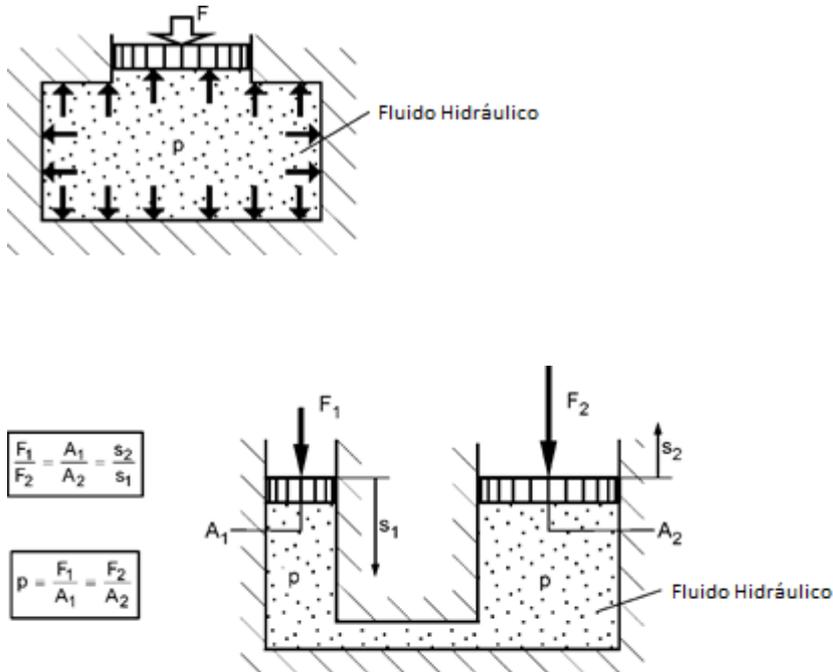


PRINCÍPIO HIDRÁULICO – LEI DE PASCAL

O princípio da máquina de deslocamento hidrostático é baseado na Lei de Pascal, que afirma: "A pressão aplicada em qualquer lugar a um corpo de líquido provoca uma força a ser transmitida igualmente em todas as direções. Esta força age em ângulos retos com qualquer superfície interna ou em contato com o fluido contido." A pressão estática num fluido, assim, permite que a força seja transferida. Figura 11.1 ilustra princípio hidrostática de Pascal. Figura 11.2 mostra o princípio de uma prensa hidráulica.



Em um sistema hidráulico, entrada de energia é chamada de "força motriz". Motores elétricos e motores de combustão interna são exemplos de forças motriz. Impulsionadores e bombas hidráulicas não criam energia; eles simplesmente as convertem para uma forma que pode ser utilizada por um sistema hidráulico.

A transferência de força hidráulica é caracterizada pela simplicidade de seus elementos, vida longa, alta performance e economia. A variedade de aplicações hidráulicas é amplamente determinada pelo comportamento do fluido hidráulico.

Os elementos mais importantes de um sistema hidráulico são:

- bombas e motores (bombas, por exemplo engrenagens, palhetas e pistão)
- cilindros hidráulicos (por exemplo, simples e dupla ação)
- válvulas (por exemplo, limitadores de pressão e válvulas de controle)
- componentes do circuito (por exemplo, reservatórios de fluidos, sistemas de filtros, tanques de pressão, tubulações etc.)
- selos, juntas e elastômeros

BOMBAS HIDRÁULICAS

As bombas são utilizadas nos circuitos hidráulicos para converter energia mecânica em energia hidráulica. A bomba é o coração do sistema hidráulico. Quando o sistema trabalha de forma inadequada, a bomba é geralmente o primeiro componente a ser investigado. Muitas vezes a

bomba é descrita em termos de suas limitações de pressão. No entanto, a bomba hidráulica é um gerador de fluxo, movendo um volume de fluido a partir de uma região de baixa pressão a uma região de pressão mais elevada num determinado período de tempo, dependendo da velocidade de rotação.

Todas as bombas utilizadas em um sistema hidráulico são do tipo de deslocamento positivo. Isto significa que existe uma passagem de fluxo intencional a partir da entrada para a saída. A maioria das bombas em sistemas hidráulicos caem em uma das três categorias, as bombas de palhetas, bombas de engrenagem ou bombas de pistão. Todos os três tipos podem ser usados em sistemas de vazão constante, mas somente as bombas de palhetas móveis e de pistão são usadas em sistemas de vazão variável. A ação da bomba hidráulica consiste em mover ou a transferir fluido do reservatório onde é mantido a uma pressão baixa e, conseqüentemente, um estado de baixa energia. A partir do reservatório a bomba desloca o fluido hidráulico para o sistema, onde a pressão é muito mais elevada, e o fluido está num estado de energia muito mais elevado devido ao trabalho que deve ser feito pelo sistema hidráulico. A quantidade de energia ou trabalho transmitida para o sistema hidráulico através da bomba é uma função da quantidade de volume deslocado e a pressão na porta de descarga da bomba.

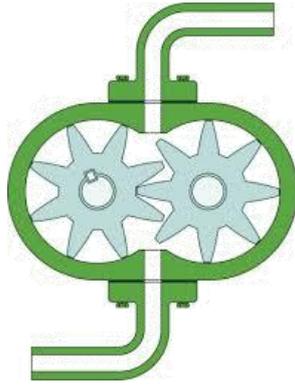
A bomba hidráulica é atualmente um componente de "três-conexões". Uma conexão é na porta de descarga (saída), a segunda é a porta de sucção (de entrada), e a terceira ligação é para um motor ou máquina. Deste ponto de vista, a bomba é um transformador. O fluido hidráulico é realmente o componente principal do sistema hidráulico e tem uma grande influência no funcionamento do sistema. As bombas hidráulicas são geralmente conduzidas a velocidades de 1200-3600 rpm ou mais enquanto as pressões máximas podem variar desde valores inferiores a 1000 psi a maiores do que 6000 psi.

BOMBAS DE ENGRENAGEM

As bombas de engrenagem são bombas do tipo rotativo de vazão constante. Muitas bombas de engrenagem contêm aperfeiçoamentos para reduzir o ruído e equilibrar a pressão hidráulica na bomba, diminuindo o desgaste dos mancais.

Um estilo comum de bomba de engrenagem consiste de duas engrenagens, uma engrenagem acionada e uma engrenagem acionadora, que operam em engate. A engrenagem acionada é movida pela engrenagem acionadora, a qual é girada por uma fonte de força externa. Um alojamento bem ajustado envolve as engrenagens. À medida que as engrenagens giram, o fluido enche o espaço entre elas, ficando preso entre os dentes das engrenagens e o alojamento. Em todas as bombas de engrenagem, o fluido é empurrado do acoplamento dos dentes para fora pela abertura de descarga à medida que os dentes se juntam. Quando os dentes se separam ao entrar na área de sucção, eles geram um vácuo parcial que puxa o fluido para dentro da área entre os dentes. O óleo do lado da descarga é impedido de vazar para o lado de sucção pela junção estreita das engrenagens e pelas pequenas folgas entre as engrenagens e o alojamento.

- **Bomba de engrenagem externa:** ambas as engrenagens têm dentes em suas circunferências externas. Estas bombas são as vezes chamadas de bombas de dentes-sobre-dentes. Visto que as bombas de engrenagem de dentes retos são as mais fáceis de fabricar, este tipo de bomba é a mais comum.
- **Bomba de engrenagem interna:** consiste de uma engrenagem externa cujos dentes se engrenam na circunferência interna de uma engrenagem maior. Gerotor é o tipo de bomba de engrenagem interna mais comum nos sistemas industriais.

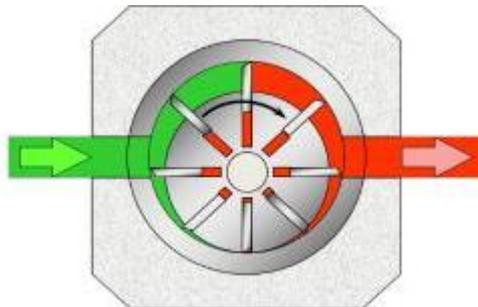


A pressão máxima que se pode desenvolver com as bombas de engrenagem depende do desenho e da folga entre as engrenagens e o alojamento. Tipicamente, a pressão máxima para bombas de engrenagem fica entre 2.000 e 4.000 psi. As bombas de engrenagens internas têm uma pressão máxima na faixa de 1.500 e 2.000 psi.

BOMBA DE PALHETAS MÓVEIS

As bombas de palhetas móveis são bombas rotativas, que podem ser do tipo de vazão constante ou variável. Uma bomba de palhetas móveis, consiste de um rotor dentro de um alojamento excêntrico. As palhetas com folga mínima encaixam-se dentro de fendas radiais em torno da circunferência do rotor. As palhetas movimentam-se livremente para dentro e para fora das fendas. À medida que o rotor gira, as palhetas são empurradas de encontro ao alojamento, formando uma vedação eficaz. Placas laterais são usadas para confinar o óleo dentro de uma área com a largura do rotor e das palhetas.

À medida que o rotor gira, o fluido é aspirado para dentro da bomba devido a um vácuo parcial criado pela folga crescente entre o rotor e o alojamento excêntrico. À medida que o rotor continua girando para além do ponto acima do centro, o fluido é empurrado para fora da bomba pela redução gradual da folga entre o rotor e o alojamento. As palhetas móveis são mantidas em contato com a parede do alojamento pela força centrífuga e pela força da pressão do fluido agindo sobre a parte inferior das mesmas. A força centrífuga mantém as palhetas móveis em contato enquanto elas percorrem a área de baixa pressão, evitando, desse modo, o vazamento entre as áreas de sucção e de descarga.



As bombas de palhetas móveis podem ser balanceadas usando-se um anel elíptico, que contém duas aberturas de sucção e duas aberturas de descarga. O fluido é aspirado para dentro da bomba e descarregado a cada meia rotação. É impossível mudar a excentricidade da ação de bombeamento balanceado das bombas de palhetas móveis, pois estas bombas são de vazão constante.

As bombas de palhetas móveis que não têm um projeto balanceado podem descarregar um volume variável mudando-se o grau de excentricidade entre o rotor e o alojamento. Se o rotor estiver num ponto morto em relação ao alojamento, não há ação de bombeamento. Com a excentricidade máxima, maior volume de fluido será bombeado. O grau de excentricidade é ajustado usando-se os controles adequados do lado de fora do alojamento.

As bombas de palhetas móveis com vazão variável têm um anel de pressão móvel que envolve o rotor. Quando não há necessidade de fluxo, o anel de pressão estará quase centrado em torno do rotor. Quando há necessidade de fluxo total da bomba, a pressão do sistema diminuirá e fará com que um compensador mova o anel de pressão para sua posição de fluxo total (excentricidade máxima).

O desgaste não faz com que a eficiência volumétrica das bombas de palheta móvel diminua com a mesma rapidez que as bombas de engrenagem porque o desgaste das palhetas é compensado pelo movimento das palhetas para fora. Tipicamente, a faixa de pressão máxima das bombas de palhetas móveis é de 2.000 a 4.000 psi.

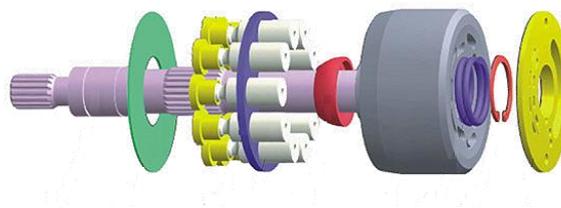
BOMBAS DE PISTÃO

As bombas de pistão são comumente usadas em aplicações que exigem altas pressões e um controle preciso do volume de descarga. Existem muitos projetos diferentes de bombas de pistão, mas em geral todos eles se baseiam na bomba de pistão radial ou na bomba de pistão axial. Ambas podem ser projetadas para vazão fixa ou variável.

As bombas de pistão são bombas de deslocamento positivo. Quando não se necessita de fluxo, deve-se desligar a bomba ou sua vazão deve ser dirigida para outro local (descarregada ou recirculada). Não é prático acionar ou parar a bomba entre ciclos. Normalmente se faz a recirculação abrindo-se uma válvula para permitir que o fluido retorne para o reservatório. Esta ação é chamada de descarregar a bomba.

As bombas de pistão axial, contêm um conjunto de bloco de cilindros com pistões espaçados a distâncias iguais em torno do eixo do bloco de cilindros. As almas dos cilindros são paralelas ao eixo.

Os pistões alternam paralelamente à linha central do eixo. Todas as partes, exceto um prato de válvula estacionário, giram como uma única unidade. O prato de válvula estacionário acopla-se à superfície do bloco de cilindros para evitar vazamento de fluido. Os pistões são conectados à placa de montagem com hastes de conexão, que utilizam juntas de esfera e soquete. Alguns projetos usam uma placa oscilante para conectar os pistões à placa de montagem. À medida que o bloco de cilindros gira em contato com o prato de válvula estacionário, os cilindros são levados alternativamente aos canais de entrada e saída.



O ângulo entre o bloco de cilindros e a placa de montagem faz com que os pistões se alternem. Bombas com ângulos fixos são bombas de vazão constante, enquanto que as bombas de ângulos

ajustáveis são bombas de vazão variável. O ajuste do ângulo aumenta ou diminui o curso do pistão para aumentar ou diminuir a produção de volume. Pode-se inverter o fluxo de fluido mudando o ângulo de um lado para o outro numa bomba de vazão variável.

Numa bomba de pistão radial, os pistões alternam-se radialmente em relação ao eixo. Uma bomba de pistão radial, consiste de um bloco de cilindros rotativo, um rotor, um anel de pressão, um cursor e uma carcaça. Em geral, os pistões são mantidos juntos ao anel de pressão por meio de molas. O bloco de cilindros, o rotor e o conjunto de rotor giram com o eixo. O movimento do cursor perpendicular ao eixo move o conjunto do rotor para criar um excêntrico entre o conjunto do rotor e o bloco de cilindros.

Quando o cursor está numa posição excêntrica, os pistões se movem para dentro e para fora à medida que giram. Quanto maior o excêntrico, mais longo o curso do pistão e mais fluido cada pistão bombeará. Se o cursor está posicionado concêntrico em relação ao eixo, o curso do pistão será zero. O pivô estacionário no centro do bloco de cilindros realiza a abertura da válvula. Cada cilindro é conectado alternativamente às aberturas de sucção de fluido e em seguida às aberturas de descarga de fluido à medida que o bloco de cilindros gira. A maioria das bombas de pistão é projetada para uma pressão nominal máxima de 3.000 psi, embora algumas sejam adequadas para trabalhar de 5.000 a 15.000 psi.

VÁLVULAS

As válvulas são mecanismos que controlam a partida, parada, direção ou fluxo de um meio hidráulico de uma bomba ou de um vaso de pressão. As atuais tendências nas indústrias incluem a miniaturização de projetos tradicionais e válvulas empilháveis para economizar espaço. As válvulas estão sendo fabricadas de materiais mais modernos; plásticos são usados para reduzir peso, melhorar a capacidade de lubrificação e melhorar a resistência à corrosão. Cerâmicas estão sendo utilizadas para aumentar a vida da válvula e melhorar a resistência a contaminação. As válvulas usadas na indústria hidráulica são instrumentos fabricados com precisão. Como a precisão na construção e as tolerâncias justas reduzem o vazamento de fluido a uma quantidade insignificante, as válvulas hidráulicas, em geral, não necessitam de material de vedação. A tolerância justa na construção é uma razão básica para se usar unicamente os melhores fluidos hidráulicos que não oxidem em serviço e evitem a ferrugem. A oxidação e a ferrugem podem causar o grimpamento das válvulas, entupir pequenas aberturas ou esmerilhar superfícies pequenas.

Válvulas de fluxo já tem predefinidos pontos de comutação. Válvulas proporcionais e servo válvulas são eletro-hidráulico, ou seja, seu movimento é proporcional ao sinal de entrada elétrica. As diferenças entre estas válvulas são seu projeto mecânico, suas propriedades estáticas e dinâmicas, e seu preço. O fluido hidráulico em uma válvula deve dissipar o calor, reduzir o desgaste, minimizar o atrito, e evitar a corrosão. Igualmente importante, não deve formar depósitos nas folgas estreitas encontrados em válvulas. Longos intervalos de mudança de fluido e altas cargas térmicas (por exemplo, causada por solenoides magnéticas) não deve levar a depósitos ou a resinação nas válvulas de fluxo.

- **Válvula de alívio:** a função de qualquer válvula de alívio é proteger o sistema hidráulico contra excesso de pressão, se a pressão ultrapassar um valor máximo predeterminado. Uma válvula de alívio é um dispositivo automático de alívio, que é acionado pela pressão estática a montante da válvula.

As válvulas de alívio são projetadas para retornar o fluido hidráulico diretamente para o

reservatório. Normalmente, uma válvula de alívio permanece fechada até que a pressão do sistema se aproxime de um valor predeterminado. À medida que a pressão do sistema aumenta até a pressão de abertura, a válvula começa a se abrir, o volume de fluxo, através de uma válvula de alívio adequadamente dimensionada aumentará até que toda a vazão da bomba passe pela válvula. Quando a pressão do sistema cai, a válvula se fecha suave e lentamente.

- **Válvula de Redução de Pressão:** usa-se uma válvula de redução de pressão para limitar o nível de pressão normal do sistema primário ou principal à pressão necessária para um circuito hidráulico secundário ou derivado.
- **Válvula de Sequência de Pressão:** as válvulas de sequência de pressão estabelecem as prioridades de fluxo dentro de um circuito hidráulico. Elas são usadas para determinar a sequência das operações da máquina, sentindo as pressões e reposicionando-se para desviar o fluxo do fluido.
- **Válvula de Descarga:** as válvulas de descarga retornam o fluido para o reservatório quando a pressão do circuito aumenta até um máximo predeterminado.
- **Válvula de Controle de Fluxo:** as válvulas de controle de fluxo controlam o volume nos circuitos hidráulicos. O fluxo é controlado seja estrangulando ou desviando o fluxo. Estrangular o fluxo implica em reduzir o tamanho de uma abertura até que o fluxo não possa passar pelo orifício; desviar o fluxo implica em fazer com que parte do fluxo não entre no circuito de modo que o dispositivo acionado receba somente uma parte do fluxo necessário para realizar a sua tarefa.
- **Válvula de Controle Direcional:** as válvulas de controle direcional são usadas para dirigir o fluxo do fluido hidráulico e dos cilindros acionadores, motores hidráulicos e outras unidades acionadoras. Por ser de ação rápida e fácil de operar, a válvula tipo bobina é largamente usada em sistemas hidráulicos para controle da direção. Essas válvulas contêm uma bobina móvel que abre ou fecha passagens para controlar a direção de fluxo do fluido.

ATUADORES HIDRÁULICOS

Os atuadores hidráulicos convertem a energia de trabalho em energia mecânica. Eles constituem os pontos de onde toda a atividade visível ocorre e são um dos principais itens a serem considerados no projeto da máquina. Eles são divididos em dois tipos: lineares e rotativos.

Cilindros Hidráulicos

Cilindros hidráulicos transformam trabalho hidráulico em energia mecânica linear.

Um cilindro consiste em uma camisa (tubo), de um pistão móvel e de uma haste ligada ao pistão. Os cabeçotes são presos ao cilindro por meio de roscas, prendedores, tirantes ou solda. Conforme a haste se move para dentro ou para fora, ela é guiada por embuchamentos (conjunto removível do mancal com guarnições). O lado para o qual a haste opera é chamado de lado dianteiro ou “cabeça do cilindro”. O lado oposto sem haste é o lado traseiro. Os orifícios de entrada e saída estão localizados nos lados dianteiro e traseiro.

Atuadores Rotativos

Esses mecanismos são compactos, simples e eficientes. Eles produzem um torque alto e

requerem pouco espaço e montagem simples.

De um modo geral aplicam-se atuadores em indexação de ferramental de máquina, operações de dobragem, levantamento ou rotação de objetos pesados, funções de dobragem, posicionamento, dispositivos de usinagem, atuadores de leme etc.

- **Osciladores hidráulicos:** convertem energia hidráulica em movimento rotativo sob um determinado número de graus. O oscilador hidráulico é um atuador rotativo com campo de giro limitado.
- **Oscilador de cremalheira e pinhão:** esse tipo de atuador rotativo fornece um torque uniforme em ambas as direções e através de todo o campo de rotação. Unidades de cremalheira e pinhão do tipo *standard* podem ser encontradas em rotação de 90, 180, 360 graus ou mais.
- **Oscilador de palheta:** estes modelos são providos de máximo valor de saída de torque para um tamanho reduzido. Utilizado para uma grande variedade de aplicações industriais, são disponíveis em modelo de palheta simples e possui um ângulo de rotação máxima de 280 graus.

ACUMULADORES HIDRÁULICOS

Os acumuladores armazenam a energia potencial de um fluido incompressível para conversão subsequente em trabalho útil. A energia potencial pode ser na forma de trabalho gravitacional, da elasticidade de molas ou da compressibilidade dos gases.

Os acumuladores são usados para eliminar as pulsações da bomba, absorver o choque dos surtos de pressão, compensar o vazamento e manter uma pressão de segurança em um nível constante durante um longo período, para manter pressão suficiente para operar circuitos secundários ou de emergência, durante uma situação de emergência e funcionar como barreira de transferência entre dois sistemas fluidos separados, tais como: um fluido hidráulico e um fluido corrosivo.

Existem três tipos gerais de acumuladores: carregado com peso, carregado a mola e hidropneumático.

- **Acumuladores carregados por peso:** um acumulador carregado por peso aplica uma força ao líquido por meio de carga com grandes pesos. Como os pesos não se alteram, os acumuladores carregados por peso são caracterizados pela pressão, que é constante durante todo o curso do pistão.
- **Acumuladores carregados a mola:** consiste em carcaça de cilindro, pistão móvel e mola. A mola aplica força ao pistão, o que resulta na pressão do líquido. Conforme o líquido é bombeado para dentro do acumulador carregado por mola, a pressão no reservatório é determinada pela taxa de compressão da mola. Os acumuladores carregados por mola são mais flexíveis do que o tipo carregado por peso. Eles são menores e podem ser montados em qualquer posição.
- **Acumuladores hidropneumáticos:** este tipo de acumulador aplica a força do líquido usando um gás comprimido, que age como mola, trabalhando também com pressão variável. Estão divididos nos tipos: pistão, diafragma e bexiga. O nome de cada tipo indica a forma de separação do líquido do gás.
 - **Tipo pistão:** o gás que ocupa o volume acima do pistão fica comprimido conforme o líquido é inserido com força na carcaça. Quando o pistão fica cheio, a pressão do gás se iguala à pressão do sistema.

- **Tipo diafragma:** geralmente tem uma forma esférica dividida em dois hemisférios de metal, que são separados por meio de um diafragma de borracha sintética. O gás ocupa uma câmara e o líquido entra na outra.
- **Tipo bexiga:** consiste de uma bexiga de borracha sintética dentro de uma carcaça de metal. A bexiga é enchida com gás comprimido. Uma válvula do tipo assento, localizada no orifício de saída, fecha o orifício quando o acumulador está completamente vazio e evita que a bexiga seja extrudada para o sistema.

RESERVATÓRIOS

Embora a função básica de um reservatório seja fornecer uma quantidade adequada de fluido para todo o sistema hidráulico, ele é mais que um simples recipiente para armazenagem de fluido. Os reservatórios também fornecem fluido extra ao sistema, no caso de vazamento ou de extensão do cilindro. Além disso, a maioria dos reservatórios permite que o fluido que retorna turbulento do sistema hidráulico repouse e desaeere.

Os reservatórios devem ser completamente fechados e independentes. Eles devem ser divididos em, pelo menos, dois compartimentos por anteparos verticais. Os anteparos separam o fluido de retorno do fluido que entra na sucção da bomba. A separação permite que o ar e outros contaminantes se separem do fluido. O contato com o anteparo também permite que o fluido esfrie. A linha de retorno e a linha de sucção devem entrar no reservatório por lados opostos de um anteparo.

FLUIDOS PARA ÓLEOS HIDRÁULICOS

FLUIDOS HIDRÁULICOS INDUSTRIAIS

O fluido hidráulico é crítico para qualquer sistema de acionamento hidráulico e é um ponto geralmente visto superficialmente. Suas funções são praticamente básicas e por isso, muitas vezes, são também ignoradas.

Um sistema hidráulico pode ser perfeito no que diz respeito ao projeto e à construção, mas se o fluido for inadequado ou sua manutenção for imprópria, o funcionamento do equipamento será insatisfatório, podendo resultar em dano ao equipamento. A escolha do fluido adequado e sua manutenção em boas condições são tão importantes para o bom funcionamento de um sistema hidráulico quanto à escolha do próprio equipamento.

A principal função de um fluido hidráulico é transmitir a força aplicada a um ponto do sistema para algum outro local. Além da sua função básica, o fluido hidráulico tem várias funções secundárias extremamente importantes para o bom funcionamento do sistema. O fluido deve proporcionar vedação e lubrificação adequadas entre as partes móveis para reduzir o atrito e o desgaste. Ele deve proteger os componentes contra oxidação e corrosão e deve retirar calor do sistema. Atualmente, existem vários tipos de fluidos hidráulicos no mercado, incluindo fluidos resistentes ao fogo, fluidos não poluentes ao meio ambiente e fluidos padrão à base de petróleo. Estes últimos são perfeitamente adequados para a grande maioria das aplicações hidráulicas industriais e têm sido a principal escolha para trabalho hidráulico. Os fluidos à base de petróleo continuam sendo a escolha padrão nos casos em que não há perigo de incêndio, não há nenhuma possibilidade de contaminação em produtos alimentícios nem amplas variações de temperatura e nem considerações ambientais.

FLUIDOS HIDRÁULICOS RESISTENTES AO FOGO

Vários incêndios desastrosos têm resultado de rompimento de linhas e vazamento de fluidos

hidráulicos de petróleo sobre uma fonte de ignição. Com a ênfase constante em programas de segurança industrial, o uso de fluidos hidráulicos resistentes ao fogo vem aumentando. Esses fluidos são classificados em dois tipos básicos: de base aquosa e de base não-aquosa.

Os fluidos de base aquosa ou à base de água incluem emulsões de óleo-água e glicóis-água, e sua resistência ao fogo depende do seu teor de água. As emulsões mais comuns são misturas complexas de óleo e água que contêm emulgadores, estabilizadores e outros aditivos que são usados para obter facilidade de emulsificação e estabilidade da emulsão.

A emulsão do tipo óleo-em-água consiste de gotículas de óleo que são dispersadas numa fase aquosa contínua. Como a água é a fase contínua, as características básicas deste tipo de emulsão assemelham-se mais às da água do que às do óleo. As emulsões de óleo-em-água têm excelentes características de refrigeração e baixa viscosidade. Para superar as más características da água de proteção contra ferrugem, aditivos especiais devem ser usados. As gotículas de óleo dispersadas dão alguma capacidade de lubrificação à emulsão, mas aditivos especiais são usados para melhorá-la. As emulsões de óleo-em-água possuem boa resistência ao fogo devido à alta proporção de água para óleo.

A emulsão do tipo água-em-óleo consiste de gotículas de água dispersadas numa fase oleosa contínua. Enquanto que a água dispersada oferece a resistência desejada ao fogo, a fase oleosa contínua confere boa capacidade de lubrificação. A água dispersada também oferece melhores características refrigerantes do que as proporcionadas somente pelo óleo. A quantidade de água usada nas emulsões água-em-óleo é cuidadosamente estabelecida num nível ideal para oferecer resistência adequada ao fogo, ao mesmo tempo em que mantém capacidade lubrificante adequada. Os emulgadores e aditivos são acrescentados para estabilizar a emulsão, dar capacidade lubrificante adicional e minimizar a ferrugem.

Os fluidos tipo água-glicol consistem de até 60% de água para resistência ao fogo, glicol e espessante solúvel em água. O espessante dá ao fluido a viscosidade desejada. Os fluidos de água-glicol representam formulações cuidadosamente balanceadas para cumprir os requisitos dos modernos equipamentos hidráulicos. Eles contêm aditivos para evitar a formação de espuma e corrosão e conferir propriedades antidesgaste, ao mesmo tempo que proporcionam propriedades satisfatórias de resistência ao fogo.

As temperaturas operacionais para os fluidos hidráulicos à base de água devem ser limitadas a 49°C, no máximo, para minimizar a evaporação e deterioração do fluido. Inversamente, as temperaturas operacionais abaixo de 0°C podem provocar a separação das fases fluidas ou afetar adversamente os aditivos fluidos.

Os fluidos de base não-aquosa ou de base sintética dependem da resistência ao fogo inerente ao material básico para sua resistência ao fogo. Eles incluem ésteres de fosfato, hidrocarbonetos halogenados e mistura de ambos. Esses fluidos dependem das características inerentes aos seus materiais básicos para suas propriedades de resistência ao fogo.

Os ésteres de fosfato são usados como óleos de base sintética nos casos em que se deseja resistência ao fogo. Os fluidos de éster de fosfato são mais difíceis de inflamar e têm menor tendência a manter a queima do que os outros fluidos, porque têm pontos de fulgor acima de 204°C e temperaturas de autoignição acima de 482°C. Os sistemas hidráulicos que usam ésteres de fosfato devem ter tipos especiais de vedação, como as vedações Viton-A, que são compatíveis com os ésteres de fosfato.

Os hidrocarbonetos halogenados são formulados incorporando-se compostos, como cloro ou flúor, a um composto orgânico. Os hidrocarbonetos halogenados são inertes, não-inflamáveis,

não-corrosivos, inodoros e de baixa toxicidade.

A compatibilidade das vedações, das juntas e dos materiais de gaxeta com o fluido é um fator importante quando se muda o tipo de fluido usado. Alguns aditivos dão boas propriedades antidesgaste aos fluidos, mas provocam a cura e o endurecimento dos elementos de vedação. Algumas borrachas sintéticas não são afetadas por determinado fluido, enquanto que outras incham, encolhem ou se deterioram. Alguns materiais de vedação se revertem e decompõem.

FLUIDOS HIDRÁULICOS BIODEGRADÁVEIS

Devido ao dano potencial ao meio ambiente, que pode ser causado pelo derramamento de óleo hidráulico na água, charcos e outras áreas sensíveis, muitos usuários de fluidos hidráulicos estão mudando para fluidos biodegradáveis. Fluido biodegradável é qualquer fluido que seja capaz de ser decomposto em produtos inócuos (água, dióxido de carbono, sais minerais e biomassa) pela ação de organismos vivos num período de tempo relativamente curto.

Qualquer óleo mineral ou lubrificante sintético à base de hidrocarboneto eventualmente se degradará em dióxido de carbono e água. A taxa de biodegradação dos lubrificantes na natureza varia muito. Os compostos da mesma classe que têm pesos moleculares mais baixos tendem a se degradar mais depressa.

A maioria dos fluidos biodegradáveis usados atualmente são à base de óleo vegetal. Os óleos vegetais são adequados para uso na maioria das aplicações hidráulicas. Muito embora sejam alternativas adequadas para os fluidos de óleo mineral convencionais, os óleos vegetais não são substitutos exatos. Eles usam óleos básicos e aditivos diferentes que resultam em fluidos biodegradáveis que funcionam melhor do que os óleos minerais em algumas aplicações e têm limitações em outras aplicações.

Fluidos biodegradáveis tendem a se oxidar e ter menor vida útil quando comparado com óleos hidráulicos premium em temperaturas superiores a 82°C. A utilização de refrigeradores de óleo é recomendada onde as temperaturas invariavelmente superam os 82°C.

Devido a esta restrição de temperatura de trabalho dos fluidos biodegradáveis, alguns fabricantes de bombas restringem a capacidade normal de suas bombas para o uso de fluidos biodegradáveis. Fora esta restrição de temperatura, a maioria dos fluidos biodegradáveis não exigem quaisquer alterações quando comparados com óleos convencionais. As capacidades de transmissão e as propriedades antidesgaste dos melhores fluidos biodegradáveis são excelentes.

Os fluidos biodegradáveis são compatíveis com os mesmos materiais elastoméricos para vedações e mangueiras usados com os sistemas de óleo mineral convencionais. Os fluidos também são compatíveis com aços e ligas de cobre e oferecem excelente proteção contra ferrugem.

Nunca é demais salientar a necessidade de um flush cuidadoso do sistema hidráulico quando se muda para um fluido biodegradável, porque a mistura reduzirá a biodegradabilidade e aumentará a toxicidade. Mesmo que um fluido seja facilmente biodegradável, ele não deve ser descartado de maneira indiscriminada. As opções para descarte de fluidos biodegradáveis são as mesmas dos fluidos convencionais: incineração, reciclagem ou descarte numa instalação aprovada.

FLUIDOS HIDRÁULICOS DE PETRÓLEO

A escolha do fluido hidráulico de petróleo mais satisfatório para determinada aplicação deve basear-se em duas considerações totalmente separadas e diferentes: as propriedades físicas do

óleo e a sua qualidade.

Para que cada sistema tenha um desempenho satisfatório, o fluido hidráulico deve ter certas propriedades e características físicas. As propriedades físicas do fluido não têm relação com a sua qualidade, mas se não forem observadas, o sistema hidráulico não funcionará adequadamente. A qualidade do fluido reflete as suas características de desempenho e se ele resiste bem aos fatores inerentes aos sistemas hidráulicos que encurtam a vida útil de um fluido. Deve-se considerar também a viscosidade, o índice de viscosidade, o ponto de fluidez, a estabilidade, a compressibilidade, a solubilidade de gases e a capacidade de lubrificação do fluido. Frequentemente, os usuários exigem que o fluido cumpra certas especificações que não têm qualquer relação com a sua aplicação hidráulica, tais como: densidade, cor, ponto de fulgor, resíduos de carbono e número de neutralização. Alguns desses itens são valiosos como orientação para se verificar as condições do óleo usado.

Viscosidade e Índice de Viscosidade

Viscosidade é, por si só, a propriedade mais importante de um fluido hidráulico. Como conceito geral, viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento - um fluxo mais lento significa viscosidade mais alta. Ela é também uma medida da resistência ao movimento de uma camada de líquido sobre outra. Define-se viscosidade como a força-por-unidade de área exigida para se mover uma camada de fluido a uma taxa de um centímetro por segundo em relação a outra camada paralela a um centímetro de distância.

Um fluido hidráulico viscoso demais em geral provoca quedas de alta pressão, operação morosa, baixa eficiência mecânica e alto consumo de energia. Sistemas de alta pressão e de alta precisão são particularmente sensíveis à viscosidade em baixas temperaturas. Fluidos de baixa viscosidade permitem operação eficiente com baixa resistência ao arrasto, mas tendem a aumentar o desgaste, reduzir a eficiência volumétrica e promover vazamentos.

Tradicionalmente, a indústria de lubrificação tem usado a viscosidade cinética. Isto se deve basicamente ao fato de que a técnica mais simples de se medir a viscosidade é medir a taxa de fluxo, através de um pequeno capilar sob a força da gravidade. Esta é a medição cinética da viscosidade. Historicamente, as medições da viscosidade cinética eram feitas a 37,8°C ou 98,8°C. O sistema de classificação ASTM define 18 graus de viscosidade diferentes que variam de 2 a 1500 centistokes (1 cSt = 1 mm²/s). Cada grau de viscosidade é designado pela sua viscosidade nominal, em centistokes, a 40°C. A faixa de viscosidade real é de ±10% do valor do grau. Por exemplo, o grau ISO VG 2 tem um ponto médio de viscosidade de 2,2 cSt; a faixa de viscosidade real varia de 1,98 a 2,42 cSt, que é ±10% de 2,2. **A Figura 18** mostra esses limites para cada grau de viscosidade, nas duas colunas da direita.

O Índice de Viscosidade (IV) é uma medida empírica derivada da mudança de viscosidade com uma variação de temperatura, que é calculado a partir de determinações reais de viscosidade. Quanto mais alto o valor do IV para, um óleo com determinada viscosidade, menos a viscosidade do fluido mudará com a variação de temperatura.

Um IV alto é extremamente importante em aplicações sujeitas a uma ampla faixa de temperatura. O índice de viscosidade para vários fluidos disponíveis abrange uma faixa muito ampla. Os ésteres de fosfato, em geral, têm um índice de viscosidade muito baixo (zero a -30); água que contém fluidos, em geral, tem um índice de viscosidade de aproximadamente 150 e os fluidos sintéticos, como silicones e hidrocarbonetos halogenados têm índices de viscosidade muito altos (300 e acima).

Grau de Viscosidade ISO	Ponto Médio de Viscosidade cSt (mm ² /s) a 40,0°C	Limites de Viscosidade Cinemática a 40°C	
		Mínimos	Máximos
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,2	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

A pressão afeta a viscosidade dos óleos de petróleo. Cada aumento unitário de pressão terá um efeito maior sobre a mudança de viscosidade a altas pressões do que a baixas pressões. A pressão afeta menos os óleos que têm viscosidade mais baixa do que óleos que têm viscosidade mais alta. Um aumento na pressão aumentará o índice de viscosidade de um óleo.

Compressibilidade

A compressibilidade é o grau a que um fluido sofre uma redução de volume sob pressão. A compressibilidade tem seu maior efeito sobre o desempenho em servo aplicações. Ela determina a rigidez estática do sistema e influencia vigorosamente o ganho ou ampliação do sistema. Como a compressibilidade aumenta com a pressão e a temperatura, ela é importante para os sistemas com bombas e motores de alta pressão.

A compressibilidade dos fluidos influencia na cavitação da bomba. Quando a cavitação é séria, pode ocorrer fratura do metal. Se as forças implosivas estão abaixo do ponto de ruptura do metal, a cavitação pode causar fadiga corrosiva e corrosão por tensão. Com forças de cavitação relativamente baixas, as películas de óxido que protegem o metal podem ser removidas, podendo ocorrer ataque corrosivo por outras causas.

Os fluidos à base de petróleo são relativamente incompressíveis, sofrendo aproximadamente uma redução de 0,5% em volume para cada 6.900 kPa (1.000 psi) de aumento em pressões até 27.600 kPa (4.000 psi).

Ponto de Fluidéz

O ponto de fluidéz é a temperatura mais baixa em que o óleo fluirá quando resfriado sob determinadas condições. O ponto de fluidéz é importante se o sistema for regularmente exposto a baixas temperaturas ambientes, mas é relativamente insignificante se o sistema for usado

dentro de uma instalação aquecida. Como regra empírica, o ponto de fluidez deve ser de aproximadamente 6°C abaixo da temperatura mais baixa a que o óleo será exposto.

Estabilidade

O calor pode destruir um fluido. Quanto mais alta a temperatura, mais curta a vida do fluido. Quando um sistema opera em temperaturas elevadas, os aditivos devem ser escolhidos cuidadosamente. Alguns aditivos, embora façam um trabalho excelente em temperaturas operacionais normais, têm estabilidade térmica limitada. À medida que a temperatura aumenta, ocorre uma decomposição química. Ao invés de ser benéfico, o aditivo começa a prejudicar o sistema.

QUALIDADE DOS ÓLEOS HIDRÁULICOS

Os primeiros circuitos hidráulicos eram simples e as válvulas eram operadas manualmente. Muitos dos atuais sistemas hidráulicos são complicados. Os custos de manutenção elevados são inaceitáveis. Numa fábrica, o desligamento de uma linha de produção normalmente causa o desligamento de todas as máquinas. Todos esses fatores apontam para a necessidade de óleos hidráulicos cada vez melhores. A qualidade de um fluido diz por quanto tempo ele continuará cumprindo suas funções primárias e secundárias e o quanto resistirá às mudanças em suas propriedades essenciais. A qualidade dos óleos hidráulicos varia muito no tocante às propriedades que refletem a qualidade do óleo; propriedades de estabilidade à oxidação, prevenção de ferrugem, resistência à formação de espuma, separação da água e antidesgaste.

Os óleos hidráulicos premium são formulados a partir da escolha de um óleo cru adequado. Somente parte dos hidrocarbonetos dos melhores crus escolhidos na faixa de viscosidade apropriada têm a estrutura química desejada. Vários processos de refino são usados para aumentar a seletividade e eficiência da remoção dos compostos impróprios.

No que diz respeito à fabricação de óleos hidráulicos premium, o refino aperfeiçoado é apenas o começo. Aditivos são usados para suplementar e melhorar algumas das propriedades dos óleos hidráulicos. A incorporação de aditivos implica em muito mais do que a simples adição de alguns produtos químicos ao óleo. A escolha e o uso de aditivos exigem extrema habilidade.

Estabilidade à Oxidação

Do ponto de vista da qualidade, a estabilidade à oxidação é uma das propriedades mais importantes de um óleo. Todos os hidrocarbonetos são susceptíveis à oxidação. O oxigênio reage com o óleo para formar grande número de compostos. Essas reações ocorrem como uma sequência. Os produtos ácidos solúveis aumentam a viscosidade do óleo e podem ser corrosivos para os metais do sistema. As reações de polimerização e condensação produzem goma insolúvel, borra e verniz, que tornam lento o funcionamento, aumentam o desgaste e, eventualmente, reduzem as folgas, entopem tubulações e válvulas, fazendo com que o sistema se torne inoperante.

A estabilidade à oxidação dos óleos varia muito. Ela depende do tipo de óleo, do método usado para refiná-lo e se inibidores de oxidação são usados. As condições operacionais do sistema também afetam a taxa de oxidação. Temperatura, pressão, contaminantes, água, superfícies metálicas e agitação, tudo isto favorece à oxidação.

A temperatura é um dos principais aceleradores da reação de oxidação do óleo. A taxa de qualquer reação química, incluindo a oxidação de hidrocarbonetos, dobrará aproximadamente

a cada aumento de 18°F (8°C) de temperatura. À medida que a pressão aumenta, a viscosidade do óleo também aumenta. O aumento na viscosidade provoca um aumento no calor de atrito, elevando a temperatura operacional do óleo e acelerando ainda mais a oxidação. Com o aumento da pressão, a quantidade de ar, que pode ser mantida em solução, aumenta rapidamente e o ar dissolvido fornece oxigênio necessário para causar mais oxidação.

Contaminantes, como sujeira, umidade, tinta, compostos conjuntos e os próprios produtos da oxidação aceleram a taxa de oxidação do óleo. Como vemos na Figura 19, com apenas 1% de concentração de borra num óleo hidráulico, o óleo se oxidará em aproximadamente metade do tempo do óleo sem borra, reduzindo sua vida útil pela metade.

Metais, especialmente o cobre, são conhecidos catalizadores para oxidação do óleo. A presença da água intensifica em muito o efeito catalítico dos metais. Nos primeiros estágios da oxidação, a viscosidade e o número de neutralização do óleo aumentarão. O número de neutralização é comumente usado como guia para determinar quando a oxidação do óleo atingiu o ponto em que ele deve ser descartado.

Prevenção de Ferrugem

Devido à condensação do ar, a umidade penetra num sistema hidráulico fazendo com que este enferruje. Apenas um ou dois flocos de ferrugem que passem por uma bomba e/ou uma válvula fabricada com precisão podem riscar as superfícies tão seriamente que pode reduzir a eficiência dessas peças.

Usar inibidores de ferrugem é um meio muito mais prático de se controlar a ferrugem do que se eliminar toda a umidade do sistema. Os inibidores de ferrugem são usados para manter a umidade longe das superfícies metálicas. Eles envolvem as superfícies metálicas formando uma película aderente que é impermeável à ação enferrujadora da água e do ar.

Os inibidores de ferrugem oferecem excelentes resultados. Isto tem sido particularmente válido em atmosfera úmida, onde os sistemas hidráulicos estão sujeitos à ferrugem. O uso de inibidores eliminou totalmente os problemas da ferrugem. Uma vez que as peças metálicas de um sistema hidráulico sejam revestidas com o inibidor, estando submersas no óleo ou não, elas se tornam impermeáveis à água formada por condensação ou contaminação, evitando, desse modo, a ferrugem.

Entretanto, a película protetora pode ser removida por qualquer óleo mineral que não contenha inibidor de ferrugem. Se um óleo puro simples for usado para completar o nível de óleo após uma carga inicial de óleo com inibidor de ferrugem, o inibidor que envolve as peças metálicas será lavado pelo óleo de reposição.

Formação de Espuma e Aprisionamento de Ar

A presença de ar nos sistemas hidráulicos não apenas provoca o movimento impreciso das partes da máquina, como também causam maior oxidação do óleo hidráulico.

Todos os óleos absorvem aproximadamente 10% de ar em volume. O óleo hidráulico pressurizado absorve muito mais do que 10% em volume. Quando o óleo é despressurizado, o ar sai da solução e produz espuma. Outro problema é que, à medida que o óleo é comprimido, ele se torna muito quente. Se o ar for rapidamente comprimido até 100 psi, a temperatura teórica pode atingir 251°C. A 3.000 psi, ela pode chegar a 1.104°C. Num sistema hidráulico, as temperaturas resultantes da compressão do ar seriam um pouco mais baixas devido à taxa de compressão, à quantidade de calor perdido pela condução etc. Entretanto, a temperatura seria

alta o bastante para queimar o óleo circundante e causar oxidação. A oxidação contínua é acumulativa, fazendo com que toda a massa de óleo eventualmente se oxide.

Todos os óleos minerais puros são susceptíveis à formação de espuma. A quantidade de espuma depende da viscosidade do óleo, da origem do óleo cru, do tipo de refino e do uso. A formação de espuma é reduzida a uma quantidade insignificante pela adição de compostos químicos, chamados antiespumantes. Os antiespumantes não impedem, necessariamente, a dissolução de ar no óleo ou a formação de espuma, mas fazem com que a espuma se decomponha rapidamente e que o ar preso se desprenda sem demora.

Os aumentos nas velocidades e pressões da bomba, acompanhados de diminuições nos tamanhos do reservatório têm concentrado a atenção nas características de aprisionamento do ar dos óleos hidráulicos. A circulação de ar excessivo pode provocar a cavitação da bomba e operação esponjosa. O aprisionamento de ar é a dispersão de pequenas bolhas de ar por todo o fluido. Muito embora aditivos antiespumantes sejam eficazes na inibição da espuma, alguns desses aditivos, na realidade, retardam a liberação do ar da massa do fluido e causam tempos de liberação de ar anormalmente lentos.

Separação da Água

A umidade que penetra num sistema hidráulico pode emulsionar-se sob condições de agitação violenta do sistema. A emulsão formada pode ser fina e aquosa, densa e pastosa ou pesada e gomosa. As emulsões de água promovem a coleta de poeira, detritos e sujeira, os quais podem afetar adversamente o funcionamento adequado das válvulas, aumentar o desgaste e a corrosão, promover a oxidação do óleo, causar a depleção dos aditivos e entupir filtros ultrafinos.

Os óleos minerais de alto refino permitem que a água se separe rapidamente. Entretanto, deve-se tomar cuidado para assegurar que os aditivos usados no óleo para outras finalidades não tenham um efeito adverso sobre as propriedades de separação da água do óleo.

Propriedades Antidesgaste

Embora os óleos hidráulicos convencionais sejam satisfatórios para muitas aplicações, os óleos com antidesgaste são necessários em equipamentos de alta pressão/alta velocidade. Em sistemas que usam bombas de palhetas móveis ou engrenagens operando em pressões superiores a 1.000 psi e/ou velocidades acima de 1.200 rpm, os óleos com antidesgaste são necessários para assegurar o funcionamento satisfatório. A ação do aditivo antidesgaste visa minimizar a quantidade de desgaste nas superfícies de contato que pode ocorrer na ausência de uma película de fluido suficiente. Os fluidos antidesgaste de primeira qualidade ajudam a dar um desempenho confiável e longa vida ao sistema nas condições de rendimento nominal máximo estabelecidas pelo fabricante.

A lubrificação limite pode ocorrer quando o fluido tem viscosidade insuficiente para evitar o contato entre partes móveis e estacionárias. Os aditivos antidesgaste formam um revestimento protetor sobre as superfícies de aço que permitem que as partes deslizem sobre a película protetora com um mínimo de perda de metal. Minimizar a quantidade de desgaste também minimiza a circulação de resíduos desse desgaste no sistema.

Tipicamente, o uso de óleos hidráulicos com fracas propriedades antidesgaste resultará em desgaste severo, caracterizado pela destruição da bomba ou pela sua incapacidade de manter pressão e fluxo, após breve período de funcionamento.

MANTENDO OS ÓLEOS HIDRÁULICOS LIMPOS

A limpeza do fluido hidráulico e do sistema é essencial para manter a mais longa vida útil possível do fluido e assegurar o funcionamento perfeito do sistema. Muito embora o fluido hidráulico esteja limpo quando da entrega, deve-se obedecer as precauções de armazenagem e manuseio para evitar a contaminação do fluido por materiais, como poeira, água e sujeira. Os tambores devem ser armazenados deitados - em recinto coberto, se possível. Caso não, eles devem ficar sob algum tipo de abrigo. Deve-se limpar a tampa antes de abrir o tambor. Quaisquer recipientes ou mangueiras usadas para transferir o óleo devem ser cuidadosamente limpos. O óleo deve ser filtrado antes de entrar no reservatório. Estes procedimentos são de simples bom senso e deveriam ser automáticos para quem manuseia fluidos hidráulicos, pois os problemas que surgem quando não os observamos são surpreendentemente grandes.

REQUISITOS DE LIMPEZA DOS FLUIDOS HIDRÁULICOS

Os requisitos de limpeza para os fluidos hidráulicos têm mudado significativamente nos últimos anos. Os padrões de limpeza aceitáveis há alguns anos não são mais suficientes para muitos dos sistemas hidráulicos de hoje. Vários sistemas de classificação diferentes têm sido usados por várias organizações e empresas para definir e medir o nível de limpeza para os fluidos hidráulicos e lubrificantes usados nos equipamentos. Visando a padronizar o método usado para expressar o nível de contaminação por partículas em óleo hidráulico, a International Standards Organization (ISO) desenvolveu a norma ISO 4406. A ISO 4406 é uma norma reconhecida internacionalmente que não apenas expressa o nível de contaminação do óleo hidráulico por partículas, como também é usada para especificar o nível exigido de limpeza para componentes e sistemas hidráulicos.

A Norma ISO 4406 é um sistema de classificação de pureza hidráulica baseado no número de partículas de contaminação maiores que 4 microns, 6 microns e 14 microns numa amostra de 1 mililitro de fluido. Uma vez determinados o número e o tamanho das partículas, os pontos são traçados num gráfico padronizado de números na faixa ISO, como vemos na **Figura 21**, para converter a contagem de partículas num formato de classificação ISO 4406. O formato de classificação ISO 4406 oferece três faixas de números que são separados por uma barra, por exemplo, 20/14/12. O primeiro número corresponde ao número de partículas de tamanho superior a 4 microns; o segundo número corresponde ao número de partículas de tamanho superior a 6 microns, enquanto que o terceiro número corresponde ao número de partículas de tamanho superior a 14 microns. Por exemplo, se uma amostra de 1 mililitro contém 6.000 partículas de 4µm, 140 partículas de 6µm e 28 partículas de 14µm, o fluido teria uma classificação de pureza de 20/14/12. O número de partículas de 4µm (6.000) cai na faixa de maiores que 5.000 e menores que 10.000, resultando num número na faixa de 20 da ISO 4406. O número de partículas de 6µm (140) cai na faixa de maiores que 80 e menores que 160, resultando num número na faixa de 14 da ISO 4406. O número de partículas de 14µm (28) cai na faixa de maiores que 20 e menores que 40, resultando num número na faixa de 12 da ISO 4406.

A Figura 22 mostra os níveis de pureza desejáveis para diferentes tipos de sistemas e aplicações típicas, e também apresenta o código de pureza ISO desejada para os diferentes sistemas classificados pela sensibilidade de sistema, desde sistemas não-críticos até sistemas supercríticos.

Número de Partículas Por Mililitro		
Maior que	Menor que	N2 da Faixa 150 4406
80.000	160.000	24
40 .000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1

Código ISO de Contaminações	Sensibilidade do Sistema	Tipos de Sistemas e Aplicações Típicas
15/13/9	Super Crítica	Sistema de Controle de sujidade sensível com confiabilidade muito alta. Aparelhos de laboratório, sistemas aeroespaciais.
17/15/ 11	Crítica	Servo sistemas de alto desempenho e sistemas de longa vida e alta pressão, por exemplo, aviões, máquinas-ferramentas, robôs industriais etc.
19/16/13	Muito Importante	Sistemas confiáveis de alta qualidade , por exemplo, turbinas (vapor, gás, hidro) controles de lubrificação e eletro-hidráulicos, requisitos de máquinas em geral
20/18/14	Importante	Maquinaria em geral e sistemas hidráulicos móveis. Pressão média, capacidade média. Qualidade de óleo em serviço aceitável para turbinas a vapor sem bombas aspirantes.
21/19/15	Média	Sistemas industriais de serviço pesado e baixa pressão de óleo e equipamentos de construção ou aplicações nas quais a vida longa não é crítica, por exemplo, guinchos, transmissões de equipamentos móveis pesados.
23/2 1/ 17	Não-Crítica	Sistemas de baixa pressão com grandes folgas, por exemplo,

	elevadores de navios.
--	-----------------------