

Cilindros hidráulicos

- Características e benefícios
- Guarnições
- Amortecimento de fim de curso
- Tipos de montagem do cilindro
- Tipos de carga de cilindro
- Tubo de parada
- Tipos comuns de cilindros
- Cálculos dos cilindros
- Dimensionamento de um cilindro hidráulico

Atuadores rotativos

- Oscilador de cremalheira e pinhão
- Oscilador de palhetas

Motores hidráulicos

- Tipos de motores hidráulicos
- Cálculos dos motores hidráulicos
- Motores hidráulicos no circuito
- Transmissão hidrostática



Atuadores Hidráulicos



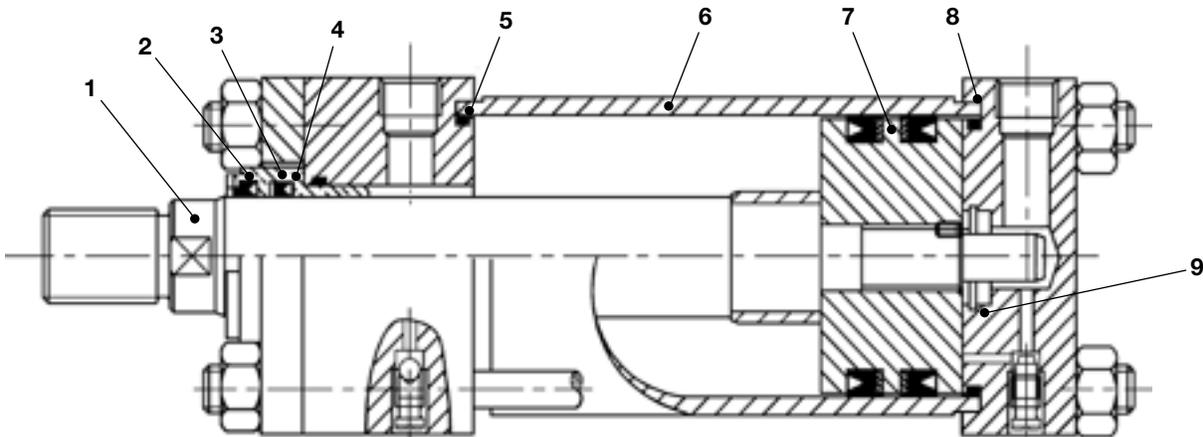
Os atuadores hidráulicos convertem a energia de trabalho em energia mecânica. Eles constituem os pontos onde toda a atividade visível ocorre e são um dos principais itens a serem consideradas no projeto da máquina. Os atuadores hidráulicos podem ser divididos basicamente em dois tipos: lineares e rotativos.

Cilindros hidráulicos

Cilindros hidráulicos transformam trabalho hidráulico em energia mecânica linear, a qual é aplicada a um objeto resistivo para realizar trabalho.

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 (a maioria dos cilindros industriais usa tirantes). 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.

Características e benefícios:



1 - Haste

Aço de alta resistência, retificado, cromado e polido para assegurar uma superfície lisa, resistente a riscos e sulcos para uma vedação efetiva e de longa vida.

2 - Mancal Parker Jewel

A maior superfície de apoio da vedação proporciona melhor lubrificação e vida mais longa. O mancal *Jewel*, completo com as vedações da haste, pode ser facilmente removido sem desmontar o cilindro, de forma que a manutenção seja mais rápida e mais barata.

3 - Guarnição de limpeza de borda dupla

A guarnição de limpeza de borda dupla atua como uma vedação secundária, retirando o excesso do filme de óleo entre a guarnição de limpeza e a vedação serrilhada. Sua borda externa impede a entrada de contaminantes no cilindro, prolongando a vida do mancal, das vedações e conseqüentemente a vida de todo o sistema hidráulico.

4 - Vedação de borda serrilhada

A vedação da haste possui uma série de bordas que atuam sucessivamente conforme o aumento da pressão proporcionando vedação eficiente sob todas as condições de operação. No recuo da haste serrilhada, atua como válvula de retenção permitindo ao filme de óleo que aderiu à haste retornar para o interior do cilindro.

5 - Vedações do corpo do cilindro

Vedações do corpo sob pressão asseguram que o cilindro seja à prova de vazamentos, mesmo sob choques de pressão.

6 - Camisa do cilindro

Um rígido controle de qualidade e a precisão de fabricação garantem que todos as camisas atendam aos padrões de alinhamento, circularidade e acabamento superficial.

O acabamento da superfície interna da camisa de aço minimiza o atrito interno e prolonga a vida das vedações.

7 - Êmbolo de ferro fundido inteiriço

O êmbolo tem amplas superfícies de apoio para resistir às cargas laterais e um longo encaixe por rosca na haste. Como característica de segurança adicional, o êmbolo é fixado por Loctite e por um pino de travamento.

8 - Encaixe da camisa

Um rebaixo usinado nas extremidades da camisa, concêntrico com diâmetro interno do cilindro permite um encaixe rápido e preciso com flanges dianteiro e traseiro, resultando em um perfeito alinhamento e longa vida em operação sem vazamentos.

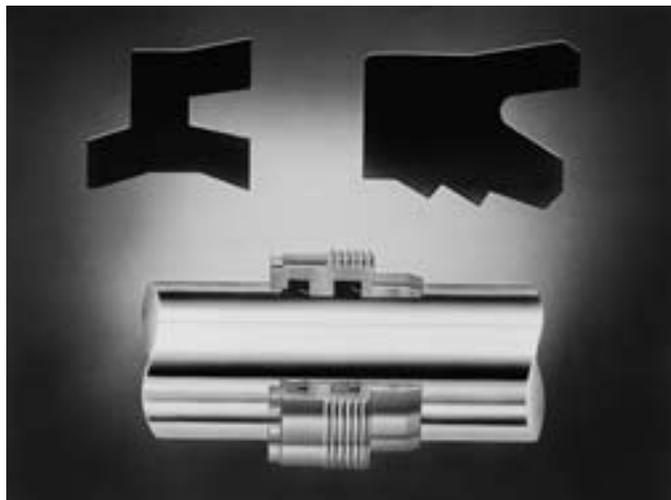
9 - Anel de amortecimento flutuante e luvas de amortecimento

O anel de amortecimento flutuante e a luva são auto-centrantes, permitindo tolerâncias estreitas e, portanto, um amortecimento mais eficaz.

Na partida do cilindro, uma válvula de retenção com esfera na extremidade do cabeçote dianteiro e o anel flutuante na extremidade do cabeçote traseiro permitem que seja aplicada pressão à toda área do pistão para maior potência e velocidade de partida.

Guarnições

Os cilindros Parker são equipados com o mancal *Jewel* que combina uma vedação de pressão com borda serrilhada e uma guarnição de limpeza de borda dupla em um conjunto removível.



Vedações normais de bordas simples perdem sua capacidade de vedação depois que a borda tiver sido deformada sob pressão.

A vedação com borda serrilhada Parker possui uma série de bordas de vedação que atuam sucessivamente ao aumentar a pressão.

No retorno do curso, o serrilhado funciona como válvula de controle permitindo que o filme de óleo aderido à haste, retorne para o interior do cilindro.

As duas bordas da guarnição de limpeza têm funções diferentes. A borda interna atua como vedação secundária retendo o filme lubrificante na câmara e entre as duas guarnições. Daí, ele passa de volta para o cilindro através da borda de vedação serrilhada.

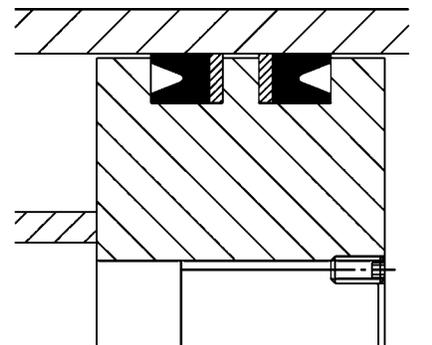
A borda externa impede a entrada de sujeira no cilindro e, portanto, aumenta a vida dos mancais e vedações.

A combinação de vedação serrilhada e da guarnição de limpeza de borda dupla em seu mancal *Jewel*, garantem a haste seca dos cilindros Parker. Isto significa ausência de gotejamento sendo uma contribuição importante à segurança, à economia e ao meio ambiente.

Vedações do êmbolo

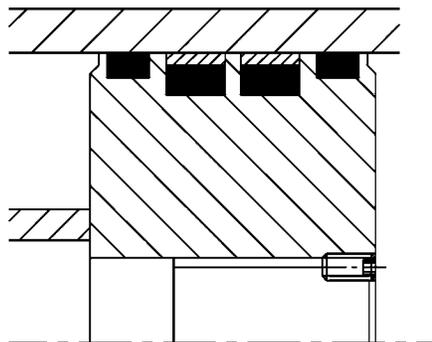
Pistão com vedações tipo Lipseal® asseguram vazamento "zero" sob condições estáticas.

Os vedadores são autocompensadores para se ajustarem às variações de pressão, deflexão mecânica e desgaste. São providos de anéis tipo *back-up* evitando o efeito de extrusão das vedações.



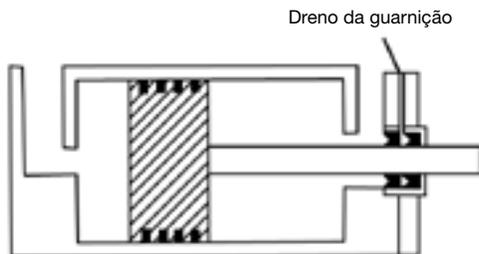
Êmbolo com vedações *hi-load*: dois anéis de desgaste atuam como mancais deformando-se radialmente sob a ação de cargas laterais e distribuindo estas cargas por uma larga superfície, evitando assim a concentração de cargas.

Os anéis Teflon® com bronze são projetados para não serem extrudados entre o êmbolo e a camisa além de não permitirem vazamentos e terem uma vida útil superior às vedações Lipseal®.



Drenagem do mancal

O acúmulo de fluido atrás da guarnição de limpeza do mancal de cilindros de curso longo ou de cilindros que recebam constante pressão de retorno, pode ser aliviado optando-se na especificação por um dreno no mancal. Um orifício entre a guarnição de limpeza e a gaxeta de vedação permite que o fluido seja conduzido ao reservatório. Instalando um tubo transparente entre o orifício e o reservatório, pode-se monitorar a perda de fluido nos cilindros de forma a possibilitar uma indicação antecipada da necessidade de manutenção do mancal.

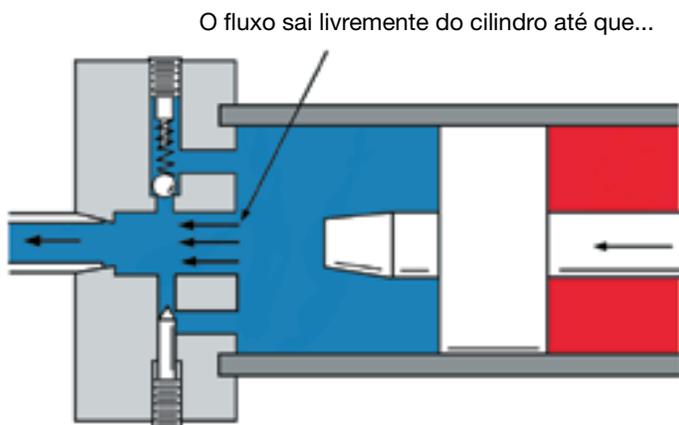


Choque hidráulico

Quando a energia de trabalho hidráulica que está movendo um cilindro encontra um obstáculo (como o final de curso de um pistão), a inércia do líquido do sistema é transformada em choque ou batida, denominada de choque hidráulico. Se uma quantidade substancial de energia é estancada, o choque pode causar dano ao cilindro.

Amortecimento de fim de curso

O amortecedor é recomendado como forma de controlar a desaceleração das massas ou para aplicações em que a velocidade do pistão exceda 0,1 m/s (600 cm/min). O amortecimento aumenta a vida útil do cilindro, reduz ruídos indesejados e choques hidráulicos. Os amortecimentos podem ser instalados em ambos os lados de um cilindro.

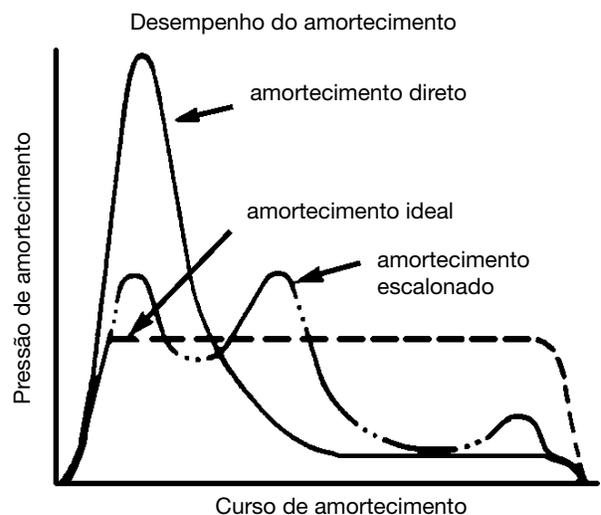


Um amortecimento consiste em uma válvula de agulha de controle de fluxo e de um plugue ligado ao pistão. O plugue de amortecimento pode estar no lado da haste (nesta posição ele é chamado de luva escalonada) ou pode estar no lado traseiro (onde é chamado de batente de amortecimento).

Funcionamento

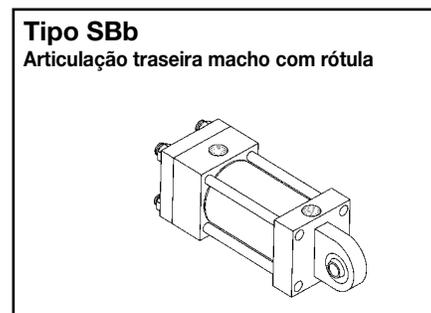
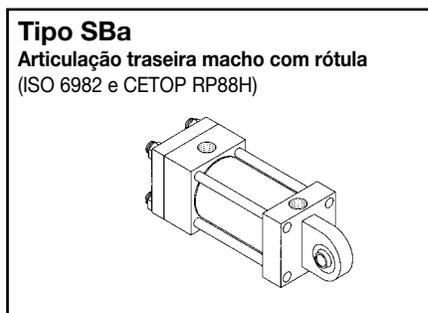
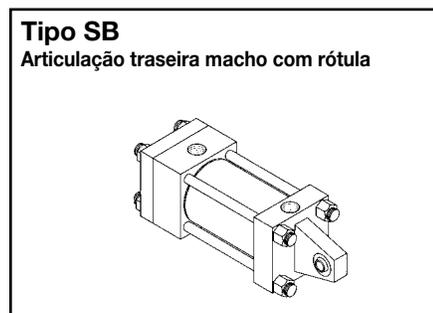
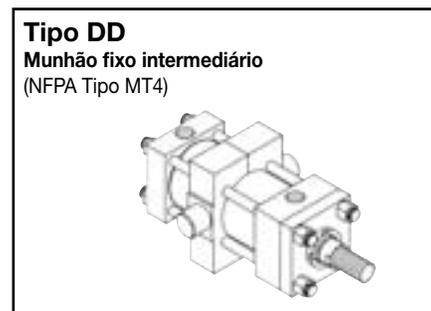
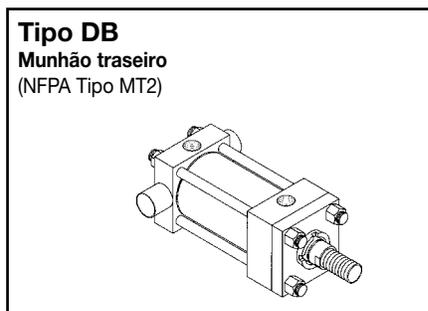
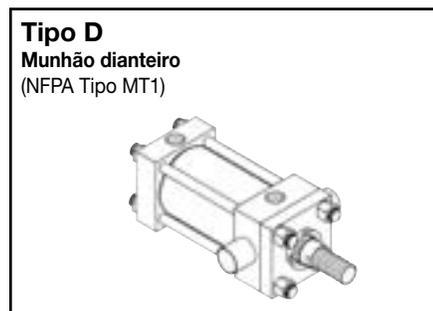
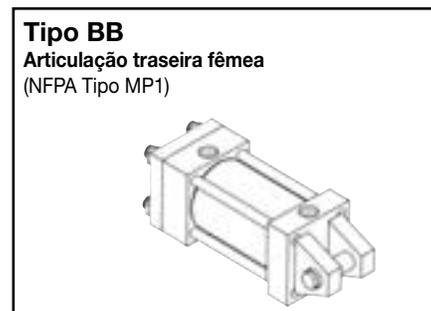
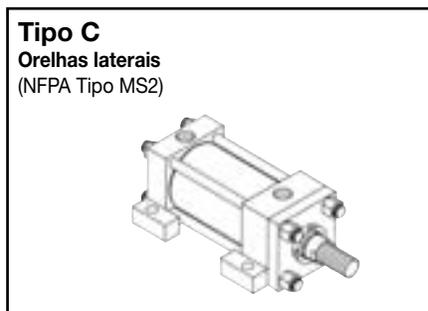
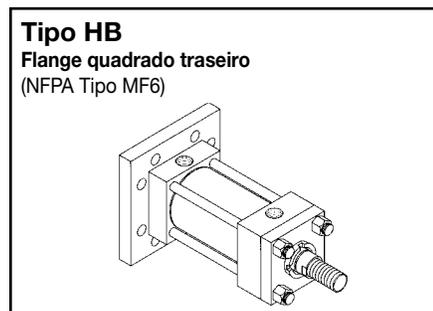
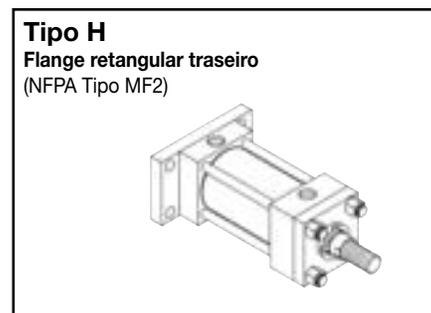
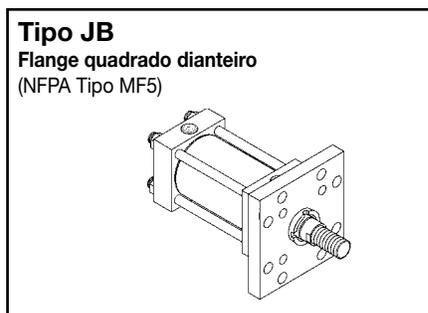
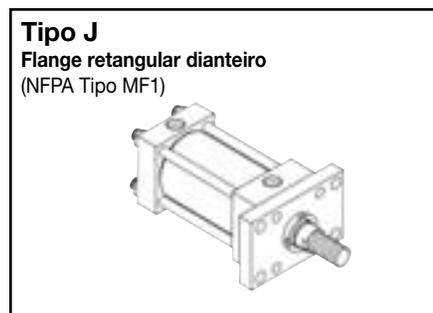
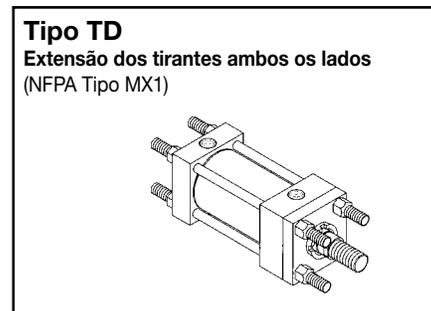
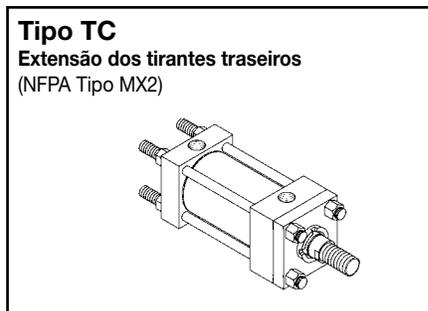
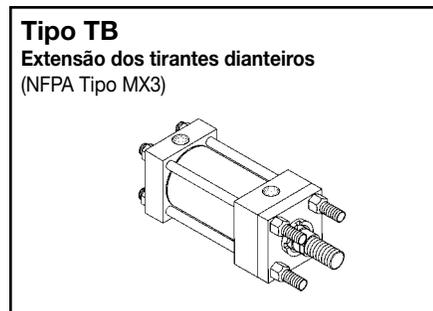
Conforme o pistão do cilindro se aproxima do seu fim de curso, o batente bloqueia a saída normal do líquido e obriga o fluido a passar pela válvula controladora de vazão. Nesta altura, algum fluxo escapa pela válvula de alívio de acordo com a sua regulagem. O fluido restante adiante do pistão é expelido através da válvula controladora de vazão e retarda o movimento do pistão. A abertura da válvula controle de vazão determina a taxa de desaceleração. Na direção inversa, o fluxo passa pela linha de *bypass* da válvula de controle de vazão onde está a válvula de retenção ligada ao cilindro. A velocidade do óleo na entrada do cilindro não deve exceder a 5 m/s.

O sucesso do amortecimento consiste no uso de uma luva escalonada na qual os degraus foram calculados para atingir as curvas ideais de amortecimento. O gráfico de desempenho do amortecimento, abaixo, mostra no eixo "Y" a pressão do óleo na câmara de amortecimento em função do curso de amortecimento eixo "X". Testes com uma luva com três escalonamentos mostram três picos de pressão coincidentes com os escalonamentos, enquanto a curva de desaceleração aproxima-se bastante da ideal, exceto nos últimos 12 mm de curso. Este perfil da curva permite uma adequação as diversas condições de carga e velocidade, com significativa redução das indesejáveis forças de parada transmitidas ao cilindro e à carga, bem como à estrutura na qual está fixado o cilindro.



Tipos de montagem do cilindro

Os pistões podem ser montados de várias formas ou estilos, entre os quais estão as montagens por flange, por munhão, por sapatas (orelhas) laterais, montagem por base, etc.



Tipos de montagem

A série de cilindros Parker série 2H possui 15 tipos de montagem que atendem à maioria das aplicações.

Quando uma montagem especial for necessária, nossa equipe de vendas e de engenharia estarão à sua disposição para prestar todos os esclarecimentos necessários e encontrar a melhor solução para sua aplicação.

As informações a seguir foram preparadas para auxiliá-lo a selecionar o melhor tipo de montagem para sua aplicação.

Cilindros montados pela extensão dos tirantes

Cilindros com montagens TB, TC e TD são utilizados quando a força aplicada está alinhada com a linha de centro da haste e particularmente onde o espaço é limitado.

Para aplicações de compressão da haste (avanço), a montagem pela extensão dos tirantes traseiros é a mais recomendada. Para aplicações de tração da haste (recuo), a montagem pela extensão dos tirantes dianteiros é a mais recomendada.

Os cilindros com a montagem pela extensão dos tirantes, em ambas as extremidades, podem ser fixados na máquina por qualquer uma das extremidades, respeitando o tipo de esforço ao qual está submetida a haste, deixando livre a outra extremidade para montagem de dispositivo que não comprometa a rigidez do cilindro.

Cilindros montados por flanges

Estes cilindros são utilizados quando a força aplicada está alinhada com a linha de centro da haste. Quatro tipos de montagem são disponíveis, pelo cabeçote dianteiro J e JB e pelo cabeçote traseiro H e HB.

A seleção correta do tipo de flange depende do esforço ao qual a haste está submetida, seja de compressão (avanço) ou de tração (retorno).

Para as aplicações de compressão a mais recomendada é por flange no cabeçote traseiro, para aplicações de tração recomenda-se flange no cabeçote dianteiro.

Cilindros montados por articulações

Cilindros com montagens por articulações BB e SB absorvem as forças aplicadas na linha de centro da haste e devem ser usados onde o movimento da carga acionada é feito ao longo de uma curva.

Montagens por articulações podem ser usadas quando a haste está submetida à compressão (avanço) ou à tração (retorno).

O cilindro que usa articulação sem rótula, montagem BB pode ser usado ao longo de uma curva em um único plano (um grau de liberdade), já para aplicações que exigem movimentos com mais de um grau de liberdade é recomendável que a montagem com rótula esférica tipo SB, SBa e SBb.

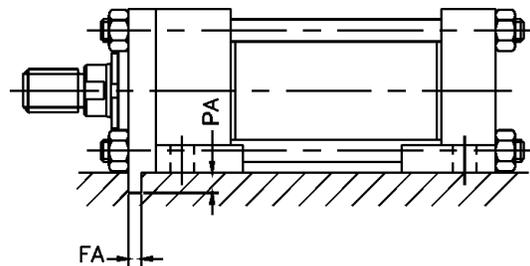
Cilindros montados por orelhas laterais

Cilindros montados por orelhas laterais (montagem C), não absorvem as forças aplicadas na linha de centro da haste.

Como resultado, a força produz um movimento resultante de giro do cilindro sobre os parafusos de fixação à máquina.

Por isso, é importante que estes cilindros estejam firmemente fixados na superfície da máquina e a carga deve ser efetivamente guiada, para evitar esforços radiais no mancal dianteiro e no êmbolo.

Estes cilindros podem ser fornecidos com uma chaveta de fixação para reduzir estes esforços radiais.



Cilindros montados por munhões

Cilindros com montagens por munhões são projetados para absorver forças em suas linhas de centro.

Eles são usados em aplicações nas quais a haste está submetida ao esforço de tração (retorno) e compressão (avanço), e podem ser utilizados onde as partes acionadas da máquina movem-se ao longo de uma curva em um único plano (um grau de liberdade).

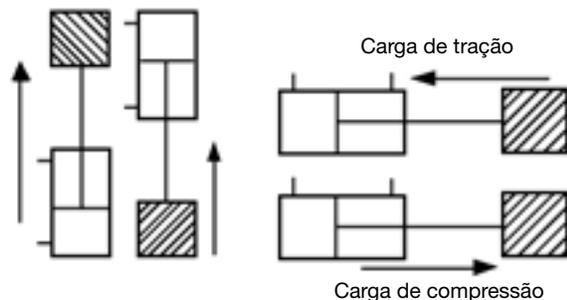
Os munhões são disponíveis no cabeçote dianteiro D, no traseiro DB e no centro do cilindro DD.

Os munhões são projetados para suportar apenas forças de cisalhamento e esforços de flexão devem ser evitados ao máximo.

Tipos de cargas de cilindro

Os pistões podem ser usados em um número limitado de aplicações para mover vários tipos de carga. Mas, dependendo do modo como estão ligados à carga, a operação recebe nome diferente.

Uma carga que é empurrada pelo pistão recebe o nome de carga de compressão. A carga que está sendo puxada recebe o nome de carga de tração.

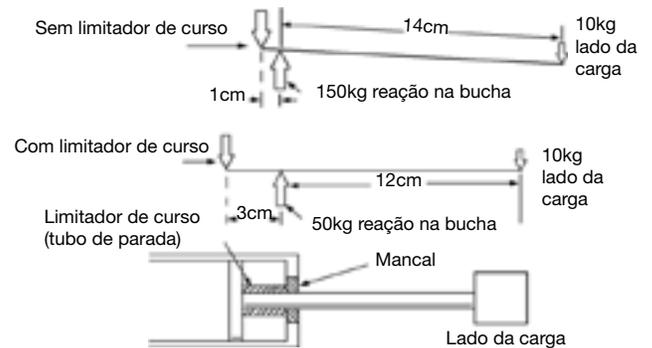


Tubo de parada

O tubo de parada é uma luva sólida de metal que se fixa sobre a haste do pistão.

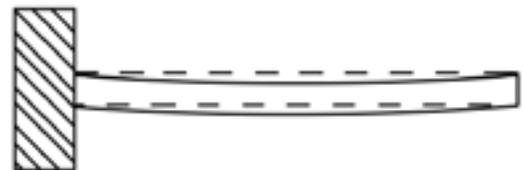
O tubo de parada conserva separados o pistão e a guarnição da haste no mancal quando a haste de um cilindro de curso longo está totalmente estendida.

Uma vez que a guarnição é um mancal, ela é projetada para suportar alguma carga enquanto suporta a haste no seu movimento de avanço e de retração.



Complementando a função de mancal a guarnição juntamente com o mancal, é o ponto de apoio para a haste. Se a carga ligada à ponta de um pistão de grande curso não for guiada rigidamente, então, em condição de avanço total, a haste se apoiará no mancal, desenvolvendo uma carga excessiva sobre este.

O tubo de parada, com efeito, protege a guarnição pela distribuição da carga em toda a sua extensão, entre o pistão e a vedação. Acredite ou não, as hastes muito pesadas dos cilindros de grande curso flexionam apenas com o seu próprio peso.



A haste de um pistão com 1.6 cm de diâmetro pesa 1.6 Kg por metro de extensão e flexiona 2.5 cm em vão de 3 metros. Nos cursos muito grandes de cilindros montados na horizontal, ocorre uma carga indesejável nas guarnições dos cabeçotes por causa do empenamento das hastes, quando é totalmente utilizado para separar o pistão da guarnição. Esta aplicação reduz a carga nas guarnições.

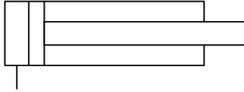
A maioria dos cilindros não necessita de tubo de parada. Para se determinar quando um tubo de parada é necessário, ou qual o comprimento que um tubo de parada deve ter, consulte o nosso catálogo.

Tipos comuns de cilindros

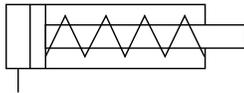
Cilindros de ação simples

Cilindro no qual a pressão do fluido é aplicada em somente uma direção para mover o pistão.

Cilindro com retorno com força externa

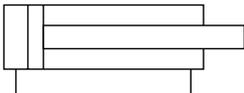


Cilindro com retorno por mola



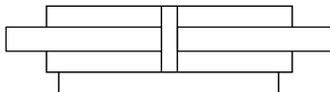
Cilindro de dupla ação

Cilindro no qual a pressão do fluido é aplicada ao elemento móvel em qualquer uma das direções.



Cilindro de haste dupla

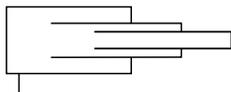
Cilindro com um pistão simples e uma haste ligada a cada lado.



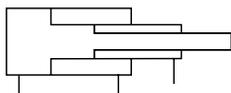
Cilindros telescópicos

Um cilindro com arranjo multitubular da haste que provê um curso longo com uma camisa curta na retração.

Cilindro telescópico de ação simples



Cilindro telescópico de ação dupla



Cálculos dos cilindros

Força do cilindro

Através do curso do cilindro, a energia de trabalho hidráulica é aplicada à área do seu pistão. O componente da pressão da energia de trabalho aplicada ao pistão será não mais do que a resistência que a carga oferece.

Muitas vezes, é preciso conhecer qual é a pressão que deve ser aplicada no cilindro de certo tamanho para se desenvolver uma dada força na saída. Para determinar a pressão, a fórmula usada é a seguinte:

$$\text{Pressão} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \quad \text{Força} = \text{Pressão} \cdot \text{Área}$$

Área de um círculo

Quando a fórmula foi usada anteriormente, a área e a pressão, ou a área e a força, foram dadas. Mas muitas vezes somente o tamanho do cilindro (diâmetro) é conhecido e a área deve ser calculada. Este cálculo é tão fácil quanto calcular a área de um quadrado. É verdade que a área de um círculo é exatamente 78.54% da área de um quadrado, cujos lados têm o comprimento igual ao do diâmetro do círculo (D).

Para determinar a área de um círculo, multiplique o diâmetro do círculo por si mesmo e, em seguida, por 0.7854.

$$\text{Área do círculo} = \text{diâmetro}^2 \times 0.7854$$

A fórmula mais comumente usada é:

$$\text{Área do círculo} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Curso do cilindro

A distância através da qual a energia de trabalho é aplicada determina quanto trabalho será realizado. Essa distância é o curso do cilindro. Já foi ilustrado que um cilindro pode ser usado para multiplicar uma força pela ação da pressão hidráulica agindo sobre a área do pistão.

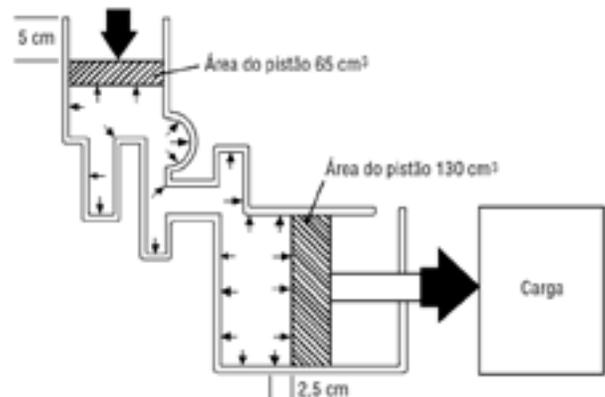
Quando se multiplica uma força, hidráulicamente tem-se a impressão de que se está recebendo alguma coisa de graça. Parece que uma pequena força pode gerar uma força grande sob as circunstâncias certas e que nada foi sacrificado. Isto é relativamente válido em um sistema estático. Mas, se a força deve ser multiplicada e deslocada ao mesmo tempo, alguma coisa deve ser sacrificada, neste caso a distância.

Volume do cilindro

Cada cilindro tem um volume (deslocamento) que é calculado multiplicando-se o curso do pistão em cm, pela área do pistão. O resultado dará o volume em cm³.

$$\text{Volume do cilindro} = \frac{\text{Área do pistão} \times \text{Curso}}{\text{cm}^2 \quad \text{cm}} \quad \text{cm}^3$$

Na ilustração, o pistão superior deve avançar a uma distância de 5,0 cm para fazer o pistão inferior avançar 2,5 cm. O pistão superior desloca 325 cm³ de líquido e o pistão inferior desloca a mesma quantidade.



Velocidade da haste

A velocidade da haste de um cilindro é determinada pela velocidade com que um dado volume de líquido pode ser introduzido na camisa para empurrar o pistão.

A expressão que descreve a velocidade da haste do pistão é:

$$\text{Velocidade da haste} = \frac{\text{Vazão (l/min)} \times 1.000}{\text{Área do pistão (cm}^2\text{)}} \quad \text{cm/min}$$

Dimensionamento de um cilindro hidráulico

Dados necessários:

- Carga (força necessária) do cilindro;
- Tipo de montagem e fixação do cilindro;
- Curso do cilindro;
- Pressão de trabalho.

Procedimentos

- 1) Consultar fator de curso conforme tipo de montagem e fixação do cilindro na **Tabela 1, abaixo;**
- 2) Selecionar o diâmetro da haste do cilindro no **Gráfico de seleção de haste e tubo de parada, página 125;**
- 3) Encontrar o diâmetro do cilindro nas **Tabelas 2 e 3, página 126.**

Tabela 1

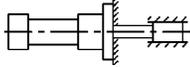
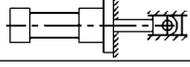
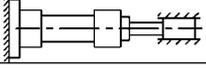
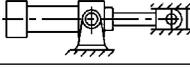
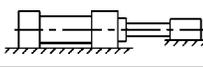
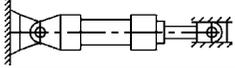
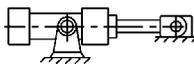
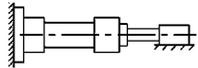
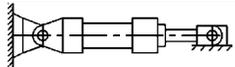
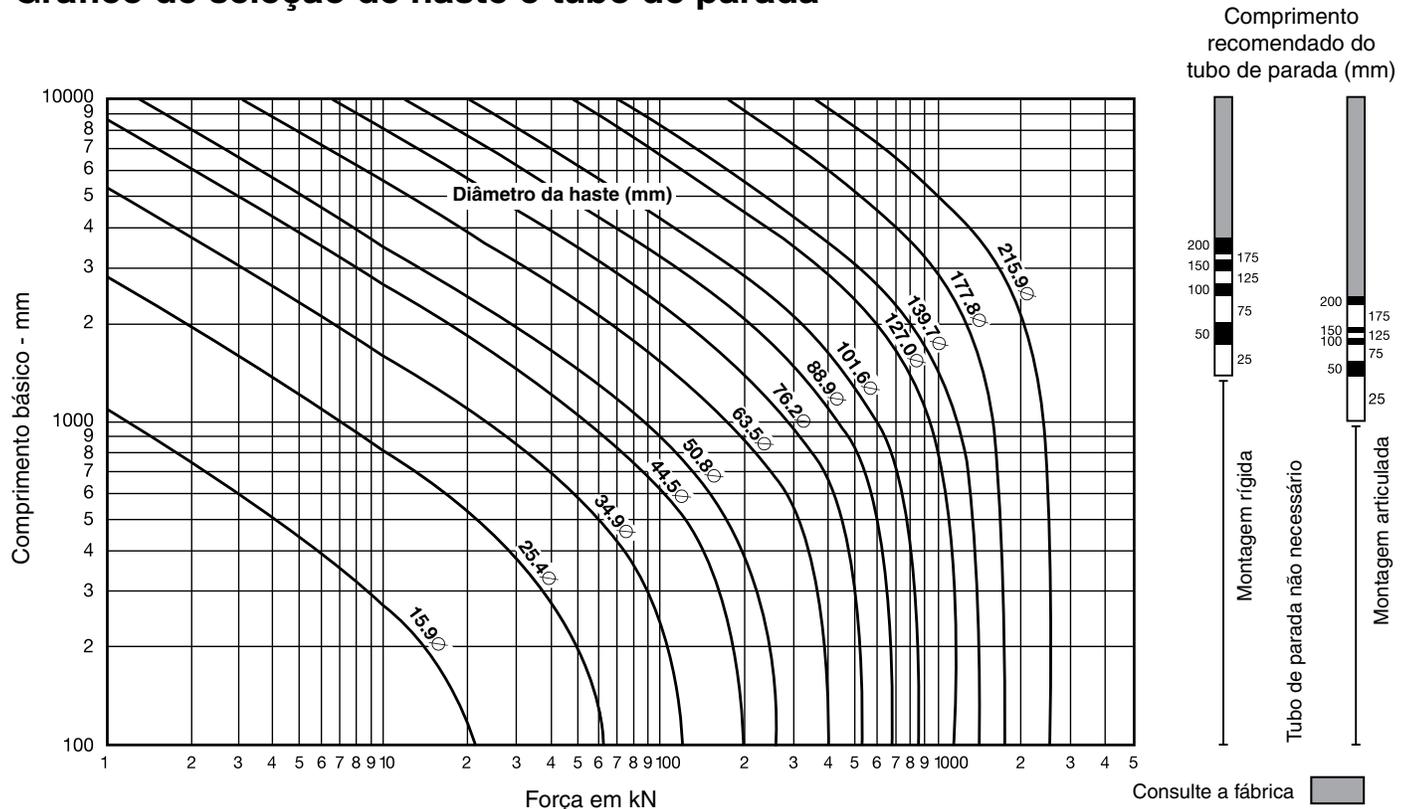
	Tipo de montagem	Tipo de fixação do cilindro	Fator de curso
Fixa e guiada rigidamente	TB, TD, C, J e JB		0,5
Articulada e guiada rigidamente	TB, TD, C, J e JB		0,7
Fixa e guiada rigidamente	TC, H e HB		1,0
Articulada e guiada rigidamente	D		1,0
Articulada e guiada rigidamente	TC, H, HB e DD		1,5
Suportada, porém não guiada rigidamente	TB, TD, C e J		2,0
Articulada e guiada rigidamente	BB, DB, SB, SBa e SBb		2,0
Articulada e suportada, porém não guiada rigidamente	DD		3,0
Fixa, porém não guiada rigidamente	TC, H e HB		4,0
Articulada, porém não guiada rigidamente	BB, DB, SB, SBa e SBb		4,0

Gráfico de seleção de haste e tubo de parada



Como usar o gráfico

- Determinar o tipo de montagem do cilindro e a montagem da extremidade da haste a ser usada. Em seguida, consultar a **Tabela 1 (página 124)** e determinar o "fator de curso" que corresponde às condições usadas.
- Usando esse fator de curso, determinar o "comprimento básico" a partir da equação:
comprimento básico = curso real x fator de curso
 Para cilindros com extensão de haste acrescentar ao curso real o valor da extensão.
- Determinar a força axial aplicada no avanço multiplicando a área total do cilindro pela pressão do sistema, ou consultando as **Tabelas 2 e 3 (página 126)**.
- Entrar no gráfico ao longo dos valores de "comprimento básico" e "força" encontrando o ponto de intersecção:
 - O diâmetro da haste do cilindro é lido na curva "Diâmetro da haste" logo acima do ponto de intersecção.
 - O comprimento necessário do tubo de parada é lido à direita do gráfico nas barras verticais "Comprimento recomendado do tubo de parada" correspondente ao tipo de montagem rígida ou articulada.
 - Se o comprimento necessário do tubo de parada estiver na região com indicação "consultar a fábrica", apresentar as seguintes informações para uma análise individual:
 - Tipo de montagem do cilindro.
 - Fixação da extremidade da haste e tipo de guia da carga.
 - Diâmetro do cilindro, curso, comprimento da extensão da haste.
 - Posição de montagem do cilindro. **Nota:** Se o cilindro estiver em qualquer ângulo ou na vertical, especificar a direção da haste do pistão.
 - Pressão de operação do cilindro.

Tabela 2: Força de avanço teórico e volume do fluido deslocado

Diâmetro do cilindro mm (pol)	Área do pistão cm ²	Força de avanço em newtons e libra-força a várias pressões														Desloc. p/ 10 mm de curso ml
		5 bar N	10 bar N	25 bar N	70 bar N	100 bar N	140 bar N	210 bar N	80 psi lbf	100 psi lbf	250 psi lbf	1000 psi lbf	1500 psi lbf	2000 psi lbf	3000 psi lbf	
38,1 (1 1/2)	11,4	570	1140	2850	8000	11400	16000	24000	142	177	443	1770	2651	3540	5310	11,4
50,8 (2)	20,2	1000	2000	5050	14100	20200	28300	42500	251	314	785	3140	4713	6280	9420	20,2
63,5 (2 1/2)	31,7	1580	3150	7900	22200	31700	44400	66600	393	491	1228	4910	7364	9820	14730	31,7
82,6 (3 1/4)	53,6	2680	5350	13400	37500	53500	75000	112500	664	830	2075	8300	12450	16600	24900	53,5
101,6 (4)	81,1	4050	8100	20250	56800	81100	113500	170000	1006	1257	3143	12570	18856	25140	37710	81,1
127,0 (5)	126,7	6350	12700	31600	88500	126700	177000	266000	1571	1964	4910	19640	29460	39280	58920	126,7
152,4 (6)	182,4	9100	18250	45500	127800	182500	255000	383000	2262	2827	7068	28270	42405	56540	84810	182,4

▷ Para determinar a força de retorno do cilindro, subtrair da força de avanço o valor de redução correspondente da tabela abaixo.

Tabela 3: Procedimento análogo deve ser empregado para determinação do volume de fluido deslocado no retorno

Diâmetro do cilindro mm (pol)	Área da haste do pistão cm ²	Valor de redução em newtons e libra-força a várias pressões														Desloc. p/ 10 mm de curso ml
		5 bar N	10 bar N	25 bar N	70 bar N	100 bar N	140 bar N	210 bar N	80 psi lbf	100 psi lbf	250 psi lbf	1000 psi lbf	1500 psi lbf	2000 psi lbf	3000 psi lbf	
15,9 (5/8)	2,0	100	200	500	1400	2000	2800	4200	25	31	77	307	461	614	921	2,0
25,4 (1)	5,0	250	500	1250	3500	5000	7000	10500	65	79	196	785	1177	1570	2355	5,0
34,9 (1 3/8)	9,6	480	960	2400	6750	9600	13450	20200	119	149	373	1490	2235	2980	4470	9,7
44,5 (1 3/4)	15,6	780	1560	3900	10900	15600	21900	32800	193	241	603	2410	3615	4820	7230	15,6
50,8 (2)	20,2	1000	2000	5050	14100	20200	28300	42500	251	314	785	3140	4713	6280	9420	20,2
63,5 (2 1/2)	31,7	1580	3150	7900	22200	31700	44400	66600	393	491	1228	4910	7365	9820	14730	31,7
76,2 (3)	45,6	2300	4600	11400	32000	45600	63800	95800	566	707	1767	7070	10605	14140	21210	45,6
101,6 (4)	81,1	4050	8100	20250	56800	81100	113500	171000	1006	1257	3143	12570	18855	25140	37710	81,1

Fórmulas

Para o cálculo da área do pistão

$$A \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{\pi \cdot D^2 \text{ (cm)}}{4}$$

Para o cálculo da força do cilindro

$$F \text{ (kgf)} = P \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \cdot A \text{ (cm}^2\text{)}$$

Para o cálculo da velocidade da haste

$$V \text{ (dm/min)} = \frac{L \text{ (dm)}}{T \text{ (min)}}$$

Para o cálculo da vazão da bomba

$$Q \text{ (l/min)} = V \text{ (dm/min)} \cdot A \text{ (dm}^2\text{)}$$

Para o cálculo da potência do motor elétrico

$$N \text{ (cv)} = \frac{Q \text{ (l/min)} \cdot P \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}{456}$$

Para o cálculo do diâmetro interno da tubulação

- Velocidades recomendadas para o fluxo do óleo na tubulação
 Linha de pressão: 2400 dm/min (4 m/s)
 Linha de retorno: 1800 dm/min (3 m/s)
 Linha de sucção: 600 dm/min (1 m/s)

Para cálculo da área

Para cálculo do diâmetro

$$A \text{ (dm}^2\text{)} = \frac{Q \text{ (l/min)}}{V \text{ (dm/min)}} \quad D \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{A \text{ (mm}^2\text{)} \cdot 4}{\pi}}$$

Para o cálculo do volume do resertário

O volume do reservatório deve ser de 2 a 4 vezes a vazão da bomba

Onde:

- F = Força
- P = Pressão
- Q = Vazão
- V = Velocidade
- N = Potência
- A = Área
- D = Diâmetro
- L = Curso
- T = Tempo

Nota: 1 dm³ = 1 litro

Atuadores rotativos

Até agora discutimos sobre os atuadores lineares que são conhecidos como cilindros. Daqui em diante vamos falar sobre 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.

Campo de aplicação

São utilizados para:

- Manuseio de material;
- Máquina ferramenta;
- Maquinaria de borracha e plástico;
- Equipamento mobil;
- Robótica;
- Empacotamento;
- Comutação de válvula;
- Indústria múltiplo-processo;
- Marinha comercial/militar;
- Processamento de alimento;
- Fabricação de componentes eletrônicos;
- Linhas de transferência.

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

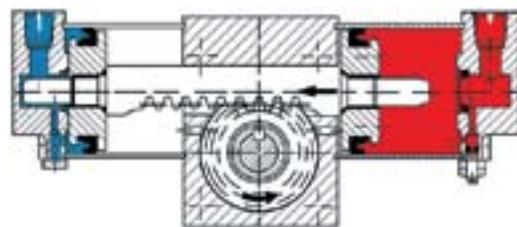


Um tipo muito comum de atuador rotativo é chamado de atuador de cremalheira e pinhão.

Esse tipo especial de atuador rotativo fornece um torque uniforme em ambas as direções e através de todo o campo de rotação.

Nesse mecanismo, a pressão do fluido acionará um pistão que está ligado à cremalheira que gira o pinhão.

Unidades de cremalheira e pinhão do tipo *standard* podem ser encontradas em rotações de 90, 180, 360 graus ou mais. As variações dos atuadores de cremalheira e pinhão podem produzir unidades com saídas de torque de até 60×10^4 kgf.m.



Oscilador de palheta

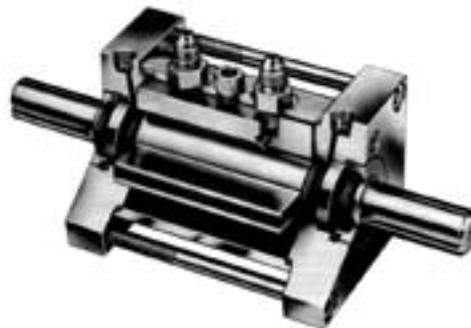
Tipos

Palheta simples Palheta dupla

Estes modelos são providos de máximo valor de saída de torque para um tamanho reduzido.

Utilizados para uma grande variedade de aplicações industriais, são disponíveis em modelo de palheta simples e possui um ângulo de rotação máxima de 280° .

A unidade de palheta dupla produz em dobro o torque de saída para uma mesma dimensão de carcaça e tem um giro máximo limitado a 100° .



Motores hidráulicos



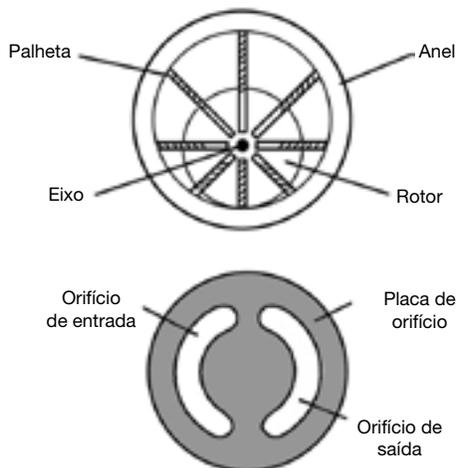
Os motores hidráulicos transformam a energia de trabalho hidráulico em energia mecânica rotativa, que é aplicada ao objeto resistivo por meio de um eixo.

Todos os motores consistem basicamente em uma carcaça com conexões de entrada e saída e em um conjunto rotativo ligado a um eixo.

Motor tipo palheta ilustrado, consiste em um rotor e em palhetas que podem deslocar-se para dentro e para fora nos alojamentos das palhetas.

Tipos de motores hidráulicos

Motor de palheta

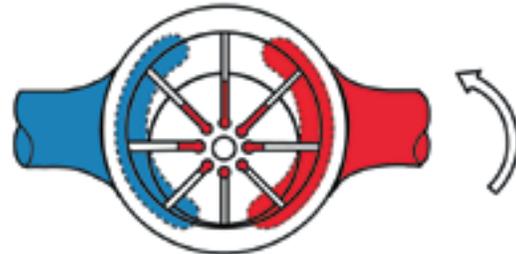


Funcionamento

O rotor do motor é montado em um centro que está deslocado do centro da carcaça. O eixo do rotor está ligado a um objeto que oferece resistência.

Conforme o fluido passa pela conexão de entrada, a energia de trabalho hidráulica atua em qualquer parte da palheta exposta no lado da entrada.

Uma vez que a palheta superior tem maior área exposta à pressão, a força do rotor fica desbalanceada e o rotor gira.



Conforme o líquido alcança a conexão de saída, onde está ocorrendo diminuição do volume, o líquido é recolocado.

Nota:

Antes que um motor deste tipo possa operar, as palhetas devem ser estendidas previamente e uma vedação positiva deve existir entre as palhetas e a carcaça.

Extensão das palhetas do motor

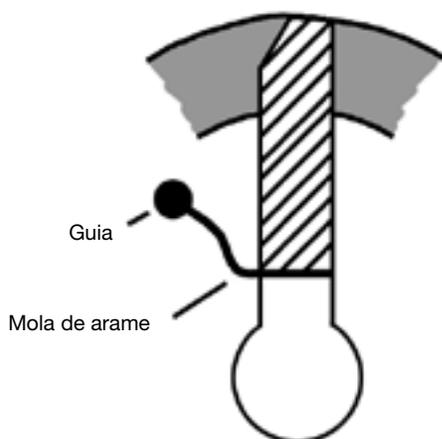
Antes que um motor de palheta entre em operação, as suas palhetas devem ser estendidas. Diferentemente de uma bomba de palheta, não se pode depender da força centrífuga para estender as palhetas e criar uma vedação positiva entre o cilindro e o topo da palheta. Outro meio deve ser encontrado para isto.

Existem dois métodos comuns para estender as palhetas num motor. Um deles é estender as palhetas por meio de molas, de modo que elas permaneçam continuamente estendidas. O outro método é o de dirigir pressão hidráulica para o lado inferior das palhetas. Em alguns motores de palhetas, o carregamento por mola é realizado posicionando-se uma mola espiral na ranhura da palheta.



Outra maneira de estender uma palheta é usando-se uma pequena mola de arame. A mola é presa a um guia e se movimenta com a palheta enquanto esta se movimenta para dentro e para fora da ranhura.

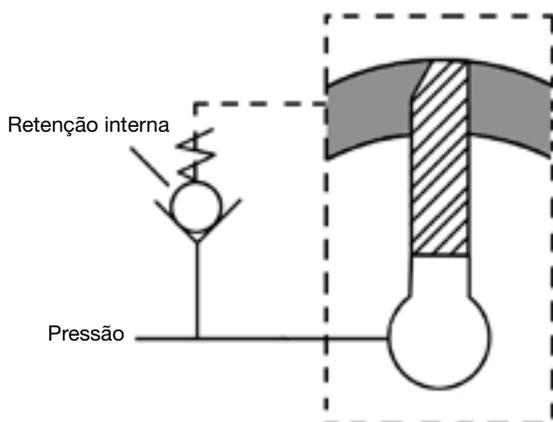
Em ambos os tipos de carregamento por mola, a pressão do fluido é dirigida para o lado inferior da palheta tão logo o torque se desenvolva.



Outro método de estender as palhetas do motor é com o uso de pressão do fluido. Por este método, o fluido é impedido de entrar na ranhura da palheta até que a mesma esteja totalmente estendida e até que haja uma vedação positiva no topo da palheta.

Neste momento, a pressão já existe sob a palheta. Quando a pressão do fluido é suficientemente alta para vencer a força da mola de retenção interna, o fluido entrará na câmara da palheta e desenvolverá um torque no eixo do motor.

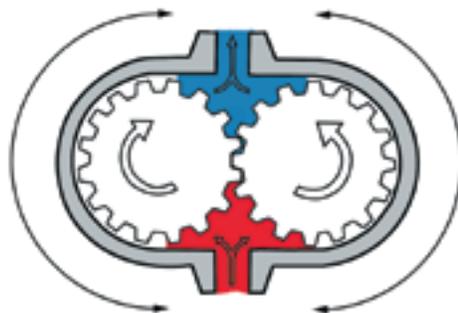
A válvula de retenção interna, nessas circunstâncias, desempenha uma função sequencial.



Motores de engrenagem

Um motor de engrenagem é um motor de deslocamento positivo que desenvolve um torque de saída no seu eixo através da ação da pressão hidráulica nos dentes da engrenagem.

Um motor de engrenagem consiste basicamente em uma carcaça com aberturas de entrada e de saída e um conjunto rotativo composto de duas engrenagens. Uma das engrenagens, a engrenagem motora, é ligada a um eixo que está ligado a uma carga. A outra é a engrenagem movida.



Motor tipo gerotor

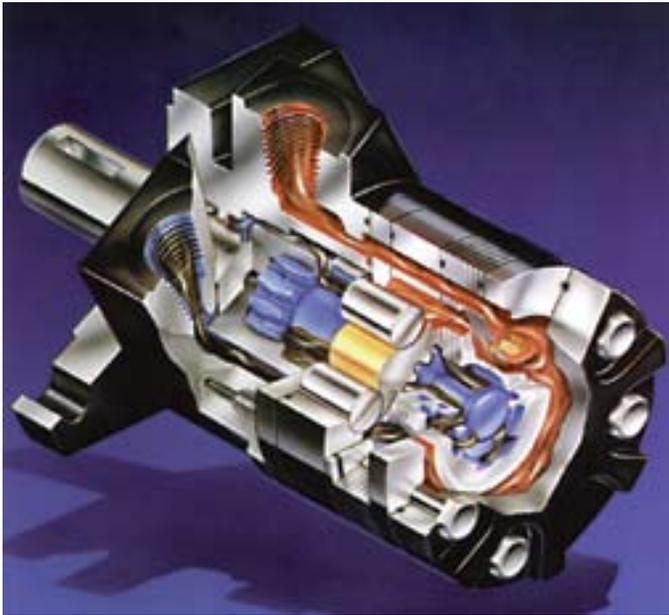


São motores de baixa velocidade e alto torque, utilizam o conceito internamente de rotor gerotor com vantagens construtivas. O rotor, elemento de potência não orbita, somente gira. Esta função é executada pela orbitação do anel externo, eixo feito de uma única peça.

O complexo engrenamento é mantido entre o eixo e o rotor, desde que não haja movimento relativo entre eles. Rolos que vedam entre compartimentos no elemento de potência são ajustados entre o rotor e o anel externo, como ilustrado na próxima figura.

Quando selam entre os compartimentos de alta e baixa pressão, eles agem de maneira similar a uma válvula de retenção.

Quanto maior a pressão, maior a vedação. O rolo está livre para assumir alguma posição no sistema, ainda se alguma mudança devida ao dimensional ocorrer no rotor, a vedação entre o compartimento de alta e baixa pressão não será afetada.



Rendimento desenvolvido

Rolos autovedados garantem alta eficiência volumétrica resultando em menor geração de calor, menos potência perdida, particularmente em altas pressões e fluidos de baixa viscosidade.

Sistema de compensação

O elemento de potência se autocompensa a fim de manter eficiência volumétrica, não se desgastando com o uso, provendo vida longa para o motor.

Aumento da vida do eixo de vedação

Um sistema de válvula de retenção assegura que a vedação do eixo drene através do pórtico de baixa pressão no motor. Se o sistema projetado é igual para ambos os pórticos do motor e simultaneamente são aplicados longos períodos de operação em alta pressão, a linha de dreno externa deve ser conectada para manter uma ótima pressão no eixo de vedação, aumentando a vida das vedações.

Resistência do sistema de potência

Construção sólida do eixo com engrenamento eixo-rotor causa uma baixa fadiga nos componentes, devido ao nível de contato entre os componentes.

O resultado é um motor capaz de resistir às mais severas aplicações, incluindo altas cargas de choque e rápidas reversões.

Eixo impulsor

O projeto de eixo motor em uma única peça permite ser prolongado através da tampa traseira para montar um freio, *encoder* ou drive auxiliar.

Válvula simplificada

A válvula do disco de baixa velocidade não é afetada pelo torque, lado de carga ou vestimenta, provendo alta eficiência mecânica ou volumétrica.

Projeto compacto

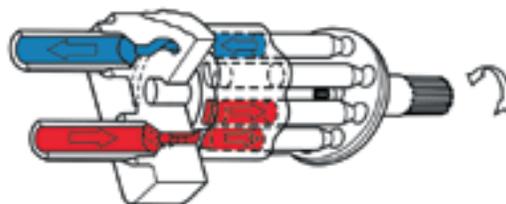
O elemento de potência é um sistema de disco valvulado, permite projeto do mais compacto motor orbital até 30% menor e 52% mais leve que os outros motores.

Motores de pistão axial



O motor de pistão é um motor de deslocamento positivo que desenvolve um torque de saída no seu eixo por meio da pressão hidráulica que age nos pistões

O conjunto rotativo de um motor de pistão consiste basicamente de placa de deslizamento, tambor de cilindro, pistões, placa retentora, mola de retenção, placa de orifício e eixo.



Motores de pistão radial Denison Calzoni

Motores hidráulicos de altíssimo torque e baixa rotação.



Os motores hidráulicos trabalham no princípio inverso de uma bomba hidráulica

Características técnicas

Deslocamento	32 a 23,036 cm ³ /rot
Rotação máxima	1400 rpm
Pressão máxima	4400 PSI (304 bar)
Potência	348,7 hp

Especificações

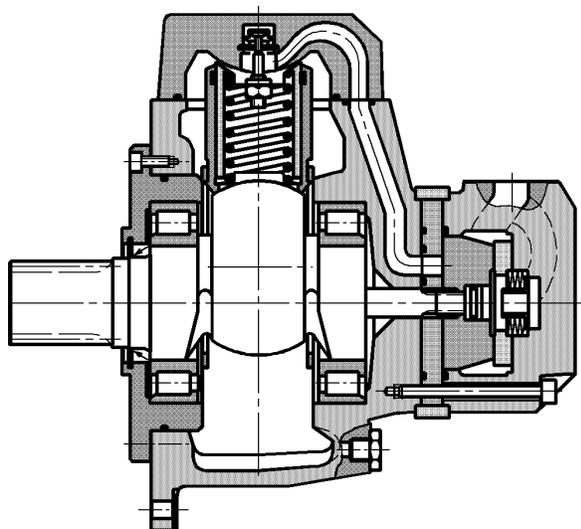
5 pistões

Extensiva gama de deslocamentos

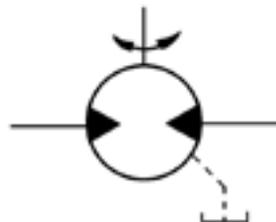
Torque teórico inicial 90 a 95%

Resistente a choques térmicos 176° F

Robusto



Drenos de motor



Os motores usados em sistemas hidráulicos industriais são quase que exclusivamente projetados para serem bidirecionais (operando em ambas as direções).

Mesmo aqueles motores que operam em sistema de uma só direção (unidirecional) são provavelmente motores bidirecionais de projeto.

Com a finalidade de proteger a sua vedação do eixo, os motores bidirecionais, de engrenagem de palheta e de pistão são, de modo geral, drenados externamente.

Cálculos dos motores hidráulicos

Torque

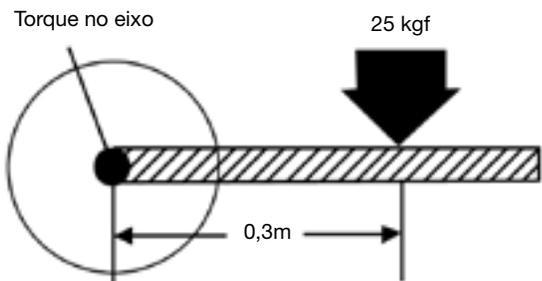
O torque é um esforço rotativo e indica que há uma força presente a uma dada distância do eixo do motor.

Uma unidade para medir o torque é Newton x metro, ou Nm. Para se conseguir o valor em N, basta multiplicar o peso em Kgf por 9,81.

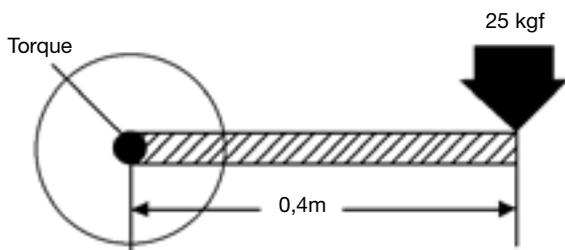
O torque nos diz onde a força está localizada em relação ao eixo do motor. A expressão que descreve o torque é:

$$\text{Torque} = \text{força} \times \text{distância ao eixo} \\ \text{ou} \\ \text{Kgf m} = \text{Kgf} \times \text{m}$$

Na ilustração, a força de 25 kgf está posicionada sobre uma barra, a qual está ligada ao eixo do motor. A distância entre o eixo e a força é de 0,3 m. Isso resulta num torque no eixo de 7,5 kgf.m



Se o peso de 25 kgf estivesse colocado a 0,4 m, sobre a barra, o esforço de giro ou torque gerado no eixo seria igual a um esforço de torção no eixo de 10 kgf.m. Destes exemplos podemos concluir que, quanto mais distante a força está do eixo, maior é o torque no eixo. Deve-se notar que o torque não envolve movimento.



Um objeto resistivo ligado ao eixo de um motor gera um torque, no modo em que foi explicado acima. Isso, naturalmente, é uma resistência que o motor deve vencer pela pressão hidráulica que age sobre o conjunto rotativo.

A expressão usada para descrever o torque gerado por um motor hidráulico é:

$$\text{Torque (kgf.m)} = \frac{\text{Pressão x deslocamento}}{2 \pi \times 100} = \frac{\text{kgf/cm}^2 \times \text{cm}^3/\text{rotação}}{200 \pi}$$

Velocidade do eixo do motor

A velocidade pela qual o eixo de um motor gira é determinada pela expressão:

$$\text{Velocidade do eixo do motor (rpm)} = \frac{\text{Vazão (l/min)} \times 1.000}{\text{Deslocamento do motor (cm}^3 / \text{revolução)}}$$

Potência

O trabalho realizado por unidade de tempo chama-se potência.

$$\left(\frac{\text{kgf.m}}{9,81 \text{ s}} = \text{watt} \right)$$

A máquina que realiza o trabalho requerido em 3 segundos gera mais potência do que a máquina que realiza o mesmo trabalho em 3 minutos.

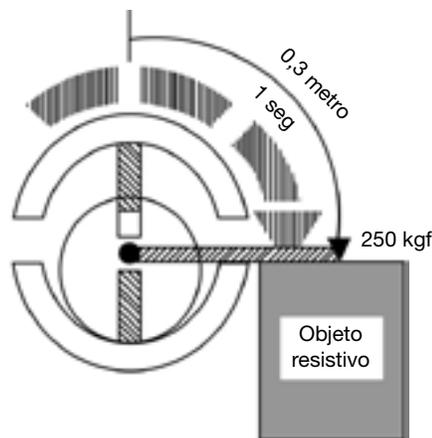
Potência mecânica

A unidade de potência mecânica é o :

$$\frac{\text{kgf.m}}{\text{s}} : 9,81 = \frac{\text{joule}}{\text{s}} = \text{W}$$

Obs.: O cavalo - vapor é uma medida de potência muito usada e equivale a:

$$1 \text{ cv} = 735,75 \text{ W} = \frac{75 \text{ kgf.m}}{\text{s}}$$



Se um cilindro ou um motor hidráulico aplica uma força mecânica de 250 kgf contra uma carga resistível à distância de 0,3 metros no tempo de um segundo, a potência gerada é de 250 kgf x 0,3 m/s = 75,0 kgf.m/s ou 736 J/s ou 736 W. A potência equivale a:

$$\frac{736 \text{ W}}{746 \text{ W/HP}} = 0,986 \text{ HP}$$

Se o mesmo trabalho fosse realizado em meio segundo a potência desenvolvida seria de 1472 W ou 1,972 HP.

Equivalência em potência elétrica e calor

1 CV = 0,986 HP

1 CV = 4.500 kgm/mim ou 75 kgm/s

1 CV = 736 W (potência elétrica)

1 CV = 41,8 BTU/min = 10,52 kcal/s

1 HP = 33.000 lb pé por minuto

1 HP = 746 W

1 HP = 42,4 BTU/min

Potência hidráulica

A potência hidráulica transmitida por um cilindro ou motor a um objeto resistível será também a potência hidráulica requerida no cilindro ou no motor.

Um sistema hidráulico realizando trabalho à razão de 736 kgf.m/seg ou 736 W gera essa potência também equivalente a 1 CV. Contudo, ao invés de usar os termos Nm, relativo à potência mecânica, utilize litros por minuto e kgf/cm² (pressão). Também, o cálculo dessas fórmulas pode ser realizado com a aplicação de fatores de conversão.

Cálculo de potência de cilindros e sistemas

Para calcular a potência desenvolvida por um cilindro hidráulico, ou a total do sistema hidráulico, a seguinte expressão é usada:

$$CV = \frac{\text{Potência} = \text{Vazão} \times \text{Pressão}}{\text{Vazão (l/min)} \times \text{Pressão (kgf/cm}^2\text{)}} \times 456$$

Cálculo da potência do motor

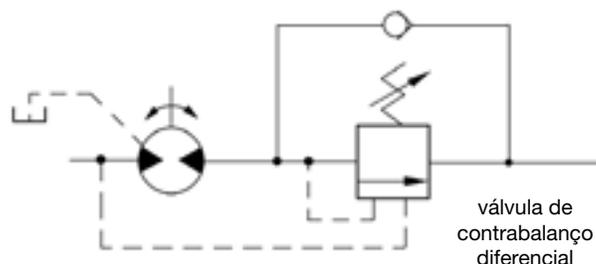
Para calcular a potência desenvolvida por um motor hidráulico, a seguinte expressão é usada:

$$\text{Potência (CV)} = \frac{\text{rpm} \times \text{torque (kgf.m)}}{729}$$

A constante 456 dá a relação kgf/cm², l/min e HP. Para um motor hidráulico a força da saída é dada pelo torque. A velocidade de operação do motor é indicada por rpm. A constante 729 dá a relação entre rpm, torque e potência.

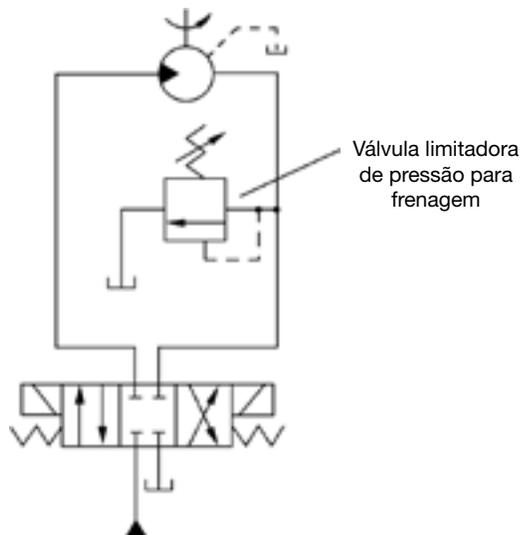
Motores hidráulicos no circuito

Uma das maiores preocupações com relação aos circuitos de motor é o controle da carga ligada ao eixo do motor. Uma válvula de contrabalanço diferencial impedirá que a carga escape do controle e também permitirá que o motor desenvolva torque pleno.



Uma válvula de contrabalanço diferencial detecta a carga. Ela responde automaticamente à demanda da carga. Muitas vezes, a função de frenagem tem que ser um processo de escolha racional, mais do que uma generalização técnica.

Por exemplo, num sistema transportador, onde a carga é estática e a frenagem é requerida só eventualmente, uma válvula direcional pode ser selecionada com a função de frenagem.

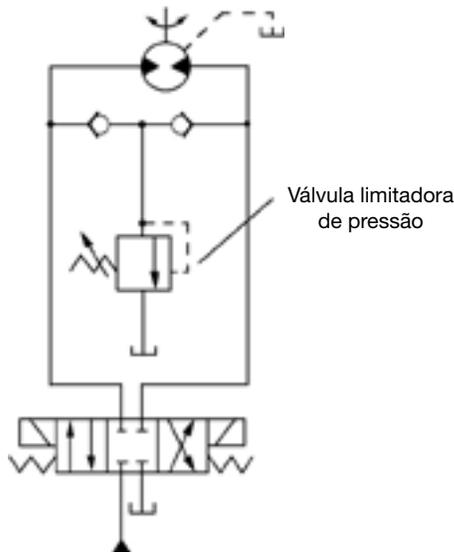


A frenagem é realizada por acionamento da válvula direcional, geralmente para a sua posição central e pelo bloqueio do fluxo que sai do motor.

Quando a pressão na saída do motor aumenta até o valor de regulagem da válvula limitadora de pressão, a válvula se abre e freia o motor.

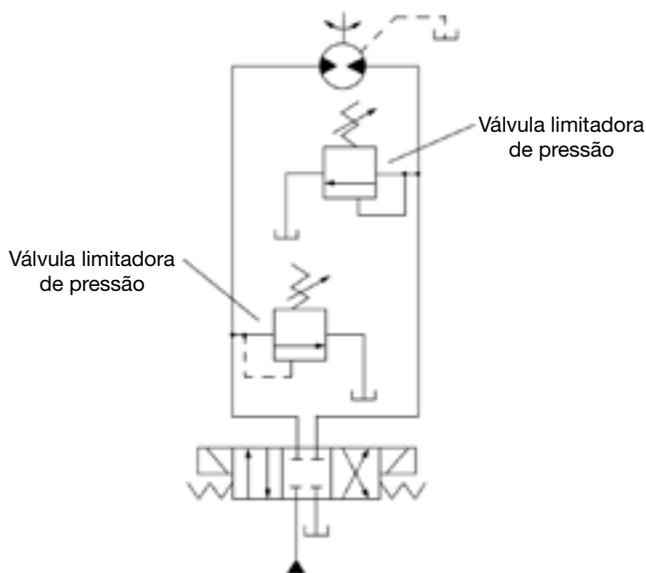
Se o motor precisar ser freado nas duas direções, uma válvula limitadora de pressão pode ser conectada,

através das válvulas de retenção, a ambas as linhas do motor. Independentemente do modo que o motor é girado, a frenagem é realizada pela mesma válvula.



Em algumas aplicações há necessidade de duas pressões de frenagem. Por exemplo, um transportador quando é carregado em uma direção e descarregado na direção oposta, precisaria de duas diferentes pressões de frenagem para tornar mais eficiente o aproveitamento do seu tempo de ciclo.

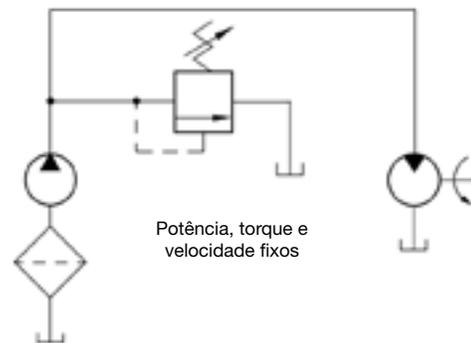
Quando duas pressões de frenagem diferentes são requeridas, duas válvulas limitadoras de pressão são conectadas nas linhas do motor. As válvulas limitadoras de pressão aplicadas desta maneira podem também ser usadas para posicionar os pontos de início e de parada, com cargas diferentes em direções opostas.



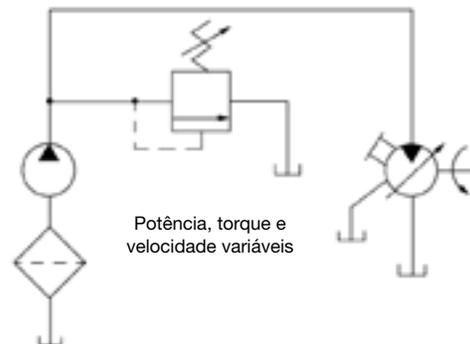
Nota:
A regulagem das válvulas limitadoras de pressão deve ser mais alta do que a regulagem da válvula limitadora de pressão do sistema.

Combinação motor-bomba

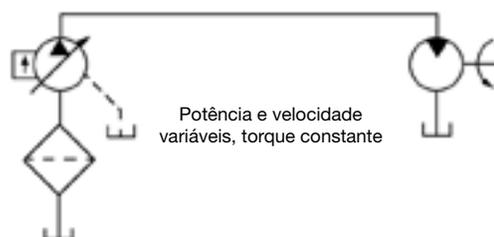
Vários tipos de bombas e motores podem ser combinados para que possam satisfazer às exigências de sistemas diferentes. Uma bomba de deslocamento constante usada com um motor de deslocamento fixo, resulta em potência hidráulica fixa desenvolvida pela bomba. O torque e a taxa do eixo são constantes no motor.



Uma bomba de deslocamento constante combinada com um motor de deslocamento variável resulta em potência hidráulica fixa que é remetida para o motor. Nesse caso, a taxa do eixo e o torque são variáveis no motor.



Uma bomba de deslocamento variável usada com um motor de deslocamento fixo resulta num torque constante no motor. Visto que a taxa de fluxo da bomba pode ser alterada, a potência remetida ao motor e a taxa do eixo do motor podem ser variadas. Um sistema que usa tanto uma bomba de deslocamento variável como um motor de deslocamento variável tem flexibilidade de variação da taxa do torque e da energia.

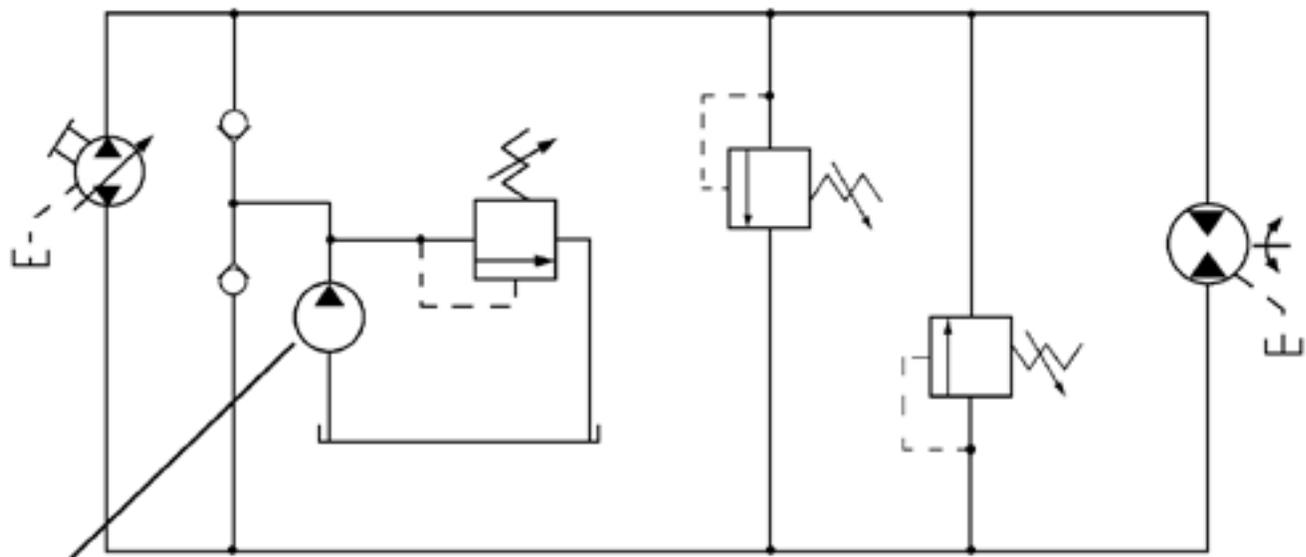


Transmissão hidrostática

Na terminologia comum, todas as vezes que uma bomba de deslocamento variável ou um motor são usados num circuito motor-bomba, o sistema é classificado como sendo de **transmissão hidrostática**.

Numa transmissão hidrostática de circuito fechado, como a ilustrada, uma bomba de deslocamento variável pode variar a taxa do eixo do motor, bem como reverter a rotação do eixo. Em sistemas de circuito fechado desta natureza, uma bomba pequena, conhecida como bomba de reabastecimento, é usada para repor qualquer vazamento que ocorra no sistema.

Transmissões hidrostáticas de circuito fechado são sistemas compactos. Isso porque o reservatório é pequeno, e porque as controladoras de fluxo e as válvulas direcionais não são necessárias para reverter ou controlar a taxa da rotação do eixo.



Bomba de abastecimento

Sistema de circuito fechado

Motores hidráulicos x motores elétricos

Os motores hidráulicos têm certas vantagens sobre os motores elétricos. Algumas destas vantagens são:

1. Reversão instantânea do eixo do motor;
2. Ficar carregado por períodos muito grandes sem danos;
3. Controle de torque em toda a sua faixa de velocidade;
4. Frenagem dinâmica obtida facilmente;
5. Uma relação peso-potência de 0,22 kg/HP comparada a uma relação peso-potência de 4,5 kg/HP para motores elétricos.

Generalização sobre atuadores hidráulicos

A velocidade do atuador é em função da vazão. A velocidade com a qual a haste de um pistão trabalha é determinada pela vazão de alimentação do volume

desenvolvido pela bomba ao pistão. A velocidade a qual o eixo de um motor hidráulico gira é dependente da vazão (litro/min) da bomba.

A força de ação do atuador é uma função da pressão. A força na saída do atuador, desenvolvida pelo cilindro, é uma função da pressão hidráulica agindo sobre a área do pistão.

A força de ação do eixo de um motor hidráulico é determinada pela quantidade de pressão hidráulica atuando na área exposta do conjunto rotativo do motor.

A potência desenvolvida por um atuador é uma função da velocidade do atuador multiplicada pela força na saída do atuador.

Para um cilindro, a pressão na saída é expressa por kgf/cm². A velocidade da haste é indicada por cm/min.

