ar através do sistema, fazendo com que materiais estranhos sejam expelidos.

Se uma quantidade excessiva de material estranho, particularmente óleo, é expelido de qualquer um dos sistemas, as linhas e componentes devem ser removidas e limpas, ou substituídas.

Após a conclusão da limpeza de um sistema pneumático, e após a religação de todos os sistemas e componentes, as garrafas de ar do sistema devem ser drenadas para expulsar qualquer umidade ou impureza que possam ter-se acumulado.



Após a drenagem das garrafas de ar, o sistema é abastecido com nitrogênio ou ar comprimido, limpo e seco.

O sistema deve, então, ser verificado operacionalmente por completo, e inspecionado quanto a vazamentos e segurança.