

Hidráulica e pneumática

Curso Técnico em Manutenção Eletromecânica – Hidráulica e Pneumática

© SENAI-SP, 2000

Trabalho elaborado pela Escola SENAI “Roberto Simonsen” - Centro Nacional de Tecnologia em Mecânica do Departamento Regional de São Paulo.

Coordenação Geral	Dionisio Pretel
Coordenação	Paulo Roberto Martins
	Valdir Peruzzi
Conteúdo Técnico	Núcleo de Automação Hidráulica e Pneumática - NAHP - UFP 1.06
Organização e editoração	Adriano Ruiz Secco
	Écio Gomes Lemos da Silva
	Silvio Audi

2ª Edição organizada, 2005

Trabalho organizado e editorado por Meios Educacionais e CFPs 5.03, 5.68 e 6.02 da Gerência de Educação da Diretoria Técnica do SENAI-SP.

Coordenação	Airton Almeida de Moraes (GED)
Organização	Lázaro Correia Leite (CFP 5.03)
Capa	José Joaquim Pecegueiro (GED)

Material para validação

Críticas e sugestões: meiosedu@sp.senai.br

SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Departamento Regional de São Paulo Av. Paulista, 1.313 - Cerqueira César São Paulo – SP CEP 01311-923
Telefone	(0XX11) 3146-7000
Telefax	(0XX11) 3146-7230
SENAI on-line	0800-55-1000
E-mail	senai@sp.senai.br
Home page	http://www.sp.senai.br

Sumário

Fundamentos da mecânica dos fluidos	5
Compressores	19
Redes de distribuição de ar comprimido	29
Elementos pneumáticos de trabalho	35
Válvulas	47
Interpretação de circuitos	81
Reservatórios	95
Filtros e peneiras	101
Fluidos hidráulicos	111
Tubos roscados	115
Tubos de aço sem costura	119
Bombas hidráulicas	121
Bombas de engrenagem	125
Bombas de pistões	129
Cilindros	141
Motores hidráulicos	145
Válvula de segurança e descarga (circuitos com acumuladores)	149
Válvula de seqüência de ação direta	151
Válvulas redutoras de pressão (simples e composta)	159
Válvula de contrabalanço de ação direta	165
Válvulas direcionais	169
Montar circuito pneumático com um cilindro de ação simples	175
Montar circuito pneumático com um cilindro de ação dupla	177
Montar circuito pneumático com válvula alternadora (elemento “ou”)	179
Montar circuito pneumático com regulação de velocidade em cilindro de ação simples	181
Montar circuito pneumático com regulação de velocidade em cilindro de ação dupla	183
Montar circuito pneumático utilizando válvula de escape rápido	185

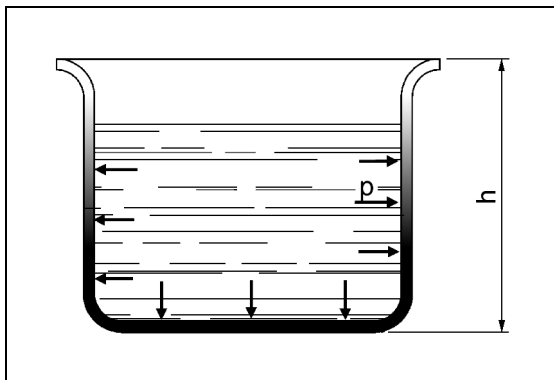
Montar circuito pneumático utilizando válvula de simultaneidade (elemento “e”)	187
Montar circuito pneumático utilizando comando para acionar um cilindro de ação simples	189
Montar circuito pneumático utilizando comando em função de pressão	191
Montar circuito pneumático utilizando comando em função de pressão com fim de curso	193
Montar circuito pneumático utilizando comando em função de tempo	195
Montar circuito hidráulico básico (linear)	197
Montar circuito hidráulico básico (rotativo)	199
Montar circuito hidráulico regenerativo	201
Montar circuito hidráulico com controle de velocidade	203
Montar circuito hidráulico com aproximação rápida, avanço controlado e retorno rápido	205
Montar circuito hidráulico: circuito em seqüência	207
Montar circuito hidráulico: circuito com contrabalanço	209
Montar circuito hidráulico: circuito em seqüência com pressão reduzida para a primeira operação	211
Referências bibliográficas	213

Fundamentos da mecânica dos fluidos

O ramo da Ciência que estuda o comportamento dos fluidos em repouso chama-se fluidostática; e hidrostática é o estudo específico de fluidos líquidos em repouso.

A pressão é força distribuída por área. Pois bem, os líquidos também exercem pressão.

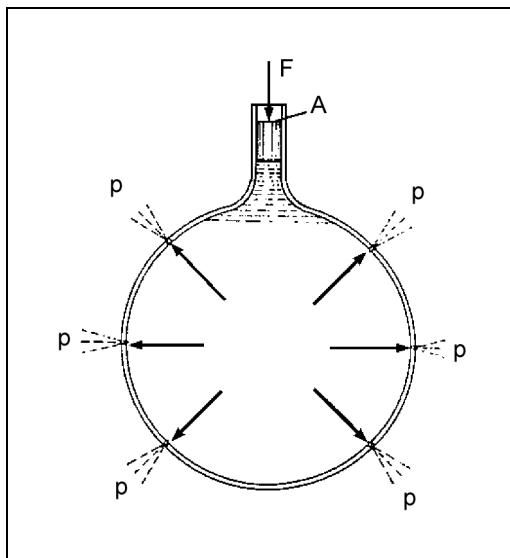
Suponha um recipiente contendo um líquido em equilíbrio. As forças de pressão exercidas pelo fluido sobre a parede são normais a ela. Se assim não fosse, o líquido estaria escorrendo ao longo da parede, o que negaria a hipótese de equilíbrio.



Princípio de Pascal

"A pressão exercida num ponto de um líquido se transmite em igual intensidade em todas as direções."

Assim sendo, ao se aplicar uma força **F** sobre uma superfície **A** de um líquido, cria-se uma pressão **p** que será a mesma em todos os pontos do líquido.

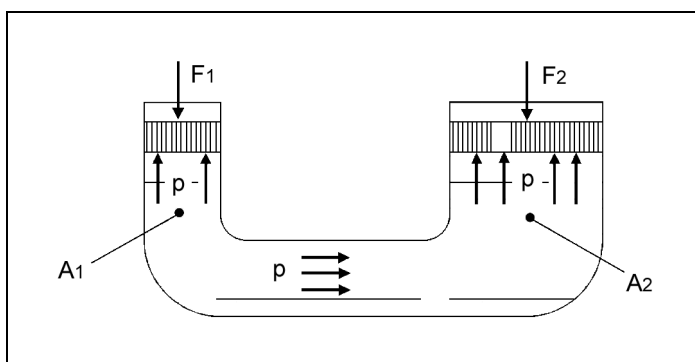


Nesta primeira análise estamos desprezando o peso do líquido.

Aplicação do princípio de Pascal

Uma aplicação do princípio de Pascal é a prensa hidráulica, que permite multiplicar a força aplicada.

A figura abaixo mostra, esquematicamente, o funcionamento de uma prensa hidráulica.



Neste exemplo, os êmbolos têm seções de áreas A_1 e A_2 , sendo $A_2 > A_1$.

Aplicando a força F_1 perpendicularmente ao êmbolo de área A_1 , surgirá a pressão p_1 :

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

De acordo com o princípio de Pascal, essa pressão será transmitida integralmente ao êmbolo de área A_2 , que ficará sujeito à força F_2 .

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

Como a pressão p é a mesma, conclui-se que:

$$p_1 = p_2$$

$$\text{sendo } p_1 = \frac{F_1}{A_1} \text{ e } p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

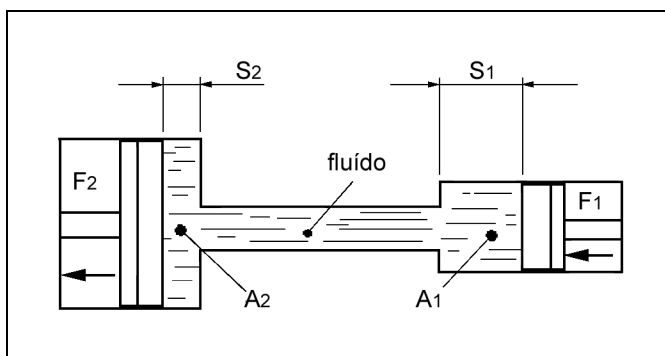
Temos:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \text{logo:} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

Como A_2 é maior que A_1 , isto implica que F_2 seja maior do que F_1 .

$$A_2 > A_1 \Rightarrow F_2 > F_1$$

Outra relação importante é mostrada na figura abaixo. Os deslocamentos S_1 e S_2 dos êmbolos, indica que o volume de líquido deslocado de um lado é igual ao volume de líquido deslocado do outro lado.



$$\text{Isto é: } V_1 = V_2$$

Assim:

$$A_1 \cdot S_1 = A_2 \cdot S_2 \quad \text{logo} \quad \frac{A_1}{A_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

Comparando as expressões anteriores obtemos:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{S_2}{S_1} \text{ e daí: } \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

$$\underbrace{F_1 \times S_1}_{\tau_1} = \underbrace{F_2 \times S_2}_{\tau_2} \text{ de onde concluímos que:}$$

- O trabalho realizado por F_1 sobre o êmbolo 1 é igual ao trabalho realizado por F_2 sobre o êmbolo 2.
- A prensa hidráulica multiplica força. Todavia, não multiplica energia, nem trabalho, nem potência.

Unidades, grandezas e símbolos

Para melhor entender o inter-relacionamento dos processos e equipamentos técnicos, são necessários conhecimentos básicos das características físicas de cada transportador de energia. Para a descrição destas características são necessárias as definições das grandezas físicas, suas unidades e fórmulas.

O sistema adotado pela maioria dos países é o sistema internacional de unidade simbolizado pela sigla SI, mas também são utilizados outros sistemas. Para a área de tecnologia de automatização são importantes as seguintes unidades:

Unidades básicas

Grandeza	Símbolo	Unidade (abreviação)
Comprimento	l, s	metro (m)
Massa	m	quilograma (kg)
Tempo	t	segundo (s)
Temperatura	θ T	grau Celsius (°C) Kelvin (K)

Unidades derivadas

Grandeza	Símbolo	Unidade(abreviação)	
Força	F	Newton (N)	$1N = 1 \text{ kg. m.s}^{-2}$
Pressão	p	Pascal (Pa)	$1Pa = 1 \text{ N/m}^2$
		bar	$1bar = 10\text{N/cm}^2$
Trabalho	τ	joule (J)	$1J = 1\text{N.m}$
Potência	P	watt (W)	$1W = 1\text{N.m.s}^{-1}$

Força

É toda causa capaz de modificar o estado de movimento ou causar deformação. É uma grandeza vetorial e para ser perfeitamente caracterizada devemos conhecer sua intensidade, direção e sentido.

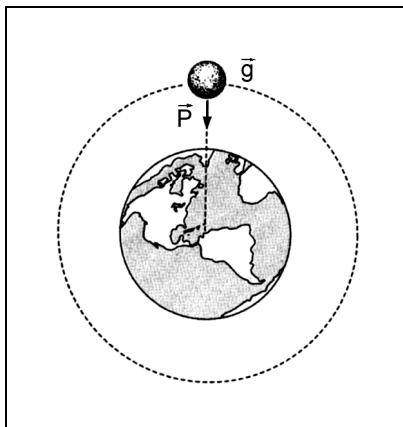
Unidades de força nos sistemas

- Internacional (SI) N (Newton)
- Técnico kgf ou kp (quilograma-força)
- Inglês lb (libra-força)

Peso

Peso de um corpo é a força de atração gravitacional que a terra exerce nos corpos.

Sendo m a massa do corpo e g a aceleração da gravidade da Terra, a intensidade do peso é dada pela fórmula $P = m.g$.



A aceleração da gravidade(g) independe da natureza dos corpos, varia de lugar para lugar de acordo com a altitude, mas seu valor médio no sistema internacional é $9,81 \text{ m/s}^2$ (metros por segundo ao quadrado). Em aplicações técnicas e na resolução de problemas é comum arredondar o valor da aceleração da gravidade(g) para 10 m/s^2 .

Velocidade

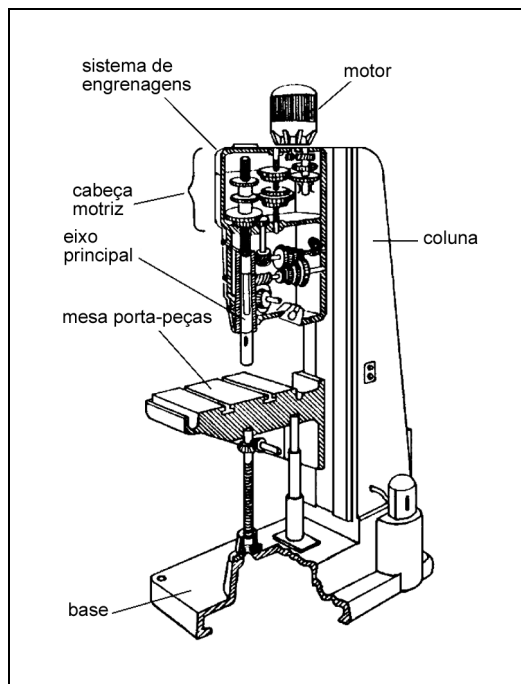
É a relação entre o espaço percorrido por um corpo e o correspondente tempo gasto.

$$v = \frac{s}{t} \text{ onde: } \begin{array}{l} v = \text{velocidade} \\ s = \text{espaço} \\ t = \text{tempo} \end{array}$$

Unidades de velocidade nos sistemas

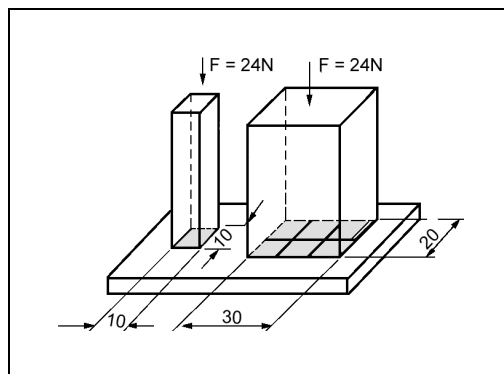
- Internacional: m/s (metros por segundo)
cm/s (centímetros por segundo)
- Inglês: ft/s (pés por segundo) ou pol/s (polegadas por segundo)

A força e a velocidade são os parâmetros mais importantes no dimensionamento de máquinas. Uma furadeira, por exemplo, é dimensionada em função da força necessária para furar o material, e pela velocidade de corte, ou seja a velocidade da broca.



Pressão

Um corpo, ao ser apoiado sobre um plano horizontal, terá o seu peso distribuído uniformemente ao longo da superfície de contato



A força em cada unidade de área recebe o nome de pressão e é calculada pela fórmula:

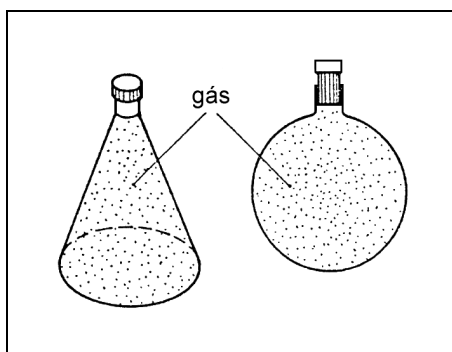
$$p = \frac{F}{A} \text{ onde: } \begin{array}{l} p = \text{pressão} \\ F = \text{força} \\ A = \text{área} \end{array}$$

Unidades de pressão nos sistemas

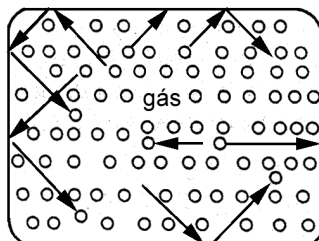
- Internacional: Pa (Pascal)
- Técnico kgf/cm^2 ou kp/cm^2 (quilogramas-força por centímetro quadrado)
- Inglês lb/pol^2 (libras por polegada quadrada)
psi (*pounds per square inch*)

Pressão de um gás

Os gases não possuem forma própria, por serem fluidos. São compressíveis e constituídos de partículas (moléculas, átomos, íons) que se movimentam de forma rápida e desordenada, ocupando sempre o volume total do recipiente que o contém.



As moléculas de um gás ao se movimentarem se chocam entre si e também com as paredes dos recipientes. Ao se chocarem, as moléculas produzem um a espécie de bombardeio sobre essas paredes, gerando, assim uma pressão (p).



Pressão atmosférica

As camadas de ar exercem um peso sobre a superfície da terra. A atmosfera exerce sobre nós uma força equivalente ao seu peso e ela atua em todos os sentidos e direções com a mesma intensidade.

A pressão atmosférica varia de acordo com a altitude, pois em grandes alturas, a massa de ar é menor do que ao nível do mar.

Altitude (m)	Pressão (mbar)
0	1.013
500	955
1.000	899
2.000	795
5.000	540
8.000	356

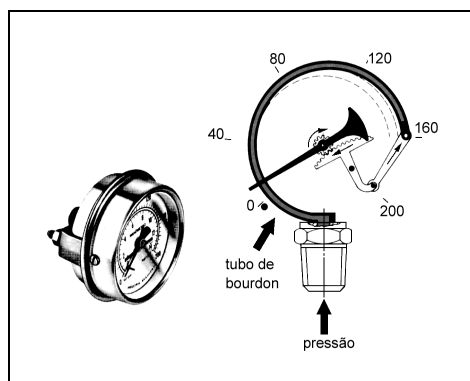
Visto que a altitude e as condições do tempo também alteram a pressão atmosférica, adota-se uma pressão de referência que é pressão atmosférica absoluta ao nível do mar.

Pressão atmosférica absoluta:

- 1.013 mbar;
- 1.013 hPa;
- 760 Torr;
- 1,033 kg/cm²;
- 14,7 psi.

Pressão absoluta e pressão manométrica

A pressão manométrica é a que se lê nos instrumentos de medição (manômetros) em compressores, ou linhas de ar comprimido e também nos catálogos e especificações técnicas.



A pressão manométrica não considera a pressão atmosférica.

A pressão absoluta é soma da pressão atmosférica com a pressão manométrica. Quando representamos a pressão absoluta, acrescentamos o símbolo (a) após a unidade, por exemplo 50 psi (a).

Vazão

A vazão representa o volume deslocado de um fluido numa unidade de tempo.

$$Q = \frac{V}{t} \text{ onde: } \begin{array}{l} Q = \text{vazão} \\ V = \text{volume de fluido deslocado} \\ t = \text{tempo} \end{array}$$

Em tubulações, a vazão do fluido depende da velocidade e da seção transversal do tubo. Assim:

$$Q = v \cdot A \text{ onde: } \begin{array}{l} Q = \text{vazão} \\ v = \text{velocidade} \\ A = \text{área da seção transversal do tubo} \end{array}$$

Em compressores, a vazão representa a quantidade de ar descarregada em um determinado intervalo de tempo, também chamada “capacidade efetiva” ou “ar livre”.

Unidades de vazão nos sistemas

- Internacional (SI) l/min (litros por minuto)
 m³/min (metros cúbicos por minuto)
 m³/h (metros cúbicos por hora)
- Sistema Inglês pcm (pés cúbicos por minuto)
 cfm (*cubic feet per minute*)

Estas unidades se referem a quantidade de ar ou gás comprimido efetivamente nas condições de temperatura e pressão no local onde está instalado o compressor. Como estas condições variam em função da altitude, umidade relativa e temperatura, são definidas condições padrão de medidas, sendo que as mais usadas são:

- Nm³/h (newton metro cúbico por hora) definido a pressão 1,033 kg/cm², temperatura de 0°C e umidade relativa 0%;
- SCFM (*standart cubic feet per minute*) definida a pressão de 14,7 lb/pol² (psi) , temperatura de 60°F e umidade relativa de 0%.

Temperatura

As partículas constituintes dos corpos estão constantemente em movimento, sendo dotadas de uma energia de movimento ou energia de agitação.

A esta energia de agitação das partículas chamamos de energia térmica do corpo.

Entenderemos temperatura como uma medida do estado de agitação das partículas que constituem os corpos. Quanto maior a temperatura, mais agitadas ficam as partículas do corpo.

Quando dois corpos em temperatura diferentes são postos em contato, espontaneamente há transferência de energia térmica (calor) do corpo mais quente para o mais frio até ser atingido o equilíbrio térmico.

Algumas grandezas, como o comprimento, volume, resistência elétrica, variam de acordo com a temperatura, são as grandezas termométricas.

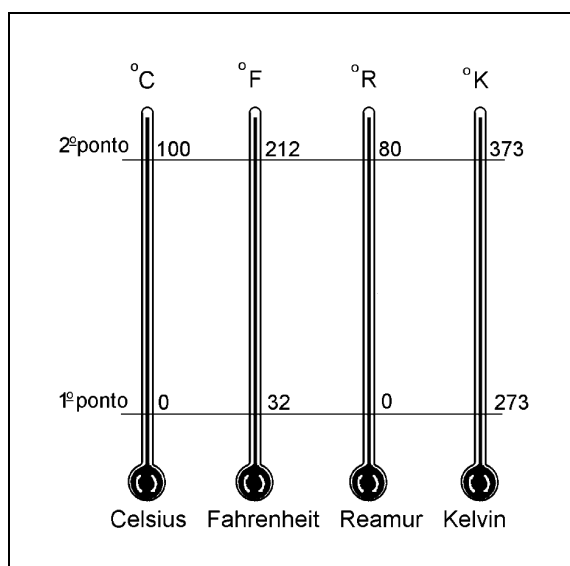
Escalas termométricas

Existem várias escalas termométricas, como por exemplo:

Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), Reaumur ($^{\circ}\text{R}$) e Kelvin ou absoluta (K).

Para se estabelecer uma correspondência entre estas escalas estabelecemos pontos de referência denominados pontos fixos, tais que:

- 1° ponto fixo = temperatura do gelo fundente, sob pressão normal (1atm);
- 2° ponto fixo = temperatura do vapor de água em ebulição, sob pressão normal (1atm).



Para conversão de escalas, usamos a seguinte relação:

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{9} = \frac{^{\circ}\text{R}}{4} = \frac{\text{K} - 273}{5}$$

Variáveis de estado

As variáveis de estado p (pressão), V (volume) e T (temperatura) são grandezas que se relacionam e especificam o estado de uma dada massa gasosa.

Transformações dos gases

Certa massa sofre uma transformação gasosa quando passa a um novo estado, quando ocorrem variações nas grandezas p , V e T .

$$\begin{array}{ccc} p_1 V_1 T_1 & \Rightarrow & p_2 V_2 T_2 \\ \text{estado}_1 & & \text{estado}_2 \end{array}$$

Há casos mais simples em que se fixa uma das grandezas, modificando-se apenas as outras duas.

Transformação isotérmica é aquela na qual a temperatura do gás é mantida constante.

$$T_1 = T_2$$

Transformação isobárica é aquela na qual a pressão do gás é mantida constante.

$$p_1 = p_2$$

Transformação isométrica ou isocórica é aquela na qual o volume do gás é mantido constante.

$$V_1 = V_2$$

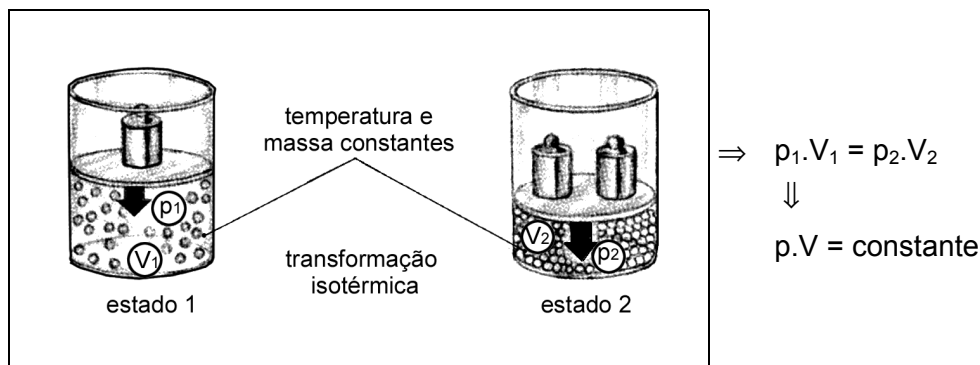
Leis físicas dos gases

Lei de Boyle-Mariotte

A lei de Boyle-Mariotte se aplica às transformações isotérmicas. Ela menciona a influência da pressão sobre o volume de uma massa constante de um mesmo gás, mantido a temperatura constante. Seu enunciado diz:

“À temperatura constante, o volume ocupado por determinada massa gasosa é inversamente proporcional a sua pressão”.

Assim se duplicarmos, por exemplo, a pressão ($p_2 = 2 p_1$), o volume fica reduzido à metade ($V_2 = 1/2 V_1$).

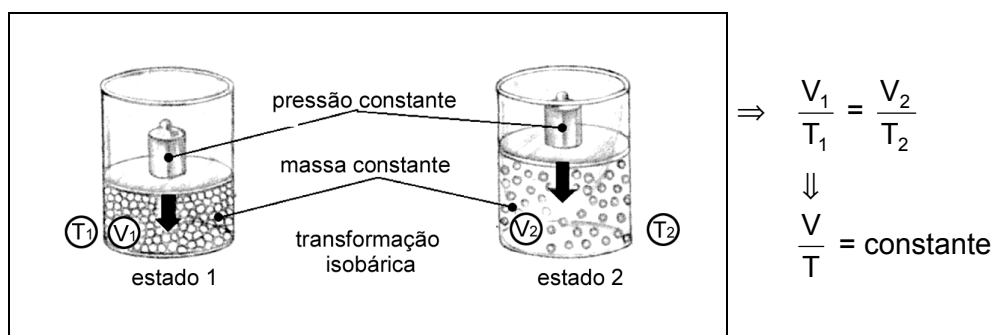


1ª Lei de Charles-Gay-Lussac

A primeira lei de Charles-Gay-Lussac se aplica às transformações isobáricas. Ela menciona a influência da temperatura sobre o volume de uma massa constante de um mesmo gás, que é mantido sob pressão constante. Seu enunciado diz:

“À pressão constante, o volume ocupado por uma determinada massa gasosa é diretamente proporcional a sua temperatura absoluta.”

Assim se duplicarmos, por exemplo, a temperatura absoluta ou Kelvin ($T_2 = 2T_1$), o volume irá também duplicar ($V_2 = 2V_1$)

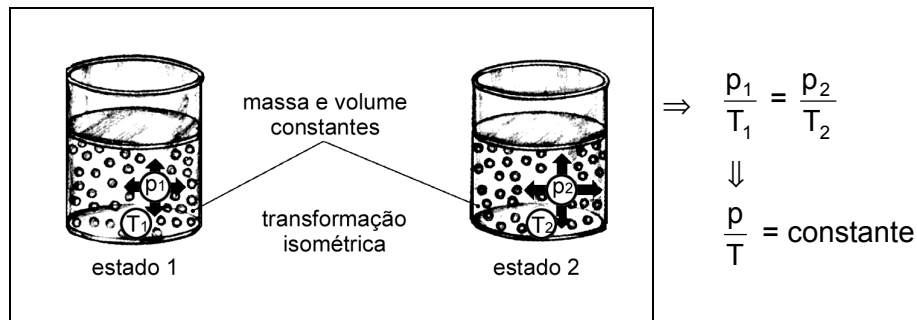


2ª Lei de Charles-Gay-Lussac

A 2ª Lei de Charles-Gay-Lussac se aplica às transformações isométricas ou isocóricas. Ela menciona a influência da temperatura sobre a pressão de uma massa constante de um mesmo gás, que é mantido sob volume constante. Seu enunciado diz:

“A volume constante, a pressão exercida por uma determinada massa gasosa é diretamente proporcional a sua temperatura absoluta.”

Assim, se duplicarmos, por exemplo, a temperatura absoluta ou Kelvin ($T_2 = 2T_1$), a pressão irá, também, duplicar ($p_2 = 2p_1$).



Gases perfeitos ou ideais

Gases perfeitos ou ideais são aqueles que só existem teoricamente e obedecem, rigorosamente, às leis estudadas anteriormente. Os gases reais apresentam comportamento que se aproximam dos ideais, quanto mais baixa for a pressão e mais alta a sua temperatura.

Reunindo-se as leis de Boyle-Mariotte e Charles-Gay-Lussac numa única expressão, para dada massa gasosa, temos a equação geral dos gases perfeitos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \therefore \frac{p \cdot V}{T} = \text{constante}$$

Para o ar comprimido vale também a equação geral dos gases.

Compressores

Para produção do ar comprimido são necessários compressores. Esses comprimem o ar até a pressão de trabalho desejada. A maioria dos acionamentos e comandos pneumáticos funciona através de uma estação central de distribuição de ar comprimido.

Não é necessário calcular nem planejar a transformação e transmissão da energia do ar comprimido para cada equipamento (consumidor) individual. Uma estação compressora fornece o ar comprimido já calculado, para os equipamentos, através de uma tubulação.

Ao projetar a produção ou consumo de ar, devem ser consideradas ampliações e futuras aquisições de novos equipamentos pneumáticos. Uma ampliação posterior da instalação torna-se, geralmente, muito cara.

Nas indústrias de mineração ou para máquinas que mudam freqüentemente de lugar são usadas instalações móveis de ar comprimido.

Muito importante é o grau de pureza do ar. Ar limpo garante uma longa vida útil à instalação. O emprego correto dos diversos tipos de compressores também deve ser considerado.

Os parâmetros de dimensionamento de um compressor são:

- Pressão máxima: é a que o compressor deve atingir. Normalmente é especificada em 1bar (aproximadamente) acima da pressão de trabalho do equipamento a ser acionado. Em casos especiais, pode-se indicar a razão de compressão entre a pressão de descarga (absoluta) e a pressão de entrada (absoluta) do compressor.
- Capacidade efetiva: vazão de ar comprimido no ponto de descarga do compressor, medida nas condições de pressão e temperatura do ar de admissão.

Basicamente existem dois tipos de compressores, classificados de acordo com o processo de compressão do ar:

- Dinâmicos;
- Deslocamento positivo.

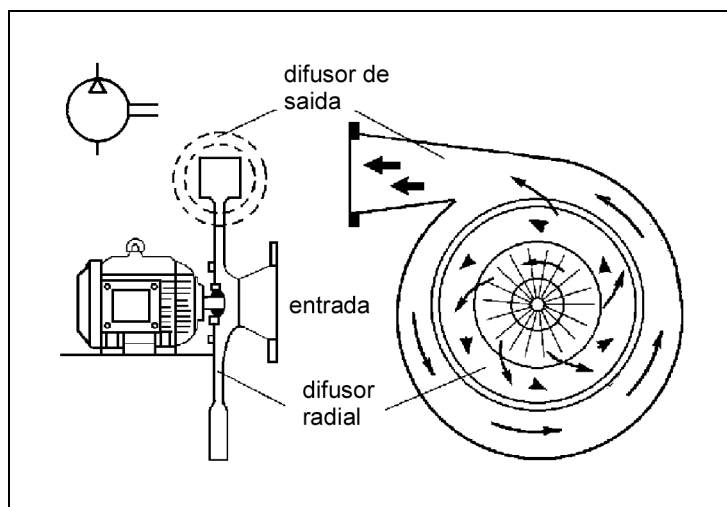
Compressores dinâmicos

Esses compressores trabalham segundo um princípio de aceleração de massa e são adequados para o fornecimento de grandes vazões. Os turbocompressores, como também são chamados, são construídos em duas versões:

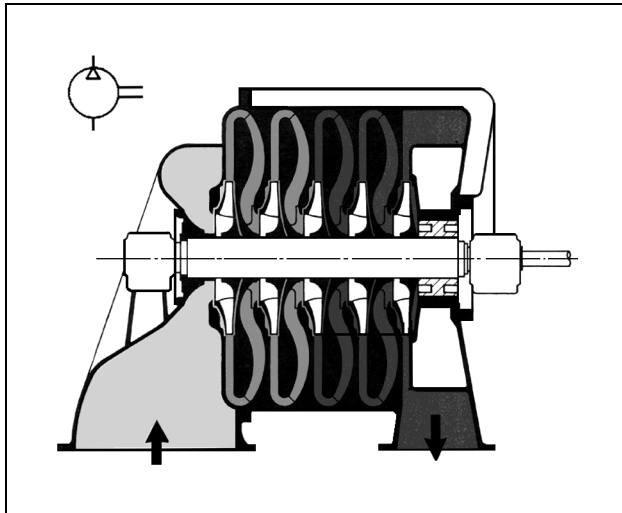
- Radial;
- Axial.

Compressor radial

Este compressor é composto por um rotor com pás inclinadas, como uma turbina. O ar é empurrado pelo rotor devido sua alta rotação e lançado através de um difusor radial. A velocidade é transformada em pressão no rotor, no difusor radial e no de saída.



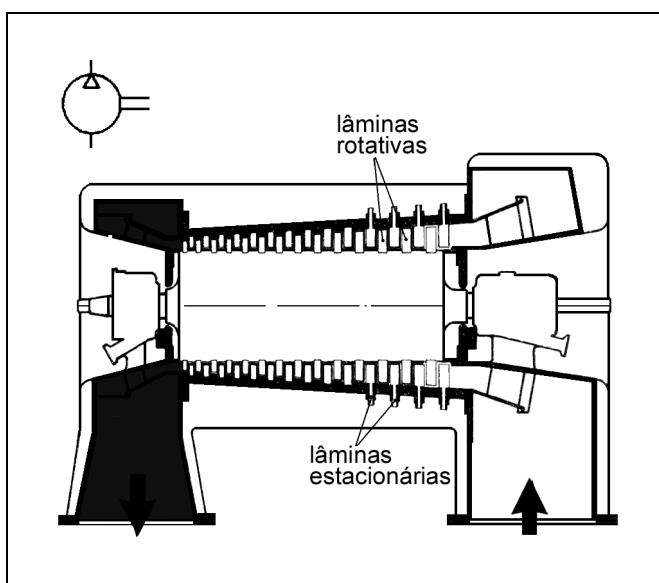
Os compressores centrífugos multiestágio utilizam 2 ou mais rotores montados no mesmo eixo. Cada estágio tem um difusor radial e um canal de retorno separando os rotores.



As principais aplicações desses compressores estão na área de processos que necessitam de grande quantidade de ar.

Compressor axial

Esse tipo de compressor é de grande capacidade e de alta rotação, com características totalmente diferentes do radial. Cada estágio consiste de duas fileiras de lâminas, uma rotativa e outra estacionária. As lâminas do rotor transmitem velocidade e pressão ao ar, e a velocidade é transformada em pressão nas lâminas estacionárias.

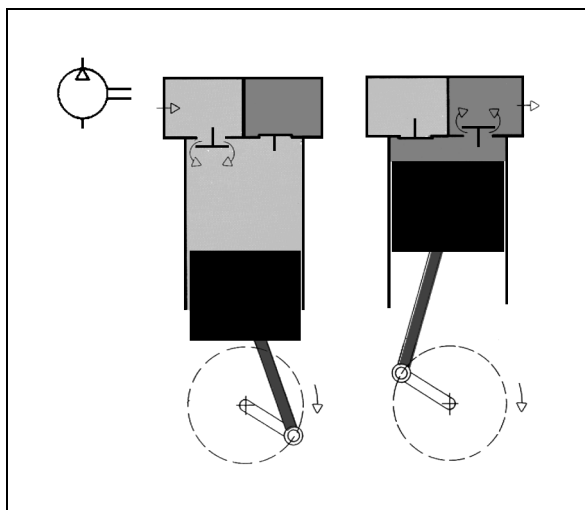


O compressor centrífugo axial é empregado nas indústrias que necessitam de ar a baixa pressão e alta vazão, como túneis de vento, combustão, agitadores, ventilação, resfriamento de gases, petroquímicas.

Compressores de deslocamento positivo

Compressores de êmbolo com movimento linear

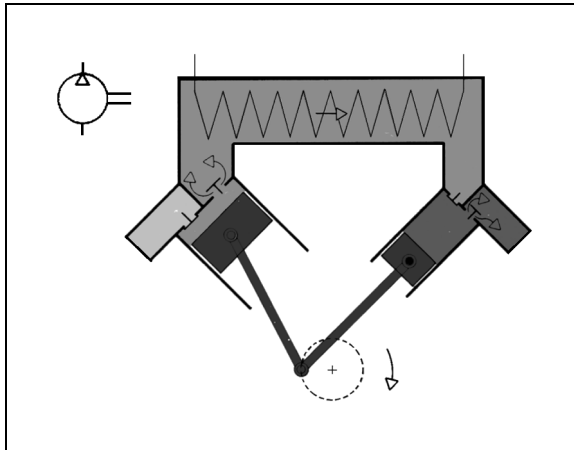
A construção desses compressores está baseada na redução de volume da massa gasosa. Isso significa que o ar da atmosfera é confinado em câmara (s) fechada (s) (câmara de compressão) onde um êmbolo, por exemplo, comprime o ar reduzindo o seu volume, obtendo assim um aumento de pressão.



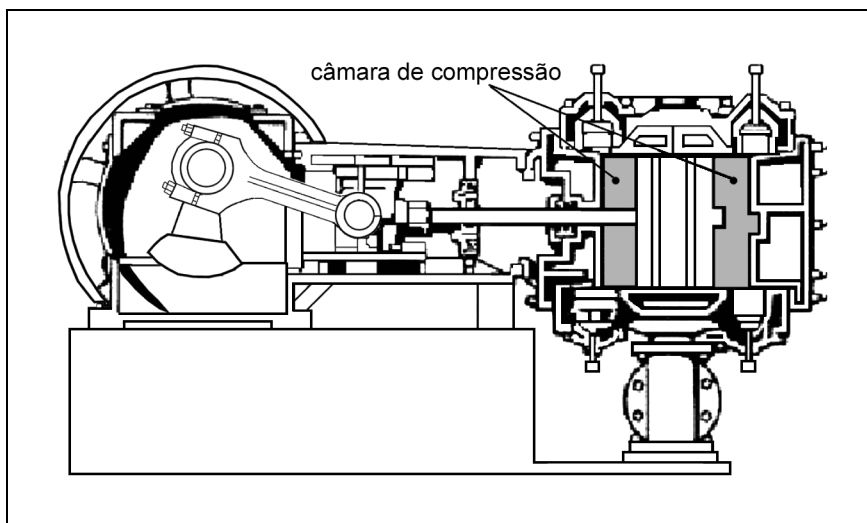
Este tipo de compressor é apropriado não só para baixas e médias pressões, mas também para altas. A faixa de pressão é de cerca de 100kPa (1bar) até milhares de kPa.

Para obter ar a pressões elevadas, são necessários compressores de vários estágios de compressão. O ar aspirado será comprimido pelo primeiro êmbolo (pistão), refrigerado intermediariamente, para logo ser comprimido pelo segundo êmbolo (pistão).

O volume da segunda câmara de compressão é menor em relação ao da primeira. Durante o trabalho de compressão é gerado calor, que tem que ser eliminado pelo sistema de refrigeração.

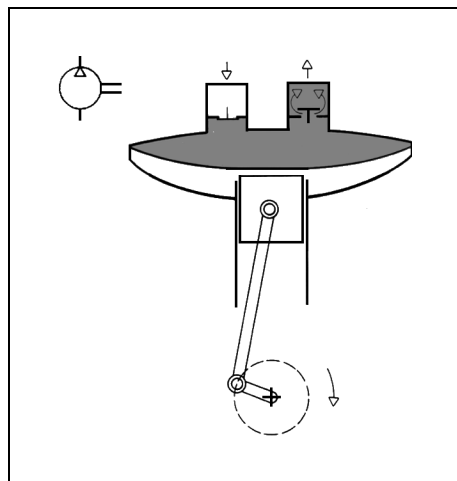


Os compressores de êmbolo com movimento linear podem também ser de duplo efeito, realizando trabalho no avanço e no retorno. Para isso possuem duas câmaras de compressão, uma em cada lado do êmbolo.



Em alguns casos existe a necessidade de ar comprimido de melhor qualidade, isento de resíduos de óleo.

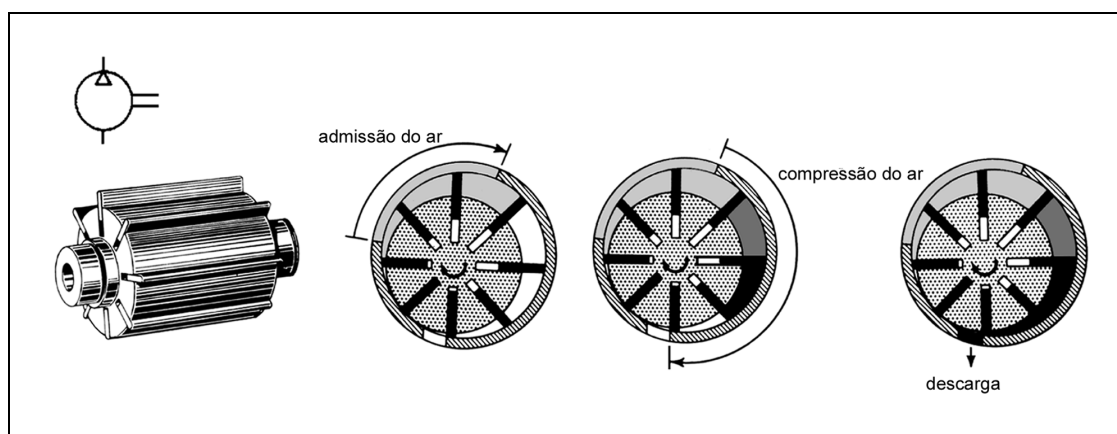
Neste caso é necessário que haja uma separação entre a câmara de sucção/compressão e o êmbolo, o que é conseguido através da utilização de um compressor de membrana.



Compressor de êmbolo rotativo de palhetas deslizantes

O compressor de palhetas consiste de um rotor dotado de ranhuras girando em uma carcaça excêntrica. As palhetas ou lâminas inseridas nas ranhuras podem deslizar livremente. A força centrífuga mantém as palhetas comprimidas contra a superfície interna da carcaça excêntrica, resultando num selo entre os compartimentos formados pelas palhetas. Também as extremidades do rotor são seladas.

A locação excêntrica do rotor em relação à carcaça forma um espaço de folga de seção transversal crescente. À medida que o rotor gira, o ar entra através das aberturas nos compartimentos, formados pelas palhetas, sendo então aprisionado e seu volume gradativamente reduzido até ser descarregado do lado oposto.



Compressor rotativo de parafuso

Este compressor é composto de dois parafusos entrelaçados que giram em eixos paralelos dentro de uma carcaça com folgas bastante reduzidas.

Os parafusos geralmente têm uma configuração complementar, tipo macho-fêmea. O rotor macho possui lóbulos convexos que correspondem aos pistões. Tendo uma seção transversal em forma de arco circular, estes lóbulos formam hélices ao longo do comprimento do rotor como as cristas de uma rosca.

O rotor fêmea correspondente possui sulcos côncavos equivalentes aos cilindros que possuem a mesma seção transversal em forma de arco circular para aceitar o lóbulo do rotor-macho complementar.

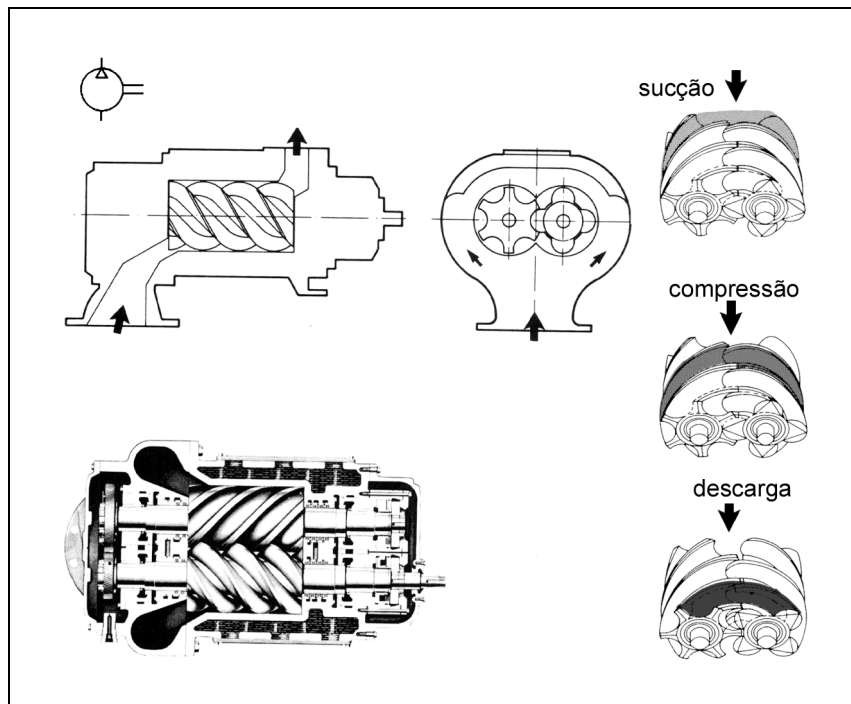
Ao girar, os rotores produzem um ciclo de três fases . Na primeira fase, sucção, os espaços do “cilindro” passam pela abertura de entrada numa das extremidades da carcaça e são enchidos com ar atmosférico.

Quando o espaço entre lóbulos está completamente cheio, a rotação dos “cilindros” faz com que o espaço passe além da abertura de entrada, aprisionando o ar entre o rotor e a carcaça.

Ao continuar a rotação, os “cilindros” realizam a fase de compressão. Aqui os lóbulos helicoidais machos ou pistões giram para dentro dos sulcos do rotor fêmea ou cilindros.

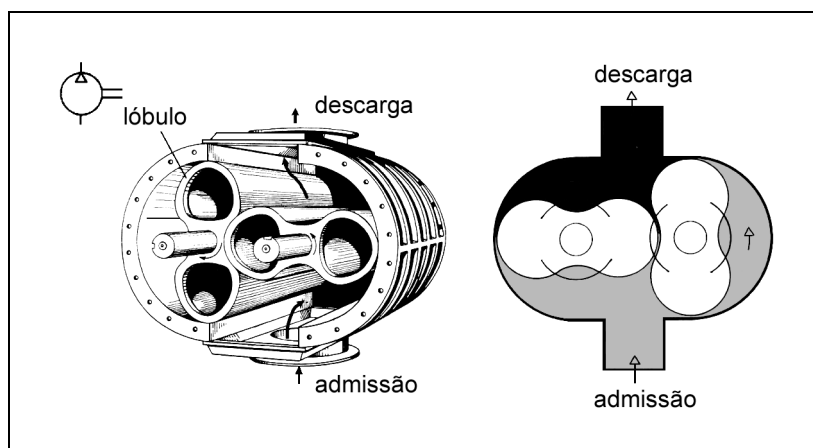
O ponto de entrelaçamento move-se ao longo do comprimento do rotor, reduzindo progressivamente o volume do ar e conseqüentemente aumentando a pressão.

A fase final de descarga ocorre quando o espaço entre lóbulo cheio de ar comprimido chega ao pórtico de saída.



Compressor tipo roots

Consiste de dois rotores simétricos em forma de oito, chamados de lóbulos, que giram em direção oposta, transportando o ar de um lado para o outro, sem alteração de volume.



Critérios para escolha de compressores

Os critérios para escolha de compressores envolvem os seguintes itens:

Tipo construtivo

- Compressor de êmbolo com movimento rotativo;
- Compressor de êmbolo com movimento linear;
- Compressor dinâmico (radial, axial).

Lubrificação

- A seco;
- A óleo;
- A injeção de óleo.

Execução

- Monoestágio;
- Multiestágio.

Refrigeração

- A ar;
- A água;
- Por injeção de óleo.

Regulagem de marcha em vazio (descarga, fechamento)

- De carga parcial (rotação);
- Intermitente.

Local de montagem

A estação de compressores deve ser montada dentro de um ambiente fechado, com proteção acústica. O ambiente deve ter boa ventilação e o ar sugado deve ser fresco, seco e livre de poeira ou resíduos.

Pressão e vazão

A pressão e a vazão estão diretamente relacionadas e atuam sobre a capacidade do equipamento e dos componentes. Isto significa que, para cada equipamento, deve estar disponível o ar comprimido necessário como também a pressão de trabalho necessária.

Para obter este resultado, são necessários:

- Suficiente vazão do compressor;
- Correta pressão na rede;

- Tubulação de distribuição corretamente dimensionada em função da vazão, da pressão e da queda de pressão admissível.

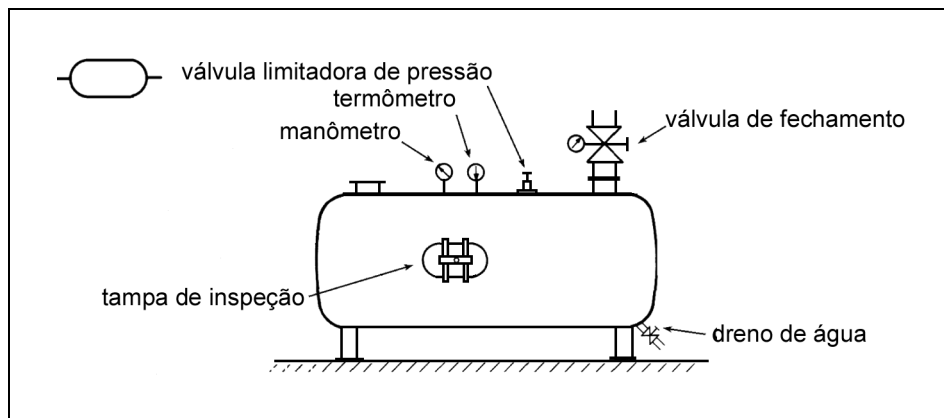
Reservatório de ar comprimido

Este reservatório serve para estabilizar a distribuição de ar comprimido. Elimina as oscilações de pressão na rede distribuidora e, quando ocorre uma elevação momentânea do consumo de ar, é uma garantia de reserva.

A grande superfície do reservatório refrigera o ar suplementar. Assim, parte da umidade é condensada e separa-se do ar no reservatório, saindo pelo dreno.

O tamanho do reservatório de ar comprimido depende :

- Do volume fornecido pelo compressor;
- Do consumo de ar;
- Da rede distribuidora (volume suplementar);
- Do tipo de regulação dos compressores;
- Da diferença de pressão admitida na rede.



Redes de distribuição de ar comprimido

Aplicar, para cada máquina ou dispositivos automatizados, um compressor próprio, é possível somente em casos isolados. Onde existem vários pontos de aplicação, o processo mais conveniente e racional é efetuar a distribuição do ar comprimido posicionando as tomadas nas proximidades dos utilizadores.

A rede de distribuição de ar comprimido compreende todas as tubulações que saem do reservatório passando pelo secador e que, unidas, orientam o ar comprimido até os pontos individuais de utilização .

A rede possui duas funções básicas:

- Comunicar a fonte produtora com os equipamentos consumidores;
- Funcionar como um reservatório para atender as exigências locais.

Um sistema de distribuição perfeitamente executado deve apresentar os seguintes requisitos:

- Pequena queda de pressão entre o compressor e as partes de consumo, a fim de manter a pressão dentro dos limites toleráveis em conformidade com as exigências das aplicações;
- Não apresentar escape de ar, do contrário haveria perda de potência;
- Apresentar grande capacidade de realizar separação de condensado.

Ao serem efetuados o projeto e a instalação de uma planta qualquer de distribuição, é necessário levar em consideração alguns preceitos. O não cumprimento de certas bases é contraproducente e aumenta sensivelmente a necessidade de manutenção.

Formato

Em relação ao tipo de linha a ser executada, anel fechado (circuito fechado) ou circuito aberto, deve-se analisar as condições favoráveis e desfavoráveis de cada uma.

Geralmente, a rede de distribuição é em circuito fechado, em torno da área onde há necessidade do ar comprimido. Deste anel partem as ramificações para os diferentes pontos de consumo.

O anel fechado auxilia na manutenção de uma pressão constante, além de proporcionar uma distribuição mais uniforme do ar comprimido para os consumos intermitentes. Porém, dificulta a separação da umidade, porque o fluxo não possui uma direção e, dependendo do local de consumo, circula em duas direções.

Existem casos, por exemplo, em que o circuito aberto deve ser feito: área onde o transporte de materiais e peças é aéreo, pontos isolados, pontos distantes, etc. Nestes casos são estendidas linhas principais para o ponto.

Válvulas de fechamento na linha de distribuição

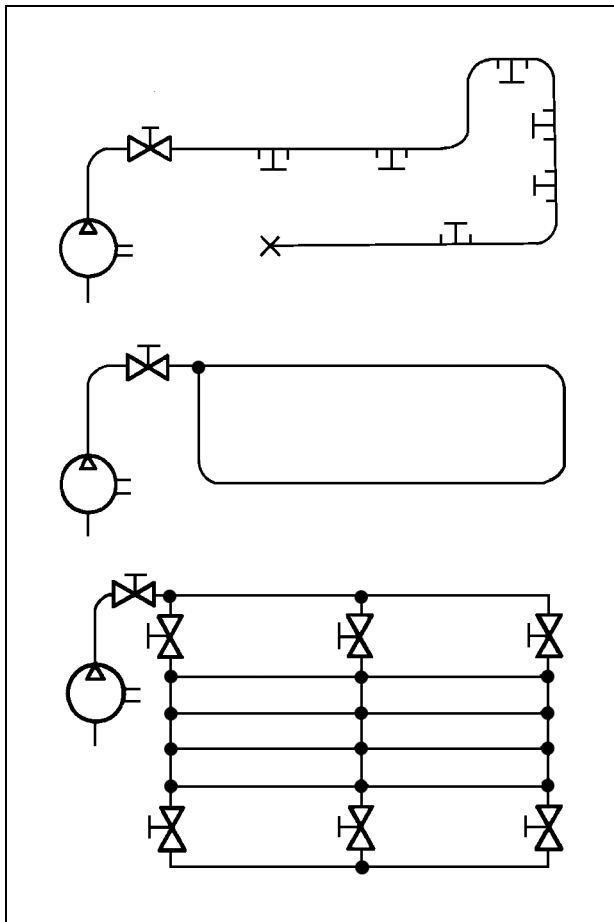
As válvulas são importantes na rede de distribuição para permitir sua divisão em seções, especialmente em casos de grandes redes, fazendo com que as seções tornem-se isoladas para inspeções, modificações e manutenção. Assim, evitamos que outras seções sejam simultaneamente atingidas, não havendo paralisação no trabalho e da produção.

As válvulas mais utilizadas são do tipo esfera e diafragma. Acima de 2" são usadas as válvulas tipo gaveta.

Montagem

A tendência é colocar a linha principal, aérea e interna, com as correspondentes tomadas de ar próximas a cada utilizador, para que a tubulação não obstrua a passagem, além de requerer menos curvas.

As tubulações aéreas aconselháveis são aquelas suspensas por tirantes, fixas nas paredes ou no forro por cantoneiras de fixação. Em alguns casos, como na fundição, forjaria ou posicionadas externamente, é aconselhável colocar as tubulações em valetas apropriadas sob o pavimento, levando-se em consideração os espaços necessários para a montagem e a manutenção com os respectivos movimentos das ferramentas, rotações de curvas, derivações em "T". O posicionamento também deve permitir a drenagem de água condensada de maneira satisfatória. Os tubos não devem ser posicionados em profundidades excessivas e nunca enterrados.



Material para a tubulação

Ao serem escolhidos, os materiais da tubulação principal devem apresentar alguns requisitos, como fácil manuseio e instalação, resistência à oxidação e corrosão e preço acessível.

É recomendável construir a rede de ar comprimido com tubos de aço preto, mas geralmente é construída com tubos de aço galvanizado, devido ao menor preço e a maior facilidade de compra.

Apesar dessas facilidades, uma instalação com tubos de aço zincado apresenta inconvenientes quando comparada com uma instalação efetuada com tubos pretos.

O tubo de aço preto possui parede interna bastante lisa, isenta de aspereza e rugosidade, o que é vantajoso, pois tende a eliminar consideráveis perdas de pressão, o que evita a formação de turbulência no seu interior. O tubo galvanizado não é liso, apresentando maior perda de pressão.

A resistência do tubo de aço preto em relação à oxidação e corrosão também é superior aos tubos zincados, visto que esses oxidam com facilidade nas extremidades roscadas.

Ligação entre os tubos

As ligações entre os tubos são de diversas maneiras: rosca, solda, flange, acoplamento rápido, devendo todas apresentar a mais perfeita vedação.

As ligações roscadas são comuns, devido ao seu baixo custo e facilidade de montagem e desmontagem. Para evitar vazamentos nas roscas deve-se utilizar vedantes à base de teflon (por exemplo: fita teflon), devido às imperfeições existentes na confecção das roscas.

A união realizada por solda oferece menor possibilidade de vazamento se comparada a união roscada, apesar de um custo maior. As uniões soldadas devem estar cercadas de certos cuidados: as escamas de óxido tem que ser retiradas do interior do tubo e o cordão de solda deve ser o mais uniforme possível.

De maneira geral, a utilização de conexões roscadas se faz até diâmetros de 3". Para valores maiores, recomendam-se conexões soldadas, que podem ser por topo para tubos, soquete para curvas, flanges e válvulas.

Para instalações que apresentam maior grau de confiabilidade, recomenda-se o uso de conexões flangeadas e soldadas.

Inclinação

As tubulações devem possuir uma determinada inclinação no sentido do fluxo interior.

A inclinação serve para favorecer o recolhimento de uma eventual condensação da água e de impurezas, devido à formação de óxido, levando-as para o ponto mais

baixo, onde são eliminadas para atmosfera através do dreno. O valor desta inclinação é de 1 a 2% em função do comprimento reto da tubulação onde for executada.

Drenagem de umidade

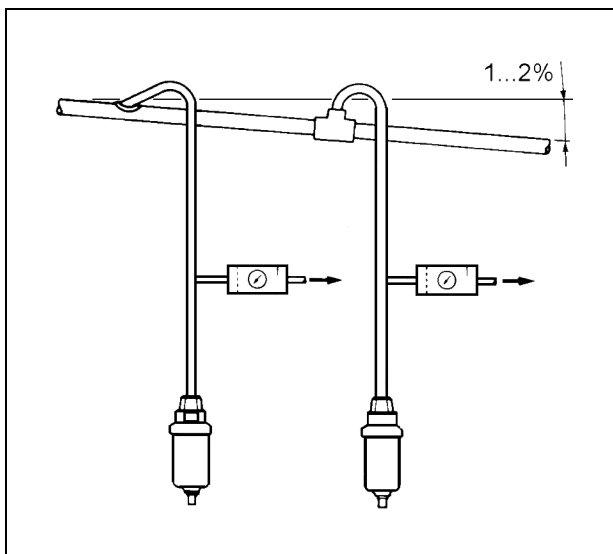
Tomados os cuidados para a eliminação do condensado, resta uma umidade remanescente a qual deve ser removida ou eliminada, no caso de condensação desta umidade.

Para que a drenagem eventual seja feita, devem ser instalados drenos (purgadores) manuais ou automáticos, com preferência para os automáticos. Os pontos de drenagem devem-se situar em todos os locais baixos da tubulação principal. Nestes pontos, para auxiliar a eficiência da drenagem, podem ser construídos bolsões, que retêm o condensado e o encaminham para o purgador. Estes bolsões não devem possuir diâmetros menores que os da tubulação. O ideal é que sejam do mesmo diâmetro.

Tomadas de ar

Devem ser feitas pela parte superior da tubulação principal, evitando os problemas de condensado. Recomenda-se ainda que não se realize a utilização direta do ar no ponto terminal do tubo de tomada. No terminal é colocada uma pequena válvula de drenagem e a utilização deve ser feita um pouco mais acima, onde o ar, antes de ir para a máquina, passa através da unidade de conservação.

A figura seguinte mostra a inclinação, as tomadas e a drenagem da rede de ar comprimido.



Elementos pneumáticos de trabalho

A energia pneumática é transformada em movimento e força através dos elementos de trabalho. Esses movimentos podem ser lineares ou rotativos.

Os movimentos lineares são executados pelos cilindros (atuadores lineares) e os movimentos rotativos pelos motores pneumáticos e cilindros rotativos (atuadores rotativos).

Os atuadores lineares são:

- De ação simples;
- De ação dupla.

Os atuadores rotativos são:

- De giro contínuo;
- De giro limitado.

Atuadores lineares

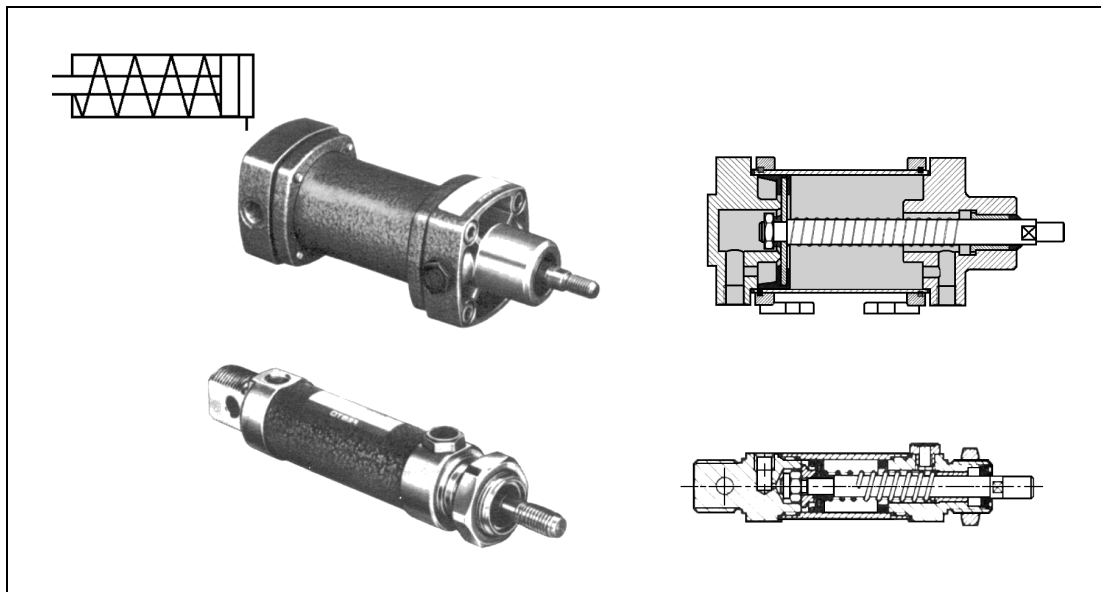
Cilindros de ação simples

Os cilindros de ação simples realizam trabalho recebendo ar comprimido em apenas um de seus lados. Em geral o movimento de avanço é o mais utilizado para a atuação com ar comprimido, sendo o movimento de retorno realizado através de mola ou por atuação de uma força externa devidamente aplicada.

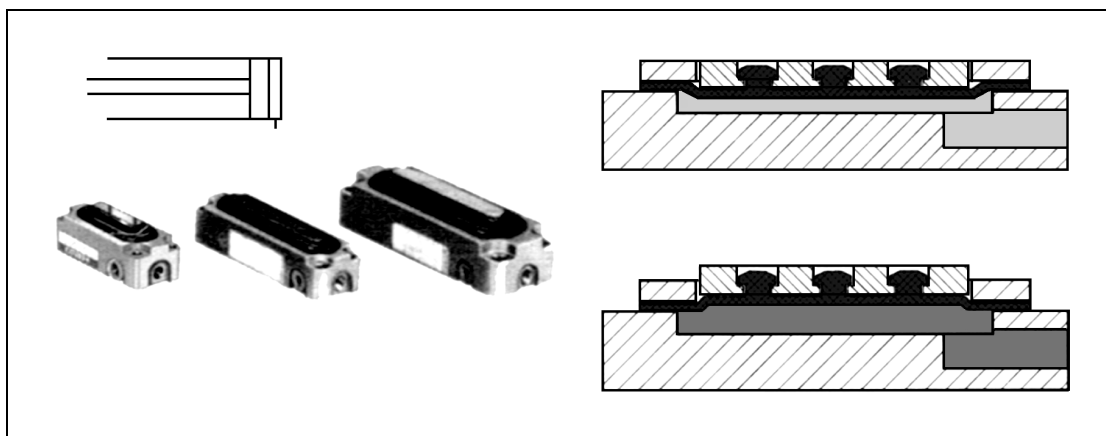
A força da mola é calculada apenas para que possa repor o êmbolo do cilindro na sua posição inicial com velocidade suficientemente alta, sem absorver energia elevada.

O curso dos cilindros de ação simples está limitado ao comprimento da mola. Por esta razão não são fabricados cilindros de ação simples com atuação por mola com mais de 100mm.

Os cilindros de ação simples são especialmente utilizados em operações que envolvam fixação, expulsão, extração e prensagem, entre outras.



Os cilindros de ação simples podem ainda ser construídos com elementos elásticos para reposição. É o caso dos cilindros de membrana, cujo movimento de retorno é feito por uma membrana elástica presa à haste.

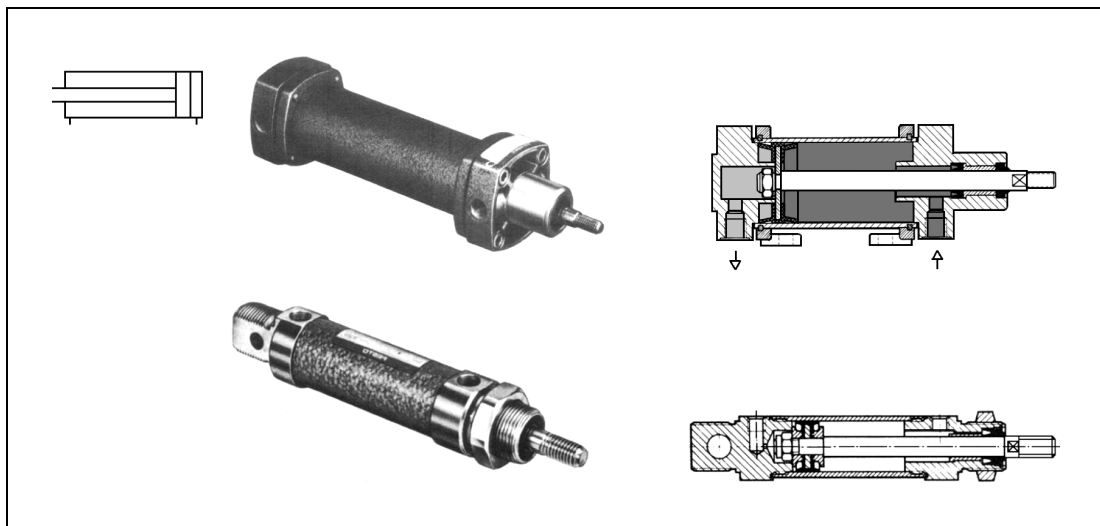


A vantagem da membrana está na redução do atrito mas a limitação de força, nestes casos, se torna uma desvantagem. Estes cilindros são usados especialmente em situações de pequenos espaços disponíveis para operações de fixação e indexação de peças ou dispositivos.

Cilindros de ação dupla

Os cilindros de ação dupla realizam trabalho recebendo ar comprimido em ambos os lados. Desta forma realizam trabalho tanto no movimento de avanço como no movimento de retorno. Um sistema de comando adequado permite ao ar comprimido atingir uma câmara de cada vez, exaurindo o ar retido na câmara oposta. Assim, quando o ar comprimido atinge a câmara traseira, estará em escape a câmara dianteira e o cilindro avançará. No movimento de retorno, o ar comprimido chega à câmara dianteira, e a câmara traseira estará em escape.

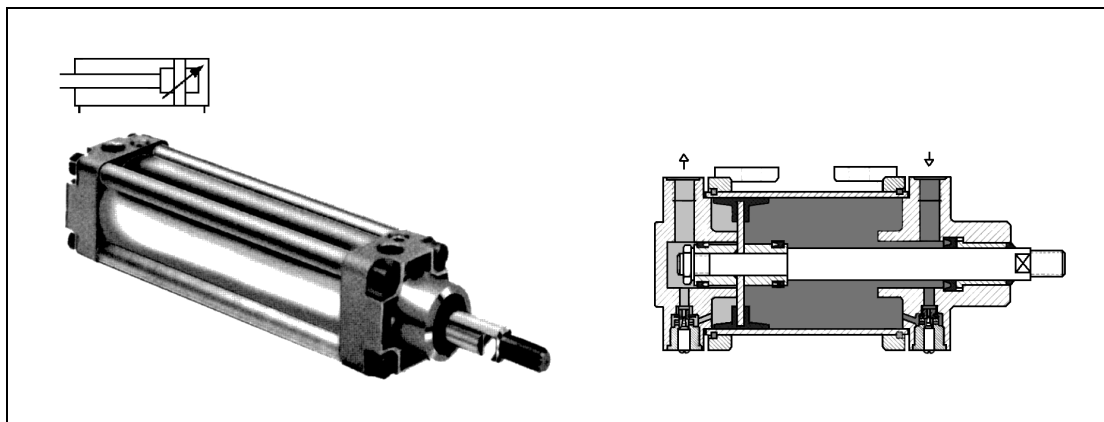
Como não há a presença da mola, as limitações impostas aos cilindros de ação dupla estão ligadas às deformações da haste quanto a flexão e a flambagem.



Os cilindros de ação dupla, quando sujeitos a cargas e velocidades elevadas, sofrem grandes impactos, especialmente entre o êmbolo e as tampas. Com a introdução de um sistema de amortecimento, os cilindros podem trabalhar sem o risco do impacto que, na maioria das vezes, o danifica, causando vazamento e reduzindo seu rendimento e sua vida útil.

Para evitar tais danos, antes de alcançar a posição final de curso, um êmbolo de amortecimento interrompe o escape direto do ar, deixando somente uma pequena passagem geralmente regulável.

Com o escape de ar restringido, cria-se uma sobrepressão que, para ser vencida, absorve parte da energia, resultando em perda de velocidade nos finais de curso.

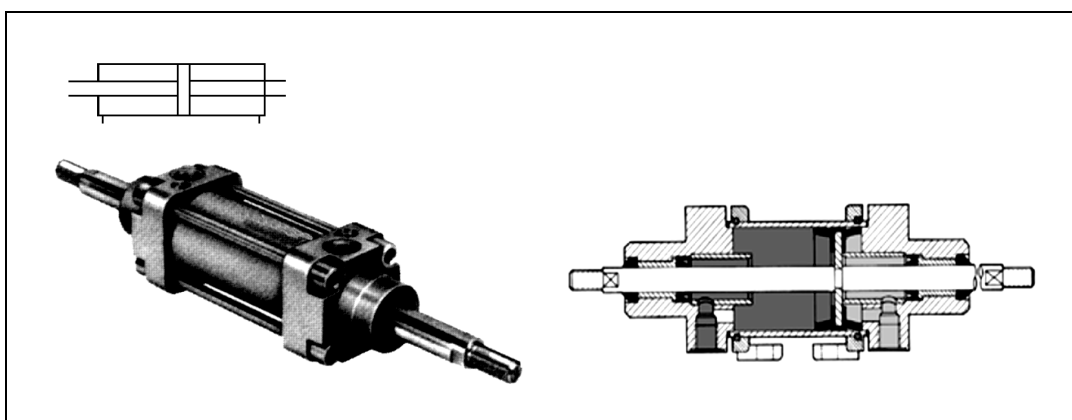


Em muitas aplicações industriais os cilindros convencionais de ação simples e ação dupla não podem ser utilizados satisfatoriamente. Para esses casos foram desenvolvidos cilindros diferenciados dos padrões normais, ou cilindros especiais: com haste passante, de múltiplas posições, de impacto, sem haste.

Cilindro com haste passante

Com este cilindro trabalha-se em ambos os lados ao mesmo tempo. Pode-se também utilizar um dos lados somente para acionamento de elementos de Sinal. Um ponto positivo deste tipo de cilindro é, por possuir dois mancais de apoio para as hastes, suportar cargas laterais maiores.

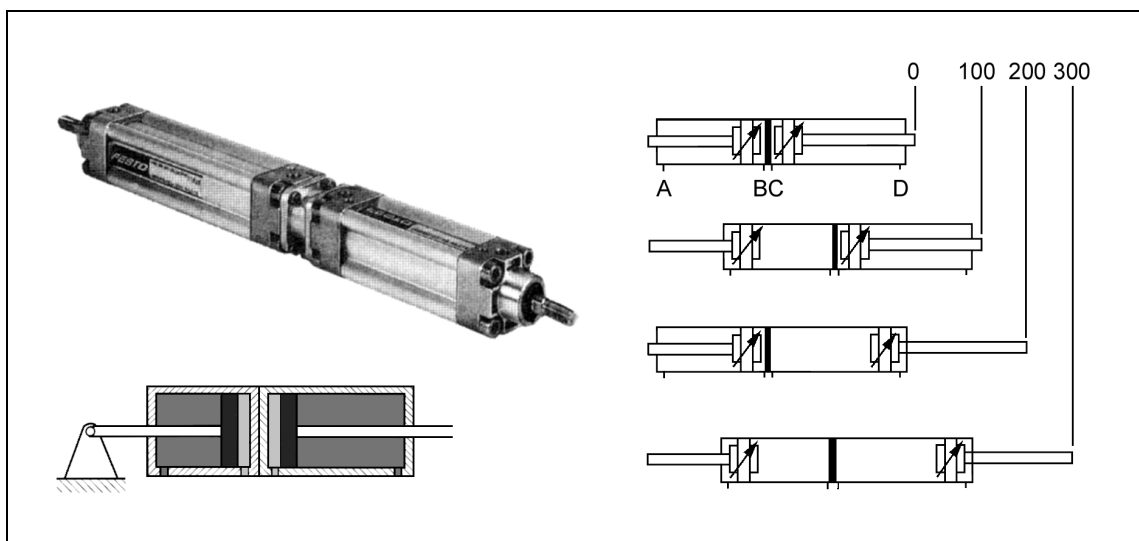
Porém, por possuir hastes em ambos os lados, tem sua capacidade de forças reduzidas em relação a cilindros convencionais com uma única haste.



Estes cilindros, em alguns casos, possuem haste vazada, ou seja, haste com furo passante no sentido longitudinal, podendo ser utilizados para aplicações com vácuo, passagem de fluidos e até mesmo condutores elétricos.

Cilindro de múltiplas posições

Este tipo de cilindro é formado por dois cilindros unidos por suas câmaras traseiras. Desta forma, se consegue um curso intermediário escalonado, conforme a figura seguinte.



Cilindro de impacto

O uso de cilindros normais para trabalho de deformação é limitado. O cilindro de impacto é utilizado para se obter energia cinética elevada. Segundo a fórmula de energia cinética, pode-se ter uma idéia da energia conseguida através da elevação da velocidade.

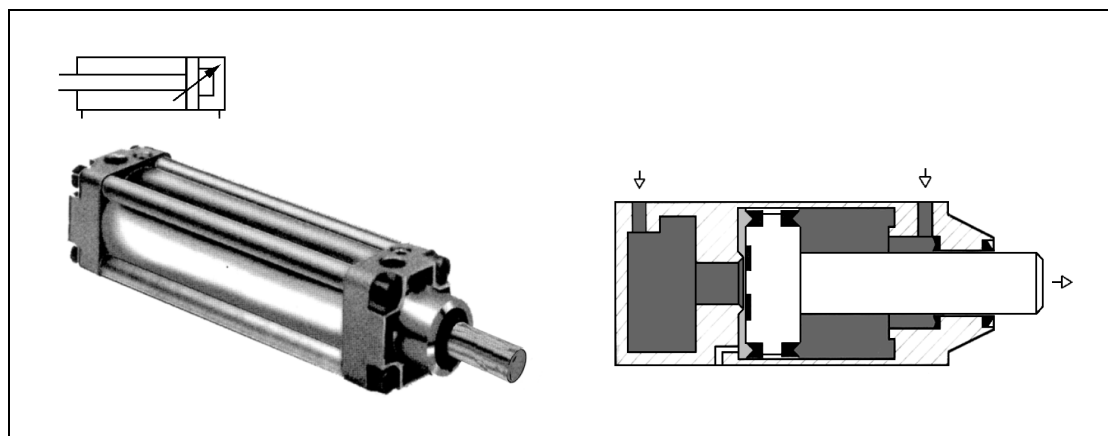
$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \text{ onde}$$

$E =$ energia em $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 = \text{Nm} = \text{Joule}$
 $m =$ massa em kg
 $v =$ velocidade em m / s

Os cilindros de impacto desenvolvem uma velocidade de 7,5 a 10m/s (a velocidade de um cilindro normal é de 1 a 2m/s). Esta velocidade só pode ser alcançada por um elemento de construção especial.

A energia deste cilindro poderá ser empregada para prensar, rebordar, rebitar, cortar, etc.

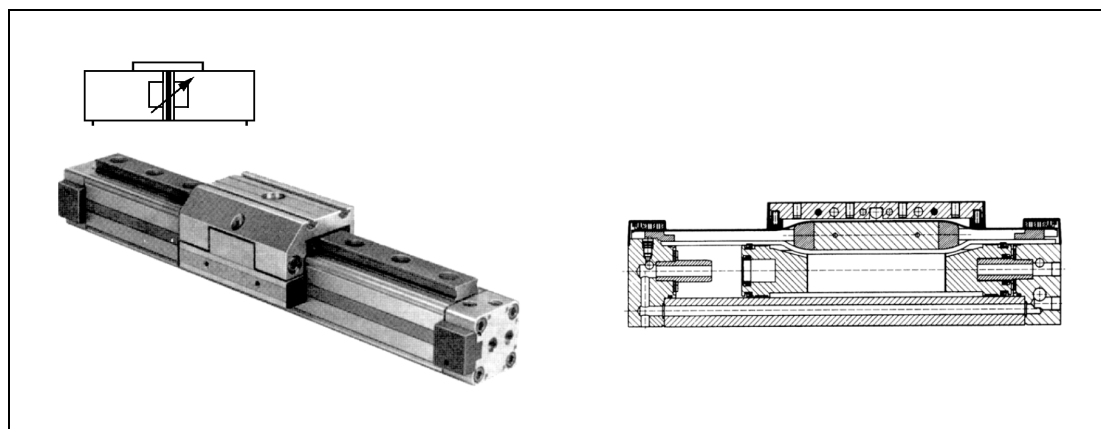
Sua força de impacto é muito grande em relação ao tamanho de construção de um cilindro. Geralmente são empregados em pequenas prensas. Em relação ao diâmetro do cilindro, podem ser alcançadas energias cinéticas de 25 a 500Nm.



Cilindro sem haste

O cilindro sem haste é constituído de um êmbolo que desliza livremente no interior da camisa do cilindro. No lado externo à camisa temos um cursor que desliza junto com o êmbolo. A força que faz com que o cursor externo deslize juntamente com o êmbolo é obtida através de um pacote de ímãs situado na face interna ao cursor.

Com o cilindro sem haste se reduz a necessidade de grandes espaços para a instalação. Se comparados aos cilindros convencionais, esse espaço é reduzido em 50%.



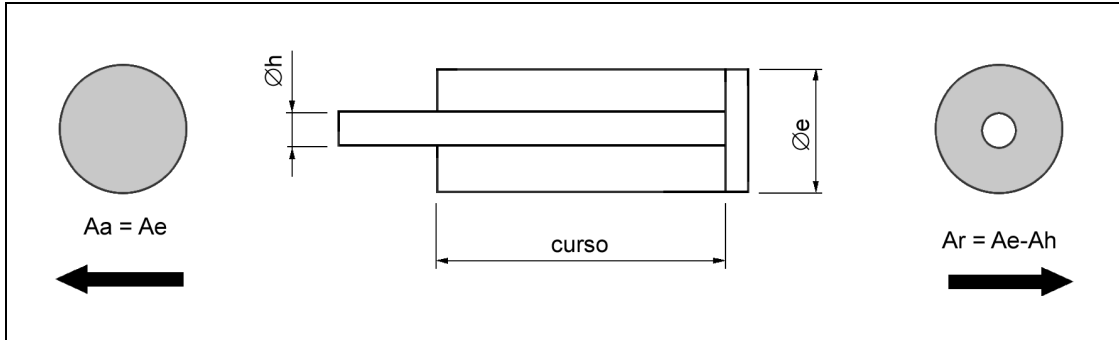
Cálculos para cilindros

As forças realizadas pelos cilindros dependem da pressão do ar, do diâmetro do êmbolo e das resistências de atrito impostas pelos elementos de vedação.

A força teórica exercida pelo cilindro é calculada segundo a fórmula:

$$F_t = P \cdot A \quad \text{onde:}$$

F_t = força teórica do êmbolo (N)
 A = superfície útil do êmbolo (cm²)
 P = pressão de trabalho (kPa, 10⁵ N/m², bar)



$$F_a = p \cdot A_a$$

$$A_a = 0,7854 \cdot \varnothing e^2$$

$$F_r = p \cdot A_r$$

$$A_r = 0,7854 \cdot (\varnothing e^2 - \varnothing h^2)$$

Tipo de cilindro	Fórmula
Cilindro de ação simples	$F_n = A_a \cdot p - (F_{at} + F_f)$
Cilindro de dupla ação avanço	$F_{av} = A_a \cdot p - F_{at}$
Cilindro de dupla ação retorno	$F_{ret} = A_r \cdot p - F_{at}$

F_n = força efetiva

F_{av} = força efetiva de avanço

F_{ret} = força efetiva de retorno

p = pressão de trabalho

F_{at} = resistência de atrito (N) (3 a 20% de F_t)

F_f = força da mola de retrocesso

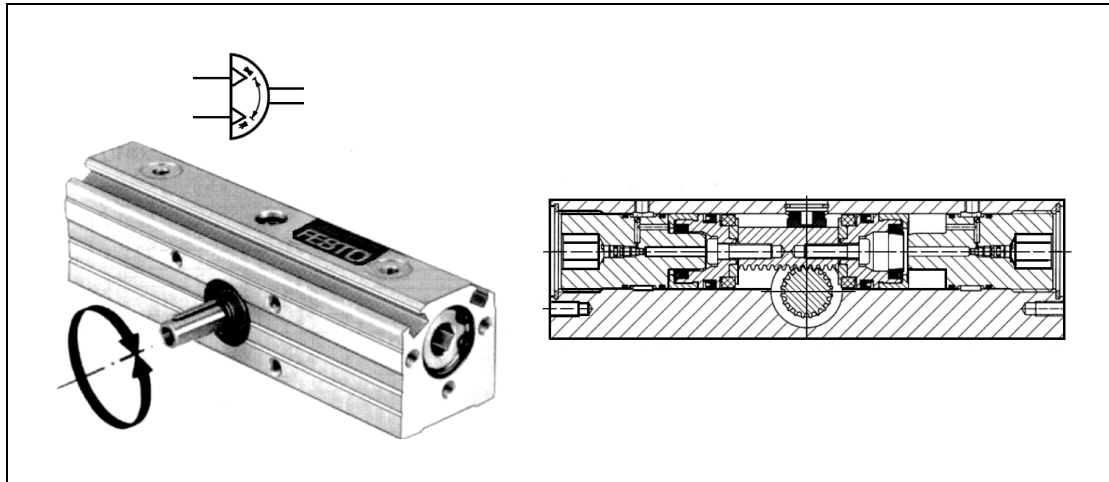
Movimentos rotativos

Cilindro rotativo

O cilindro rotativo transforma movimento linear de um cilindro comum em movimento rotativo de giro limitado.

O ar atinge o êmbolo do cilindro movimentando-o. Preso ao êmbolo encontra-se a haste e, em sua extremidade, uma cremalheira que transforma o movimento linear em movimento rotativo. O ângulo de rotação pode ser ajustado mediante um parafuso e

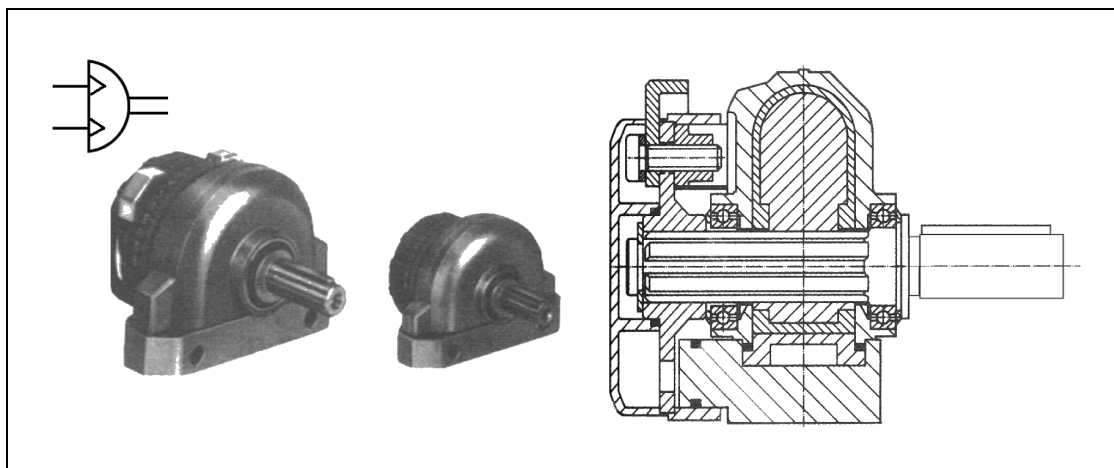
os ângulos mais utilizados são: 90°, 180°, 360°. Como aplicações mais comuns estão: operações de giro de peças, curvamento de tubos, abertura e fechamento de válvulas, registros etc.



Cilindro de aleta giratória

Com este cilindro se consegue movimentos rotativos ajustáveis de até 180°.

É utilizado especialmente para abertura e fechamento de válvulas de grande porte e rotação de peças ou dispositivos.



Motores pneumáticos

Através de motores pneumáticos podem ser executados movimentos rotativos de forma ilimitada. A principal característica destes motores é a alta rotação que se pode atingir. Como exemplos de aplicação podemos citar as ferramentas pneumáticas e as brocas utilizadas por dentistas, que podem atingir até 500.000 rpm (turbo motores).

Os motores pneumáticos são classificados, segundo a construção, em motores:

- De pistão;
- De palhetas;
- De engrenagens;
- Turbomotores.

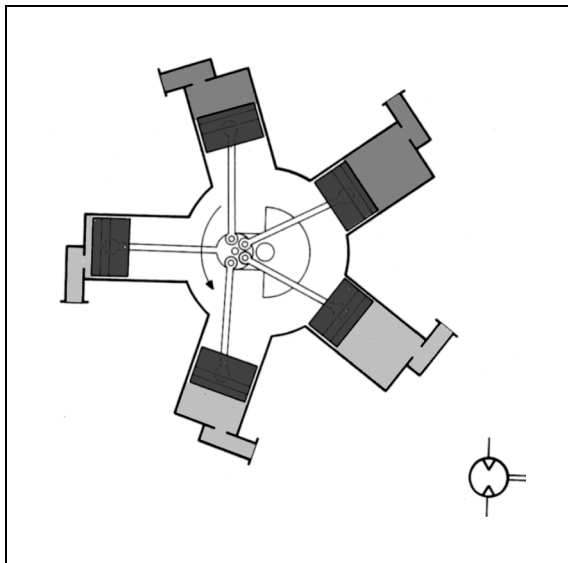
Motores de pistão

Este tipo está subdividido em motores de pistão radial e axial.

Motores de pistões radiais

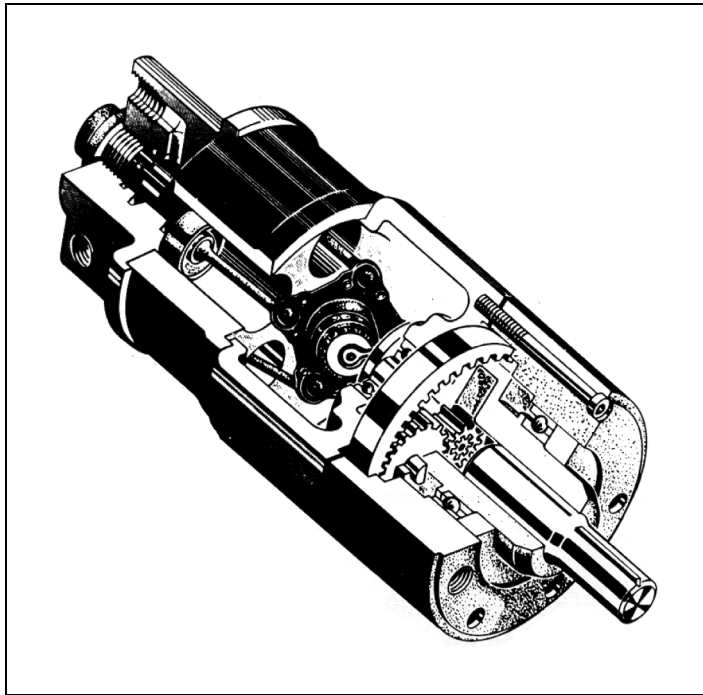
O êmbolo, através de uma biela, aciona o eixo do motor. Para que seja garantido um movimento sem golpes e vibrações são necessários vários pistões. A potência dos motores depende da pressão de entrada, número e área dos pistões.

Os motores de pistões radiais podem atingir até 5.000min^{-1} com potências variando entre 2 e 25cv, a pressão normal.



Motores de pistões axiais

O funcionamento dos motores de pistões axiais é semelhante ao dos motores de pistões radiais. Um disco oscilante transforma a força de cinco cilindros, axialmente posicionados, em movimento giratório. Dois pistões são alimentados simultaneamente com ar comprimido. Com isso obtém-se um momento de inércia equilibrado, garantindo um movimento uniforme e sem vibrações do motor.

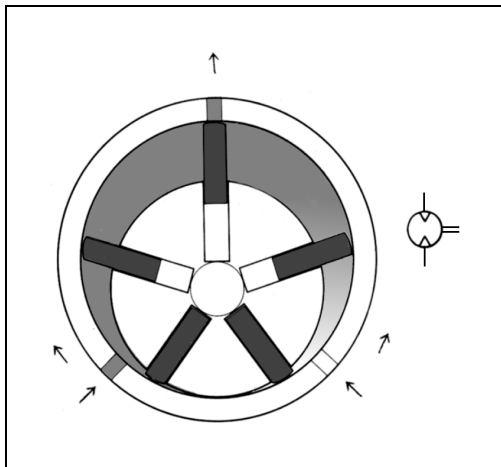


Motor de palhetas

Graças ao pequeno peso e construção simples, os motores pneumáticos geralmente são fabricados segundo este tipo construtivo. Estes são, em princípio, de funcionamento inverso aos compressores de palhetas (multicelulares).

O rotor está fixado excentricamente em um espaço cilíndrico. O rotor é dotado de ranhuras. As palhetas colocadas nas ranhuras serão, inicialmente, afastadas da parede interna do cilindro mediante uma pequena quantidade de ar aplicada sob elas. Depois, pela força centrífuga, a vedação individual das câmaras estará garantida.

Motores de palhetas podem atingir rotações entre 3.000 e 8.500min^{-1} com potências que vão de $0,1$ a 24cv , a pressão normal.



Motores de engrenagem

A geração do momento de torção se dá neste tipo de motor pela pressão do ar contra os flancos dos dentes de duas rodas dentadas engrenadas. Uma roda é montada fixa no eixo do motor e a outra, livre no outro eixo.

Estes motores, utilizados como máquinas de acionar; têm potências de até 60cv .

Turbomotores

Turbomotores são usados somente para trabalhos leves, pois sua velocidade de giro é muito alta (500.000min^{-1}). Seu princípio de funcionamento é inverso ao dos turbocompressores.

Características dos motores pneumáticos

- Regulagem sem escala de rotação e do momento de torção.
- Grande escolha de rotação.
- Construção leve e pequena.
- Seguro contra sobrecarga.
- Insensível contra poeira, água, calor e frio.
- Seguro contra explosão.
- Conservação e manutenção insignificantes sentido de rotação fácil de inverter.

Bocal de aspiração por depressão

Este bocal é utilizado, juntamente com uma ventosa, como elemento de transporte. Com isto, pode-se transportar variados tipos de peças.

Seu funcionamento está baseado no princípio de Venturi (depressão).

A pressão de alimentação é aplicada na entrada P por estrangulamento da seção de passagem. A velocidade do ar até R aumenta e na saída A, ou seja, na ventosa, é produzida uma depressão (efeito de sucção).

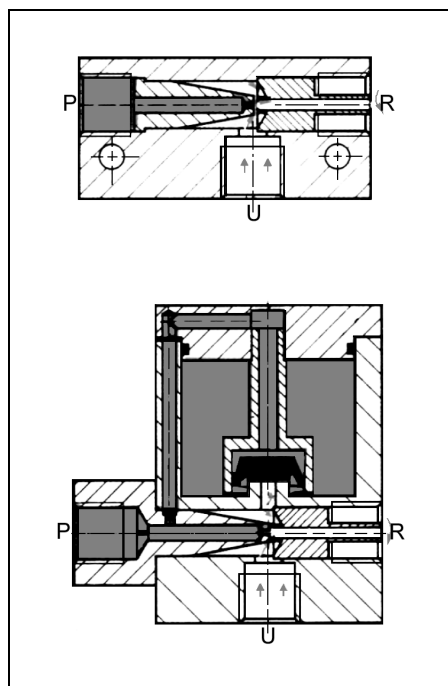
Com este efeito a peça é presa e transportada. A superfície deve estar bem limpa para que se obtenha um bom efeito de sucção.

Cabeçote de aspiração por depressão

O funcionamento também está baseado no princípio Venturi.

A diferença do elemento anterior é um depósito adicional. Neste depósito é acumulado ar durante o processo de sucção. Não existindo mais ar em P, o ar do depósito sai através de uma válvula de escape rápido para a ventosa, produzindo um golpe de pressão e soltando as peças fixadas pela ventosa.

Abaixo estão representados o bocal de aspiração por depressão e o cabeçote de aspiração por depressão.



Estes dois elementos tem as seguintes características:

- Grande depressão;
- Baixo consumo de ar;
- Pouco ruído.

Válvulas

Os circuitos pneumáticos são constituídos por elementos, de sinal, comando e de trabalho. Os elementos emissores de sinais e de comando influenciam no processo dos trabalhos, razão pela qual serão denominados "válvulas".

As válvulas são elementos de comando para partida, parada e direção ou regulação. Elas comandam também a pressão ou a vazão do fluido armazenado em um reservatório ou movimentado por uma hidro-bomba. A denominação "válvula" é válida considerando-se a linguagem internacionalmente usada para tipos de construção como: registros, válvulas de esfera, válvulas de assento, válvulas corredeiras, etc.

Esta é a definição da norma DIN/ISO 1219, conforme recomendação da CETOP (Comissão Europeia de Transmissões Óleo-Hidráulicas e Pneumáticas).

Segundo suas funções as válvulas se subdividem em 5 grupos:



- Válvulas direcionais;
- Válvulas de bloqueio;
- Válvulas de pressão;
- Válvulas de fluxo (vazão);
- Válvulas de fechamento.

Válvulas direcionais




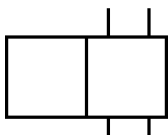
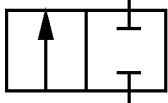
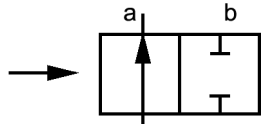
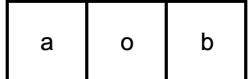
São elementos que influenciam no trajeto do fluxo de ar, principalmente nas partidas, paradas e direção do fluxo.

Simbologia das válvulas

Para representar as válvulas direcionais nos esquemas, são utilizados símbolos; estes símbolos não dão idéia da construção interna da válvula; somente a função desempenhada por elas.

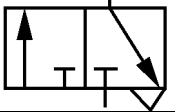
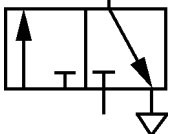
<p>As posições das válvulas são representadas por meio de quadrados.</p>		<p>O número de quadrados unidos indica o número de posições que uma válvula pode assumir</p>	
--	---	--	---

O funcionamento é representado simbolicamente dentro dos quadrados.

<p>As linhas indicam as vias de passagem. As setas indicam o sentido do fluxo.</p>	
<p>Os bloqueios são indicados dentro dos quadrados com traços transversais.</p>	
<p>A união de vias dentro de uma válvula é simbolizada por um ponto.</p>	
<p>As conexões (entrada e saída) serão caracterizadas por traços externos, que indicam a posição de repouso da válvula. O número de traços indica o número de vias.</p>	
<p>Outras posições são obtidas deslocando os quadrados, até que coincidam com as conexões.</p>	
<p>As posições de comando podem ser indicadas por letras minúsculas (a, b, c, o).</p>	
<p>Válvula com 3 posições de comando. Posição central = posição de repouso.</p>	

Define-se como "posição de repouso" aquela condição em que, através de molas, por exemplo, os elementos móveis da válvula são posicionados enquanto a mesma não está sendo acionada.

A posição de partida (ou inicial) será denominada àquela em que os elementos móveis da válvula assumem após montagem na instalação e ligação da pressão de rede, bem como a possível ligação elétrica, e com a qual começa o programa previsto.

Vias de exaustão sem conexão, escape livre, ou seja, sem silenciador. (triângulo no símbolo)	
Vias de exaustão com conexão, escape dirigido, ou seja, com silenciador. (triângulo afastado do símbolo)	

Para garantir uma identificação e uma ligação correta das válvulas, marcam-se as vias com letras maiúsculas, ou números.

Conexão	ISO	DIN
pressão	1	P
exaustão	3,5	R (3/2) R,S (5/2)
saída	2,4	B,A
piloto	14, 12, 10	Z,Y

A denominação de uma válvula depende do número de vias (conexões) e do número das posições de comando. O primeiro número indica a quantidade de vias e o segundo número indica a quantidade das posições de comando da válvula. As conexões de pilotagem não são consideradas como vias.

Exemplos

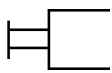
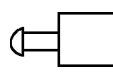
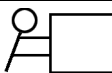
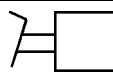
Válvula direcional 3/2: 3 vias, 2 posições

Válvula direcional 4/3: 4 vias, 3 posições

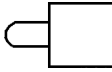
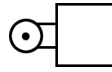

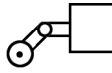
Tipos de acionamentos de válvulas

Conforme a necessidade, podem ser adicionados às válvulas direcionais os mais diferentes tipos de acionamento. Os símbolos dos elementos de acionamento desenham-se horizontalmente nos quadrados.

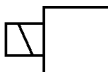

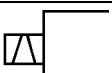
Acionamento por força muscular geral

geral (sem identificação do modo de operação)		botão	
alavanca		pedal	

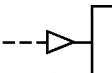
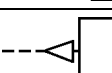
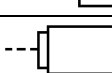
Acionamento mecânico

apalpador ou pino		rolete	
mola		rolete, operando num único sentido (gatilho)	

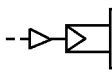
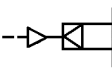
Acionamento elétrico

por solenóide com uma bobina	
com duas bobinas operando em um único sentido	
com duas bobinas operando em sentidos opostos	

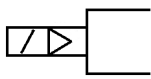
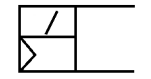
Acionamento pneumático direto

por acréscimo de pressão	
por alívio de pressão	
por diferencial de áreas	

Acionamento pneumático indireto

por acréscimo de pressão da válvula servopilotada	
por alívio de pressão da válvula servopilotada	

Acionamento pneumático combinado

por solenóide e válvula servopilotada	
por solenóide ou válvula servopilotada	

Tempo de acionamento

O tempo de acionamento das válvulas pode ser:

- Contínuo;
- Momentâneo.

Acionamento contínuo

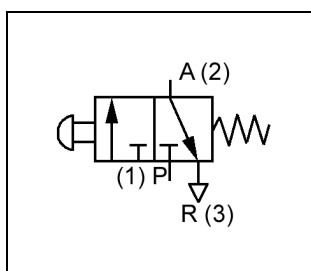
Durante o tempo da comutação, a válvula é acionada mecânica, manual, pneumática ou eletricamente.

O retorno efetua-se manual ou mecanicamente através da mola.

Acionamento momentâneo (impulso)

A válvula é comutada por um breve sinal (impulso) e permanece indefinidamente nessa posição, até que um novo sinal seja dado repondo à válvula à sua posição anterior.

A figura abaixo mostra a representação de uma válvula direcional de 3 vias, 2 posições, acionada por botão e retorno por mola.



Características de construção das válvulas direcionais

As características de construção das válvulas determinam sua vida útil, força de acionamento, possibilidades de ligação e tamanho.

Segundo a construção, distinguem-se os tipos:

Válvulas de assento com:

- Sede esférica;
- Sede de prato;

Válvulas corrediças:

- Longitudinal (carretel);
- Plana longitudinal) (comutador);
- Giratória (disco).

Válvulas de assento

As ligações nas válvulas de assento são abertas por esfera, prato ou cone. A vedação das sedes de válvula efetua-se de maneira muito simples, geralmente com elemento elástico de vedação. As válvulas de assento com sede possuem poucas peças de desgaste e têm, portanto, uma longa vida útil. Elas são robustas e insensíveis à sujeira.

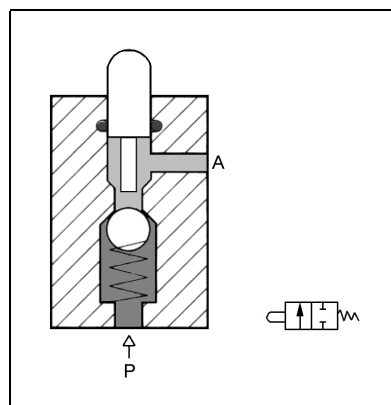
A força de acionamento é relativamente alta; sendo necessário vencer a força da mola de retorno e do ar comprimido agindo sobre a área do elemento de vedação.

Válvulas de sede esférica

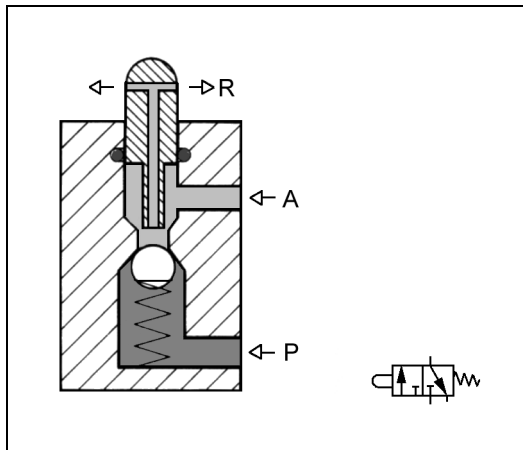
A construção das válvulas de sede esférica é muito simples e, portanto, de preço vantajoso. Estas válvulas se caracterizam por suas reduzidas dimensões.

Inicialmente uma mola força a esfera contra a sede, evitando que o ar comprimido passe do orifício de pressão P para o orifício de trabalho A. Por acionamento da haste da válvula, afasta-se a esfera da sede. Para isto, é necessário vencer a força da mola e a força do ar comprimido. Estas são válvulas direcionais de 2 vias, pois têm 2 posições de comando (aberto e fechado) e 2 ligações, entrada e saída (P e A).

A figura mostra uma válvula direcional de 2 vias por 2 posições.

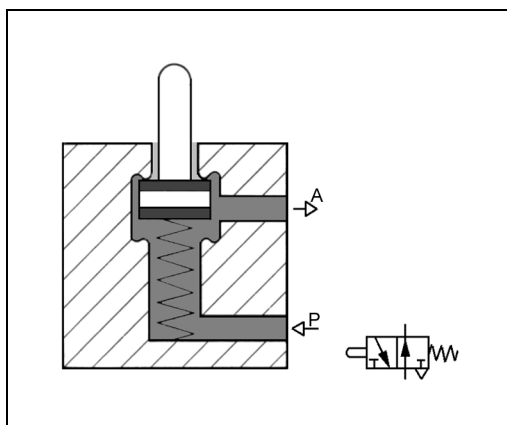


Com um canal de exaustão pela haste elas podem ser empregadas também como válvulas direcionais de 3 vias. O acionamento pode ser realizado manual ou mecanicamente. A figura mostra um válvula direcional de 3 vias por 2 posições.

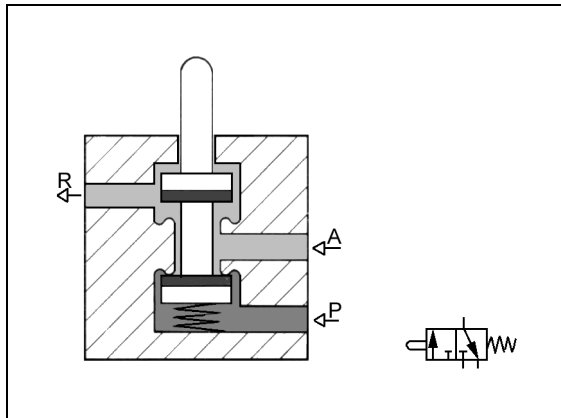


Válvula de sede de prato

As válvulas de sede de prato têm uma vedação simples e boa. O tempo de comutação é curto. Um pequeno movimento do prato libera uma área bastante grande para o fluxo do ar. Também estas, como as de sede esférica, são insensíveis à sujeira e têm uma longa vida útil. A figura mostra uma válvula direcional de 3 vias por 2 posições (normal aberta).

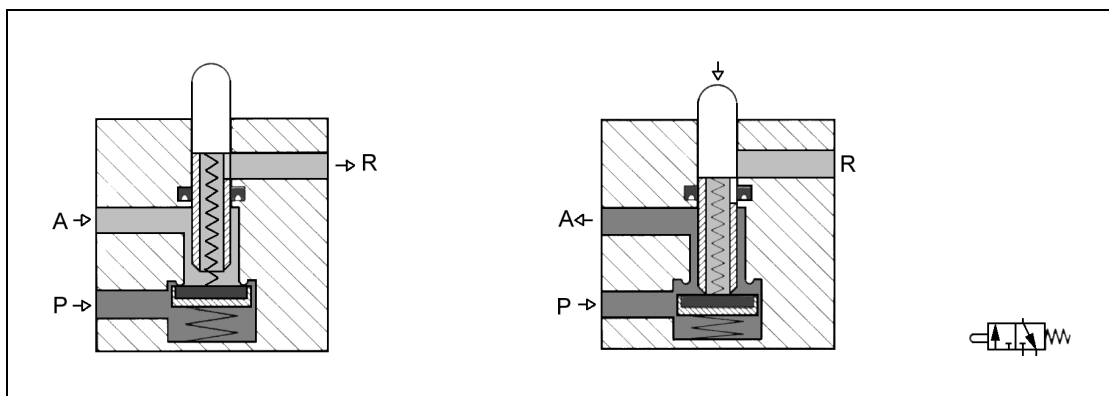


Ao acionar o apalpador são interligadas, num campo limitado, todos os três orifícios: P, A e R. Isto provoca, quando em movimento lento, um escape livre de um grande volume de ar, sem ser aproveitado para o trabalho. Quando isto ocorre, dizemos que existe "exaustão cruzada". A figura apresenta uma válvula direcional de 3 vias por 2 posições (normal fechada).



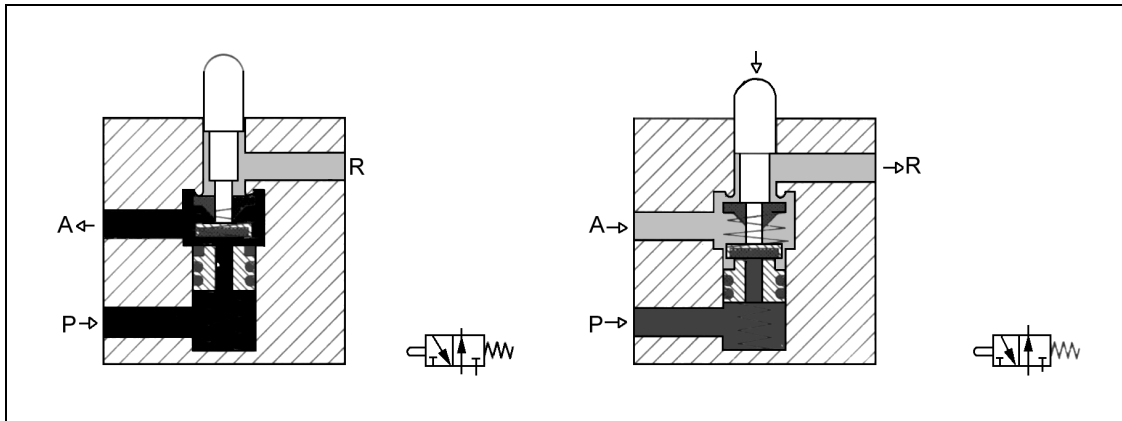
As válvulas construídas segundo o princípio de sede de prato único, são livres de exaustão cruzada. Não existe perda de ar quando de uma comutação lenta.

Ao acionar o apalpador fecha-se primeiro a passagem de A para R (escape), pois o mesmo se veda no prato. Empurrando mais ainda, o prato afasta-se da sede, abrindo a passagem de P para A; o retorno é feito por meio da mola. A figura abaixo mostra uma válvula direcional de 3 vias por 2 posições (sem cruzamento, normal fechada).



As válvulas direcionais de 3/2 vias são utilizadas para comandar cilindros de ação simples ou como emissores de sinal para pilotar válvulas de comando.

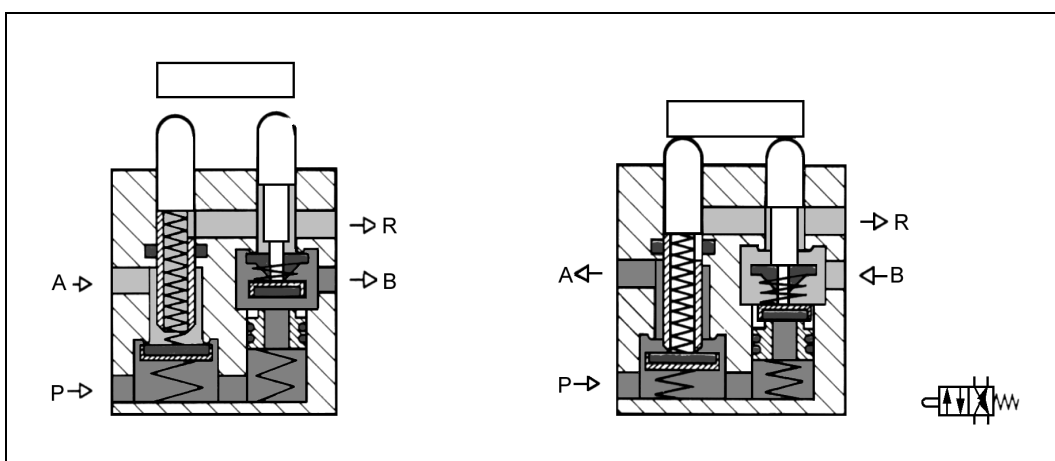
Uma válvula em posição de repouso aberta, ao ser acionada, é fechada primeiramente a ligação entre P e A com um prato e posteriormente a passagem A para R através de um segundo prato. Uma mola retrocede o apalpador com os dois pratos na posição inicial. A figura a seguir mostra uma válvula direcional de 3 vias por 2 posições (normal aberta).



O acionamento das válvulas pode ser feito manual, mecânica, elétrica ou pneumáticamente.

Uma válvula direcional de 4 vias (4/2), construída com sede de prato, consiste na combinação de duas válvulas de 3 vias (3/2); uma válvula em posição inicial fechada e outra aberta.

Na figura a seguir, estão abertas as vias de P para B e de A para R. Ao serem acionados simultaneamente os dois apalpadores, serão fechadas as vias de P para B e de A para R. Empurrando-se ainda mais os apalpadores até os pratos, deslocando-os contra a mola de retorno, serão abertas as vias de P para A e de B para R. Esta válvula direcional de 4 vias por 2 posições é livre de exaustão cruzada e volta à posição inicial por meio de mola. Estas válvulas são usadas em comando de cilindro de ação dupla.

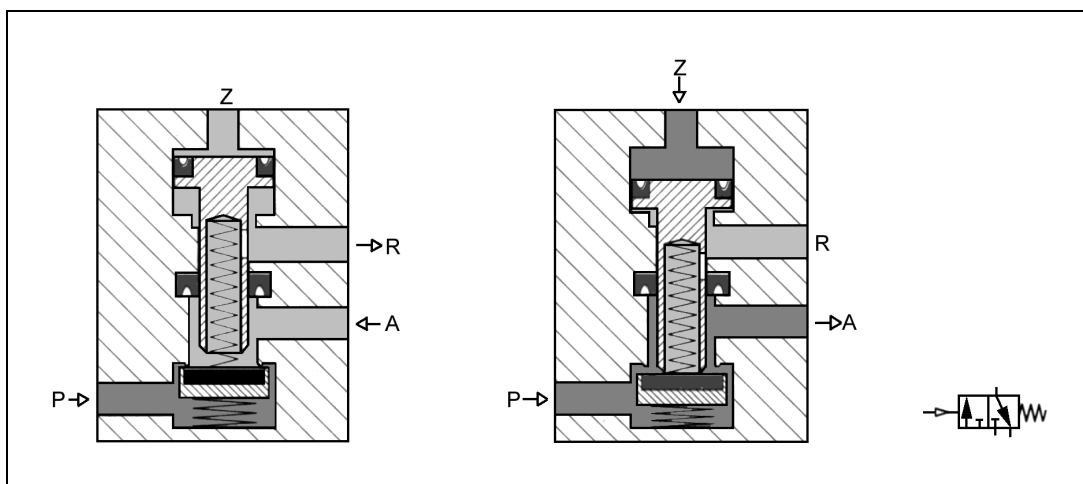


Válvula direcional de 3 vias (3/2) (sede de prato) acionada pneumáticamente

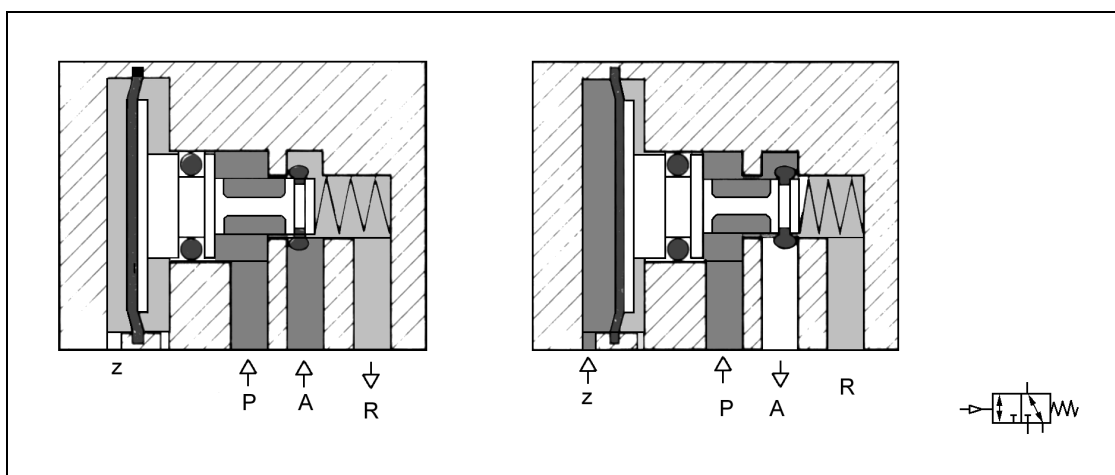
Acionando-se o pistão de comando com ar comprimido na conexão Z, será deslocado o eixo da válvula contra a mola de retorno. Os orifícios P e A serão interligados. Após a

exaustão do sinal de comando Z, o pistão de comando será recolocado na posição inicial por intermédio da mola. O prato fecha a via de P para A. O ar do canal de trabalho A pode escapar através de R.

A figura a seguir mostra uma válvula direcional de 3 vias por 2 posições (acionamento pneumático).

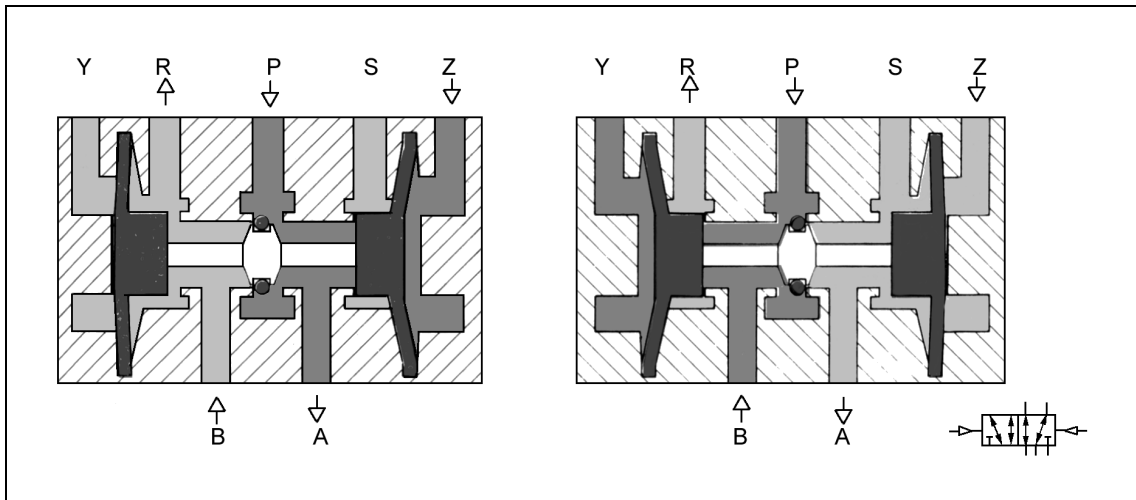


Uma outra válvula de 3/2 vias construída com sede de prato está representada na figura a seguir. A pressão de comando na conexão Z aciona uma membrana ligada ao pistão de comutação, afastando o prato de sua sede. Invertendo-se as ligações P e R, pode ser constituída uma válvula normal fechada ou aberta. A pressão mínima de acionamento é de 120kPa (1,2 bar); a pressão de trabalho é de 600kPa (6 bar). A faixa de pressão está entre 120kPa a 800kPa (1,2 a 8 bar). A vazão nominal é de 100//min.



A figura abaixo mostra uma válvula direcional de 5/2 vias (5 vias por 2 posições). Trata-se de uma válvula que trabalha segundo o princípio de assento flutuante. Esta válvula

é comutada alternadamente por impulsos, mantendo a posição de comando até receber um novo impulso (biestável). O pistão de comando desloca-se, como no sistema de correção, ao ser submetido à pressão. No centro do pistão de comando encontra-se um prato com anel vedante, o qual seleciona os canais de trabalho A e B, com o canal de entrada P de pressão. A exaustão é feita por meio dos canais R ou S.



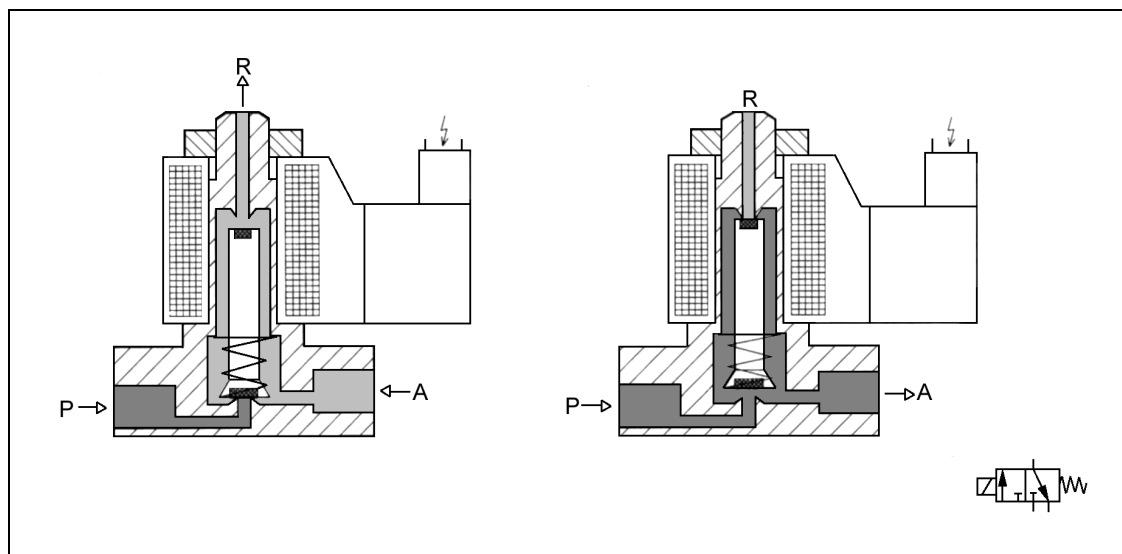
Válvulas eletromagnéticas

Estas válvulas são utilizadas onde o sinal de comando parte de um *timer* elétrico, de uma chave fim de curso elétrica, de um pressostato ou de aparelhos eletrônicos. Em comandos com distância relativamente grande e de tempo de comutação curto, escolhe-se na maioria dos casos, comando elétrico.

As válvulas de acionamento eletromagnético dividem-se em válvulas de comando direto e indireto. As de comando direto são usadas apenas para pequenas seções de passagem. Para passagens maiores são usadas as válvulas eletromagnéticas com servocomando (indireto).

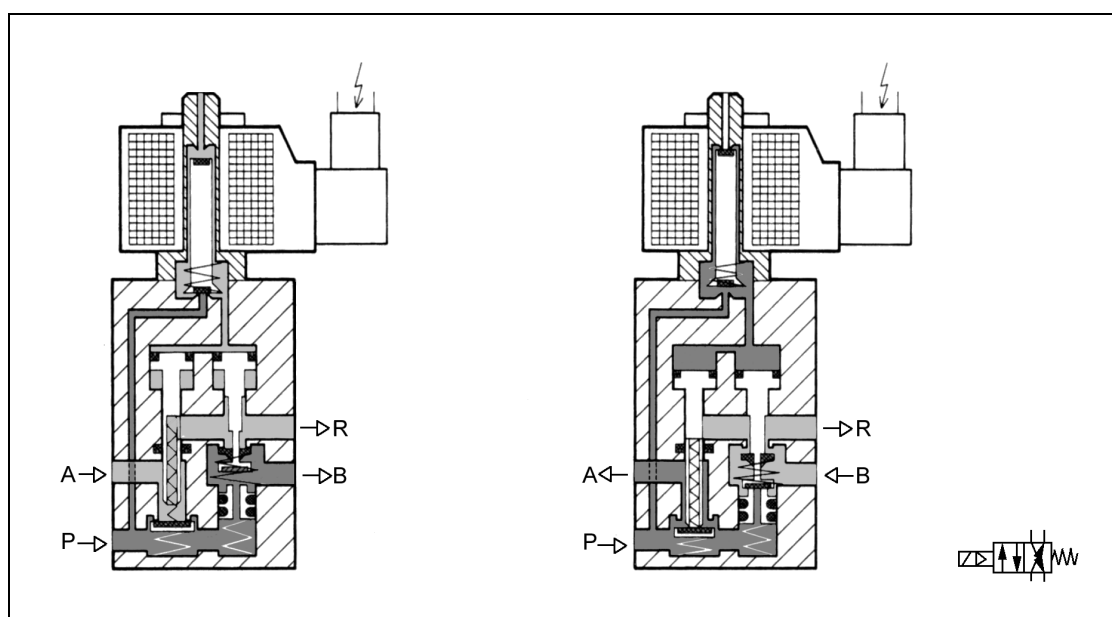
Quando energizada a bobina, o induzido é puxado para cima contra a mola. O resultado é a interligação dos canais P e A. A extremidade superior do induzido fecha o canal R. Cessando o acionamento da bobina, a mola pressiona o induzido contra a sede inferior da válvula e interrompe a ligação de P para A. O ar do canal de trabalho A escapa por R. Esta válvula tem cruzamento de ar. O tempo de atuação é curto.

A figura a seguir mostra um válvula direcional de 3 vias com 2 posições com acionamento eletromagnético.



Para poder manter pequena a construção do conjunto eletromagnético, são utilizadas válvulas solenóides com servocomando (comando indireto). Estas são formadas de duas válvulas: a válvula solenóide com servo, de medidas reduzidas e a válvula principal, acionada pelo ar do servo.

A figura a seguir mostra uma válvula direcional de 4 vias por 2 posições equipada com solenóide e servocomando.



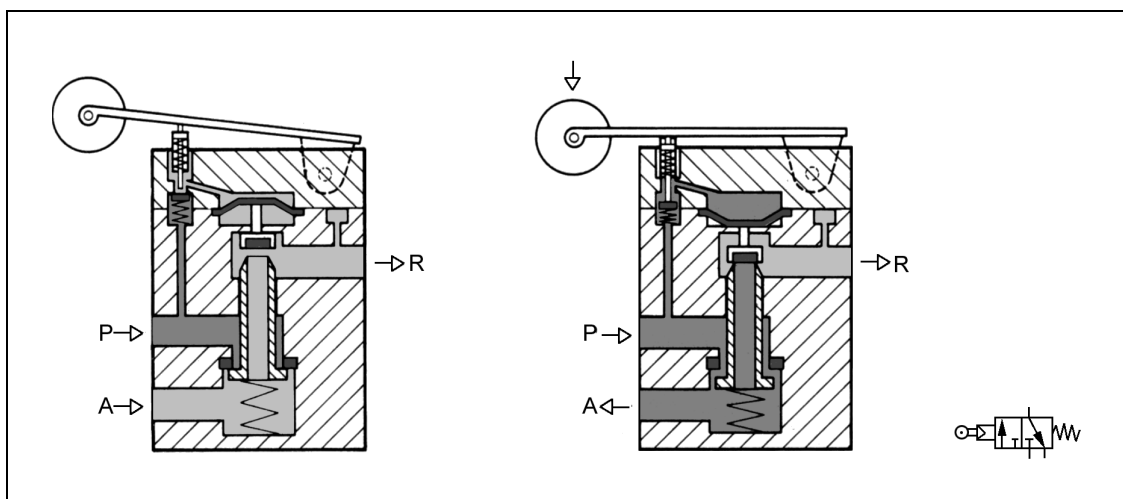
O funcionamento desta válvula se dá da seguinte maneira: da alimentação P na válvula principal deriva uma passagem para a sede da válvula de servocomando (comando indireto). O núcleo da bobina é pressionado por uma mola contra a sede da válvula piloto. Após excitação da bobina, o induzido se ergue e o ar flui para o pistão de comando da válvula principal, afastando o prato da sede. O ar comprimido pode agora fluir de P para A. O canal de exaustão R, porém, já foi fechado (sem cruzamento). Em válvulas direcionais de 4 vias (4/2), ocorre, simultaneamente, uma inversão, o lado fechado se abre e o lado aberto se fecha.

Ao desenergizar a bobina, uma mola pressiona o induzido sobre a sede e fecha o canal do ar piloto. O pistão de comando da válvula principal será recuado por uma mola na posição inicial.

Válvula direcional de 3 vias (3/2) servocomandada (princípio de sede de prato)

Para reduzir a força de atuação em válvulas direcionais com comando mecânico, é utilizado o sistema de servocomando.

A força de acionamento de uma válvula é geralmente determinante para a utilização da mesma. Esta força, em válvulas de 1/8" como a descrita, a uma pressão de serviço de 600kPa (6 bar) resulta num valor de 1,8 N (0,180kp). A figura abaixo mostra uma válvula direcional de 3 vias por 2 posições, com acionamento por rolete, servocomandada (normal fechada).

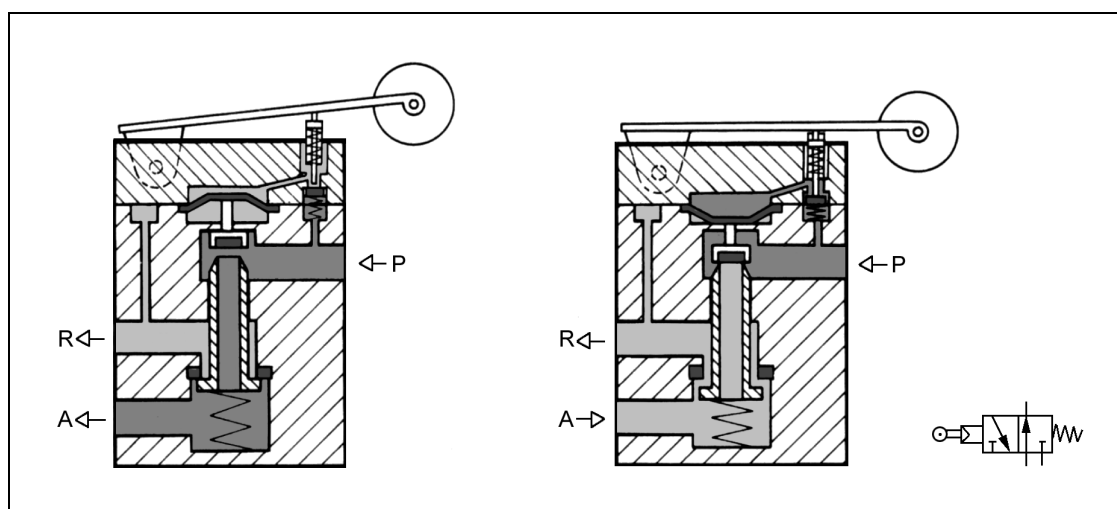


A válvula piloto é alimentada através de uma pequena passagem com o canal de alimentação P. Acionando a alavanca do rolete, abre-se a válvula de servocomando. O ar comprimido flui para a membrana e movimenta o prato da válvula principal para baixo.

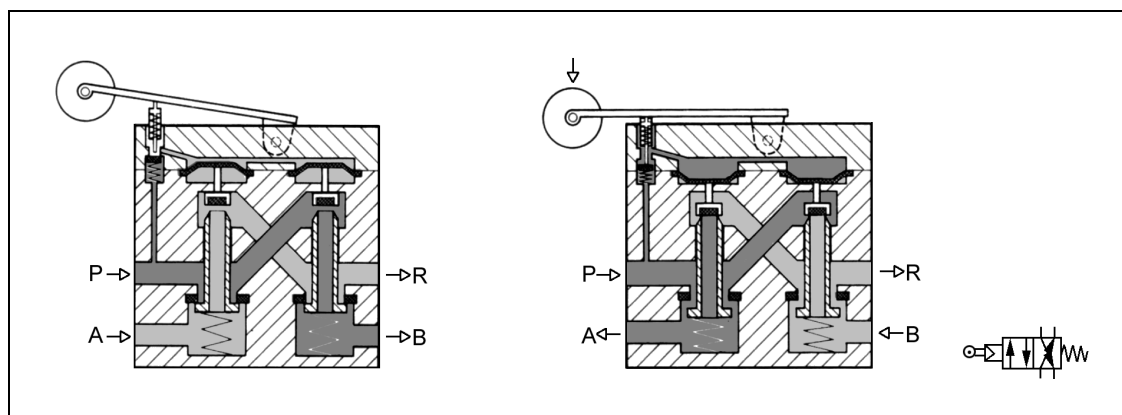
Primeiro, fecha-se a passagem de A para R; em seguida, abre-se a passagem de P para A. O retorno é feito após soltar-se a alavanca do rolete. Isto provoca o fechamento da passagem do ar para a membrana, e posterior exaustão. Uma mola repõe o pistão de comando da válvula principal na posição inicial.

Este tipo de válvula também pode ser utilizado como válvula normal aberta ou fechada. Devem ser intercambiadas apenas as ligações P e R e deslocada em 180° a unidade de acionamento (cabeçote).

A figura a seguir mostra uma válvula direcional de 3 vias por 2 posições, com acionamento por rolete, servocomandada (normal aberta).



Em válvulas direcionais servopilotadas de 4 vias (4/2) serão, através da válvula piloto, acionadas simultaneamente duas membranas e dois pistões de comando que conectam os pontos de ligação. A força de acionamento não se altera; é de 1,8N (0,180kp). A figura a seguir mostra uma válvula direcional de 4 vias por 2 posições (servopilotada).



Válvulas corredeças

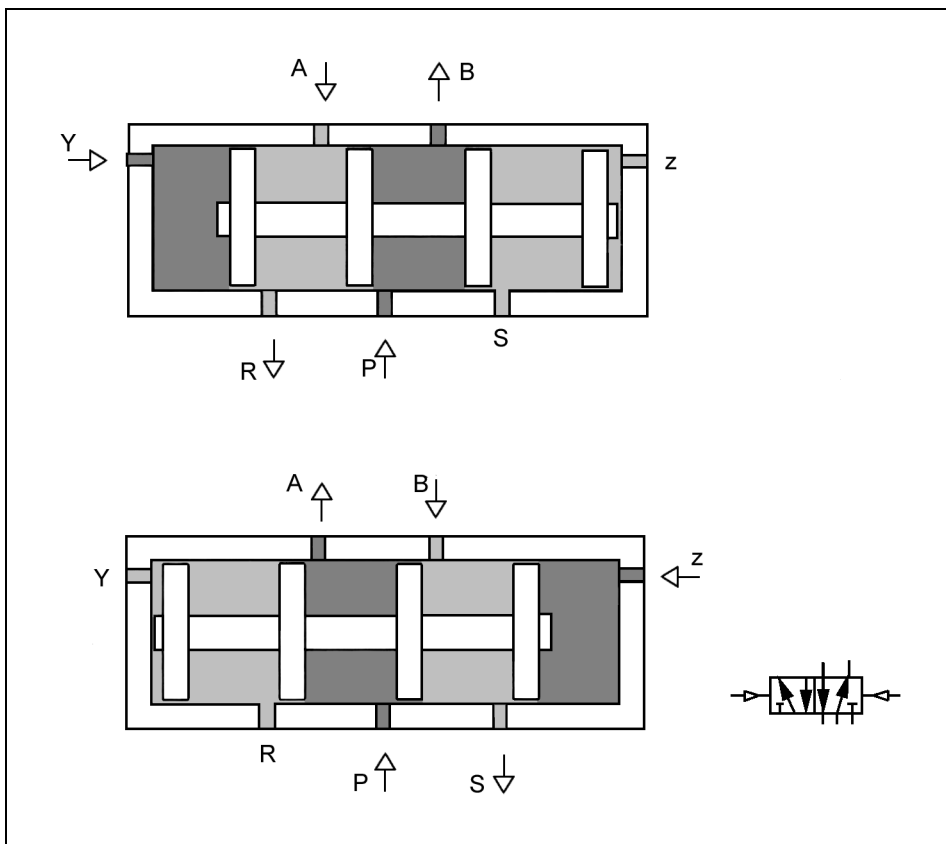
Os diversos pontos de ligação das válvulas corredeças serão interligados e fechados por pistões corredeças, comutadores corredeças ou discos giratórios.

Válvula corredeça longitudinal

Esta válvula tem como elemento de comando um pistão que seleciona as ligações mediante seu movimento longitudinal. A força de acionamento é pequena, pois não é necessário vencer a pressão do ar ou da mola, ambas inexistentes (como nos princípios de sede esférica e de prato). Neste tipo de válvulas são possíveis todos os tipos de acionamentos: manual, mecânico, elétrico e pneumático, o mesmo e válido também para o retorno à posição inicial.

O curso é consideravelmente mais longo do que as válvulas de assento assim como os tempos de comutação.

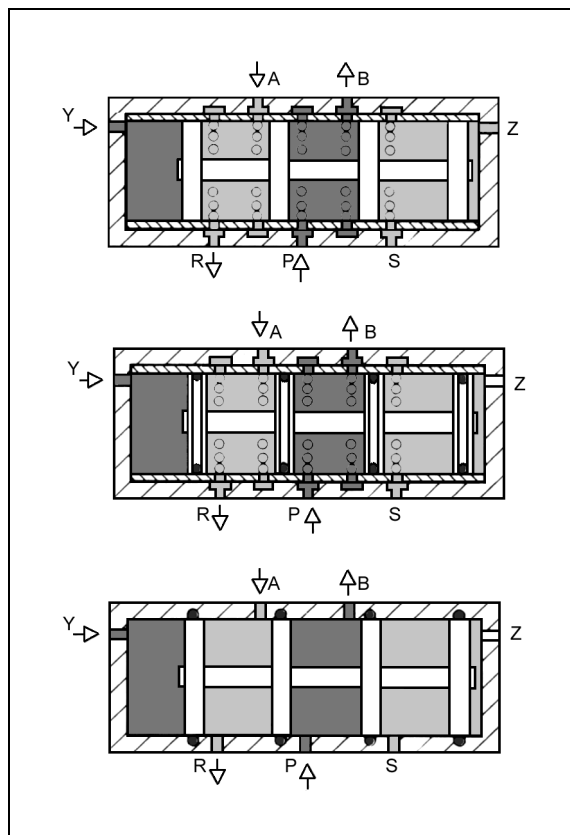
A figura abaixo mostra uma válvula direcional de 5 vias por 2 posições, utilizando o princípio de corredeça longitudinal.



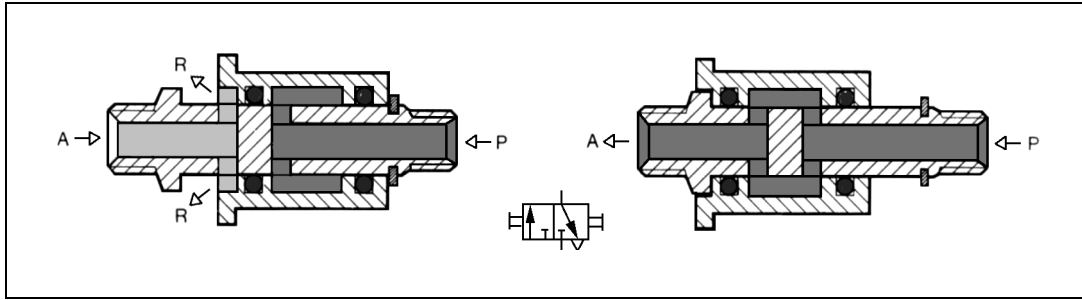
A vedação nesta execução de válvula corredeça é bastante problemática. A conhecida vedação "metal sobre metal" da hidráulica, requer um perfeito ajuste da corredeça no

corpo. A folga entre a corrediça e o cilindro em válvulas pneumáticas não deve ser maior do que 0,002 a 0,004mm. Uma folga maior provocaria grandes vazamentos internos. Para diminuir as despesas para este custoso ajuste, veda-se geralmente com anéis "O" (O-Ring) ou com guarnições duplas tipo copo, montados no pistão (dinâmico) ou com anéis "O" (O-Ring) no corpo da válvula (estático).

As aberturas de passagem de ar podem ser distribuídas na circunferência das buchas do pistão evitando assim danificações dos elementos vedantes. A figura abaixo mostra os tipos de vedação entre êmbolo e corpo de válvula.



A figura a seguir mostra uma simples válvula corrediça longitudinal manual de 3 vias por 2 posições. Por deslocamento da bucha serão unidas as passagens de P para A ou de A para R. Esta válvula, de construção simples, é utilizada como válvula de fechamento (alimentação geral) antes da máquina ou dispositivo pneumático.

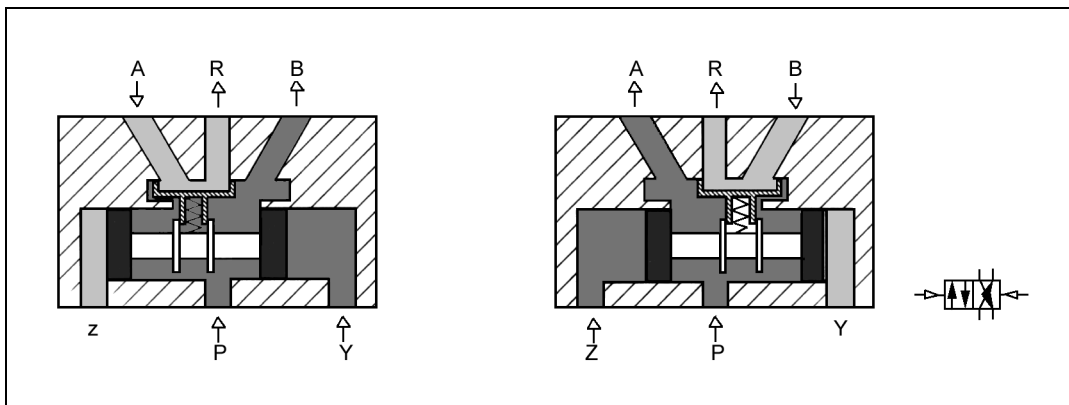


Válvula corredeja plana longitudinal

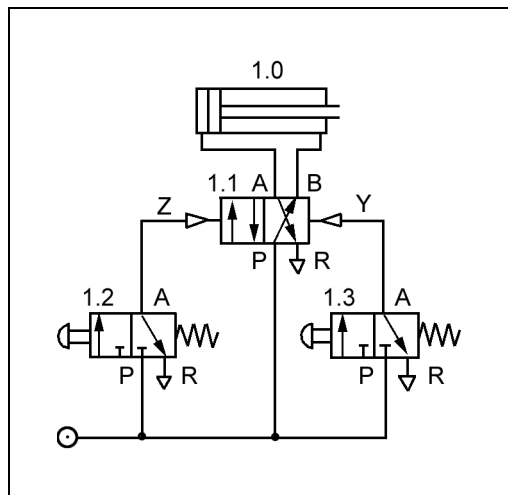
Esta construção tem para comutação, um pistão de comando. A seleção das ligações é feita, porém, por uma corredeja plana adicional. Uma boa vedação ao deslizar é também garantida. A corredeja se ajusta automaticamente pela pressão do ar e pela mola montada. As câmaras de ar são vedadas por anéis "O" (O-Ring) montados no pistão de comando; não existem furos na camisa do pistão que poderiam provocar danificação na vedação.

A figura a seguir mostra uma válvula direcional corredeja plana longitudinal de 4 vias por 2 posições de comando, com comutação feita por impulso pneumático. Mediante um breve impulso pneumático na ligação de comando Y, a corredeja une P com B e A com R e outro impulso do lado Z liga P com A e B com R.

Tirando o ar da linha de comando, o pistão permanece em posição estável até que seja dado outro sinal do lado oposto (comportamento biestável).



O esquema representado abaixo mostra um comando por impulso positivo bilateral de pressão, utilizando uma válvula corredeja plana longitudinal.



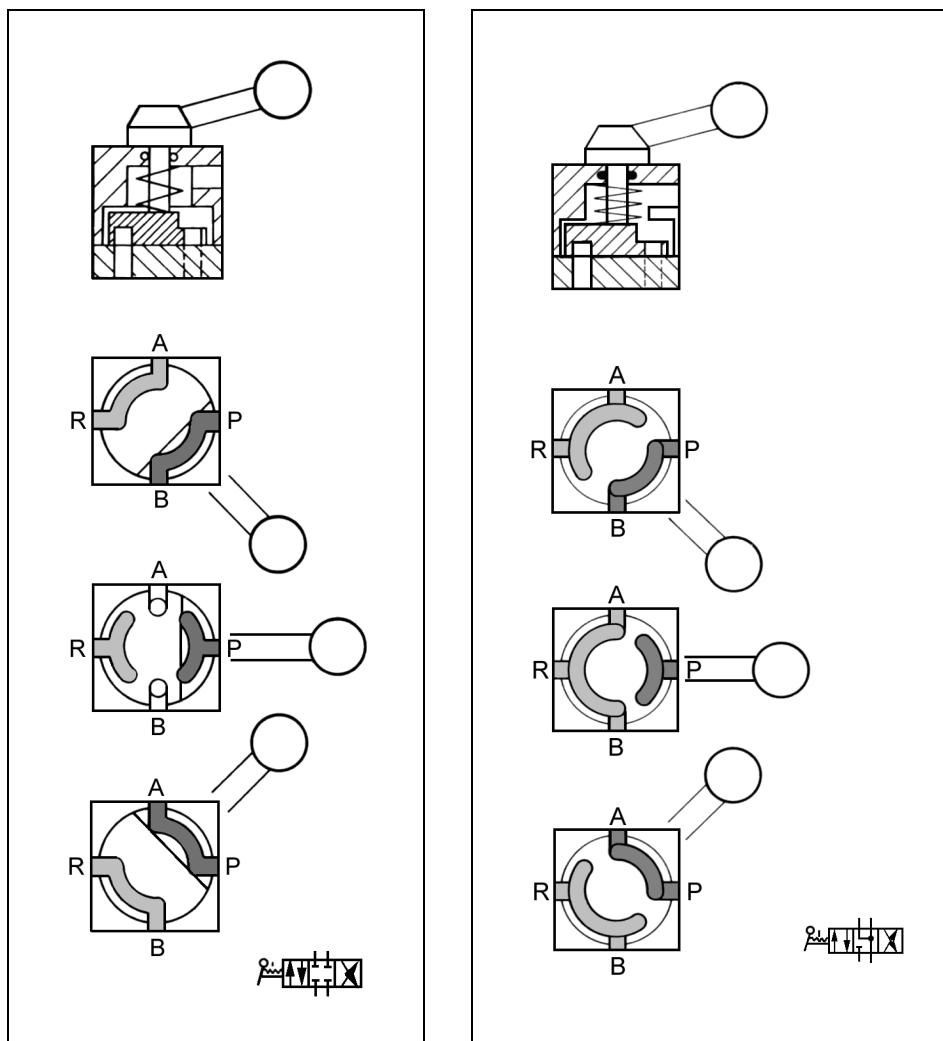
Válvula corredeira giratória

Estas válvulas são geralmente de acionamento manual ou por pedal. É difícil adaptar-se outro tipo de acionamento a essas válvulas. São fabricadas geralmente como válvulas direcionais de 3/3 vias ou 4/3 vias. Mediante o deslocamento rotativo de duas corredeiras pode ser feita a comunicação dos canais entre si.

A figura à esquerda mostra que na posição central todos os canais estão bloqueados. Devido a isso, o êmbolo do cilindro pode parar em qualquer posição do seu curso, porém essas posições intermediárias não podem ser fixadas com exatidão. Devido a compressibilidade do ar comprimido, ao variar a carga a haste também varia sua posição.

Prolongando os canais das corredeiras, consegue-se um outro tipo de posição central.

A figura à direita mostra que na posição central os canais A e B estão conectados com o escape. Nesta posição, o êmbolo do cilindro pode ser movido por força externa, até a posição de ajuste.



a. *Válvula corredeira giratória (posição central fechada)*

b. *Válvula corredeira giratória (posição central em exaustão)*

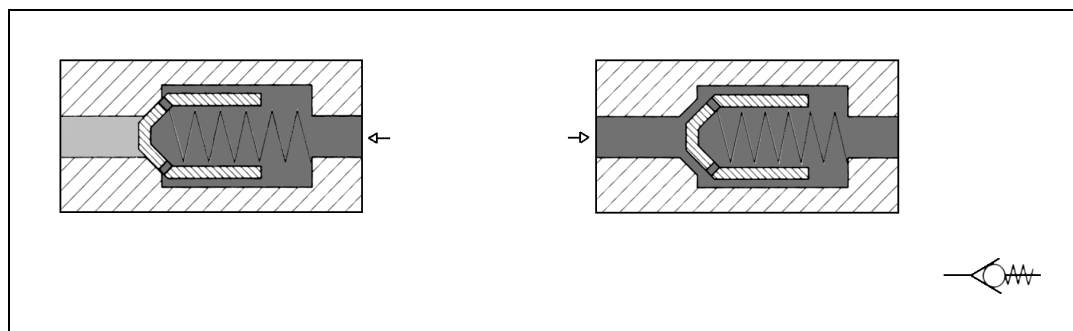
Válvulas de bloqueio

São elementos que bloqueiam a passagem preferentemente em um só sentido, permitindo passagem livre em direção contrária. A pressão do lado de entrada, atua sobre o elemento vedante e permite com isso uma vedação perfeita da válvula.

Válvula de retenção

Estas válvulas impedem completamente a passagem em uma direção; em direção contrária, o ar flui com a mínima queda de pressão. O fechamento em um sentido pode ser feito por cone, esfera, placa ou membrana.

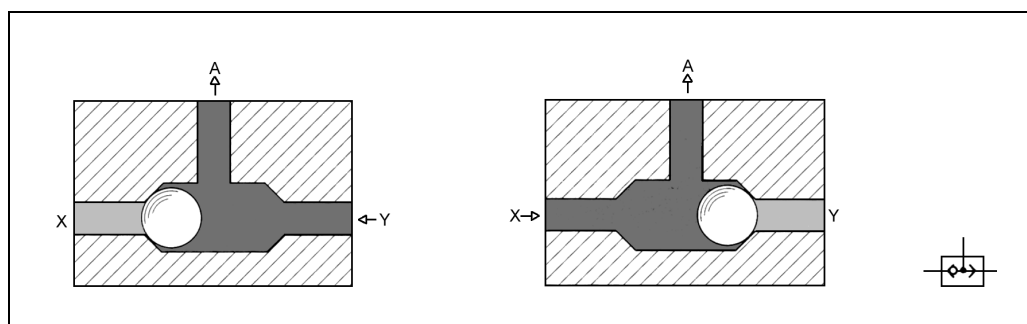
A figura abaixo mostra uma válvula de retenção com fechamento por atuação de contra pressão, por exemplo, por mola. A válvula permanecerá fechada quando pressão de entrada for menor ou igual a de saída.



Válvula alternadora

Também chamada "Elemento OU (OR)". Esta válvula possui duas entradas X e Y, e uma saída A. Quando o ar comprimido entra em X, a esfera bloqueia a entrada Y e o ar circula de X para A. Em sentido contrário quando o ar circula de Y para A, a entrada X fica bloqueada. Quando o ar retorna, quer dizer, quando um lado de um cilindro ou de uma válvula entra em exaustão, a esfera permanece na posição em que se encontrava antes do retorno do ar.

A figura abaixo mostra uma válvula alternadora.

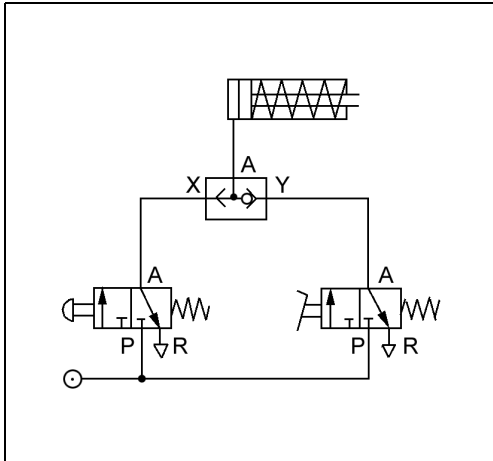


Estas válvulas seleciona sinais emitidos por válvulas de "sinais" provenientes de diversos pontos e impede o escape de ar por uma segunda válvula.

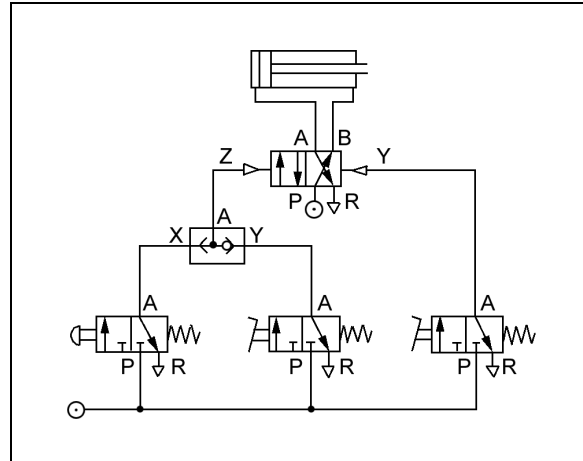
Se um cilindro ou uma válvula de comando deve ser acionados de dois ou mais lugares, é necessária a utilização desta válvula alternadora.

Exemplo

A haste de um cilindro deve avançar ao ser acionada uma válvula com atuação manual, ou opcionalmente também através de um pedal.



Comando para um cilindro de ação simples

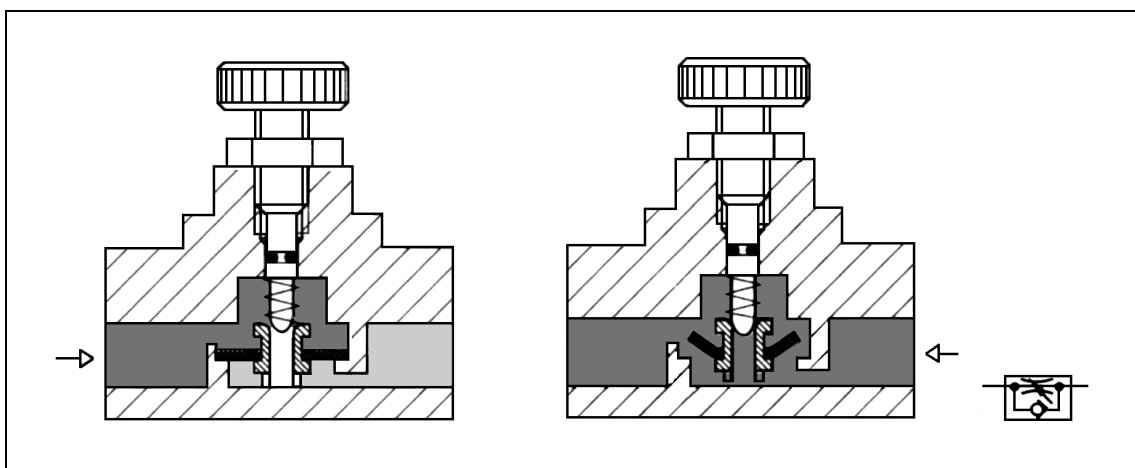


Comando para um cilindro de ação dupla

Válvula reguladora de fluxo unidirecional

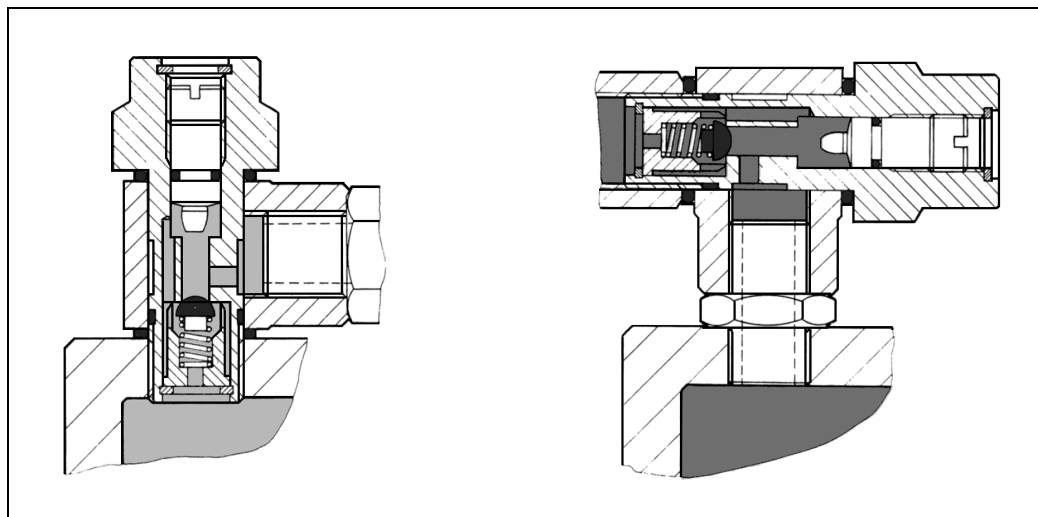
Também conhecida como "válvula reguladora de velocidade" ou regulador unidirecional. Nesta válvula a regulação do fluxo é feita somente em uma direção. Uma válvula de retenção fecha a passagem numa direção e o ar pode fluir somente através da secção regulável. Em sentido contrário, o ar passa livre através da válvula de retenção aberta. Estas válvulas são utilizadas para a regulação da velocidade em cilindros pneumáticos.

Para os cilindros de ação dupla, são possíveis dois tipos de regulação. As válvulas reguladoras de fluxo unidirecional devem ficar o mais próximo possível dos cilindros. A figura mostra uma válvula reguladora de fluxo unidirecional.



A figura seguinte mostra outro tipo de construção. A função é a mesma, só que neste caso a passagem de ar comprimido não é fechada por uma membrana. Em seu lugar é utilizado um elemento semi-esférico.

A válvula é montada diretamente no cilindro. Pode ser usada para limitar a vazão de saída ou de entrada. No último caso, deverá ser colocada invertida (usando-se duas conexões).

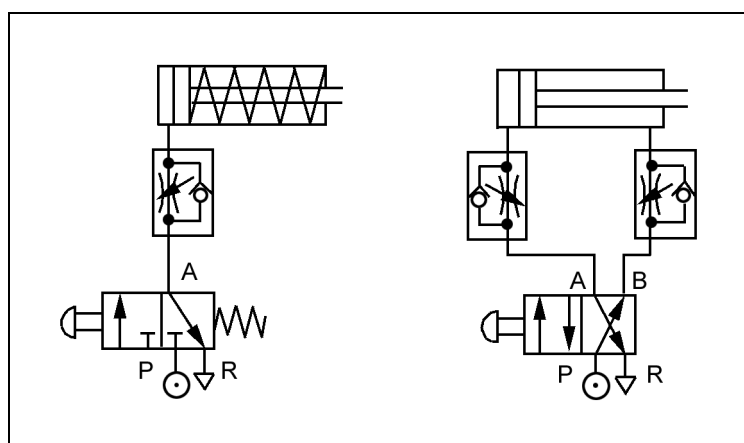


Regulagem da saída de ar

Regulagem da entrada de ar

Regulagem da entrada de ar (regulagem primária)

Neste caso, as válvulas reguladoras de fluxo unidirecional são montadas de modo que o estrangulamento seja feito na entrada do ar para o cilindro. O ar de retorno pode fluir para atmosfera pela válvula de retenção. Ligeiras variações de carga na haste do pistão, provocadas, por exemplo, ao passar pela chave fim de curso, resultam em grandes diferenças de velocidade do avanço. Por esta razão, a regulagem na entrada é utilizada unicamente para cilindros de ação simples ou de pequeno volume.

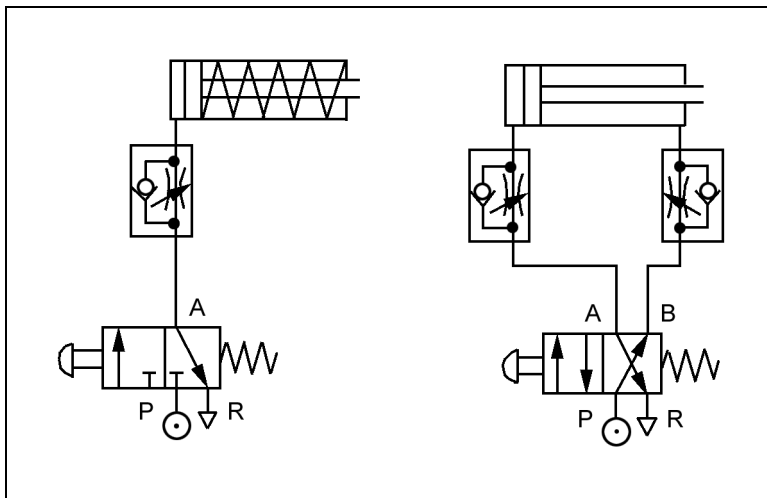


Regulagem da saída de ar (regulagem secundária)

Neste caso o ar de alimentação entra livremente no cilindro, sendo estrangulado o ar de saída. Com isso, o êmbolo fica submetido a duas pressões de ar. Esta montagem

da válvula reguladora de fluxo unidirecional melhora muito a conduta do avanço, razão pela qual a regulagem em cilindros de ação dupla, deve ser efetuada na saída do ar da câmara do cilindro.

Em cilindros de pequeno diâmetro (pequeno volume) ou de pequeno curso, a pressão no lado da exaustão não pode aumentar com suficiente rapidez, sendo eventualmente obrigatório o emprego conjunto de válvulas reguladoras de fluxo unidirecional para a entrada e para a saída do ar das câmaras dos cilindros, a fim de se conseguir a velocidade desejada.



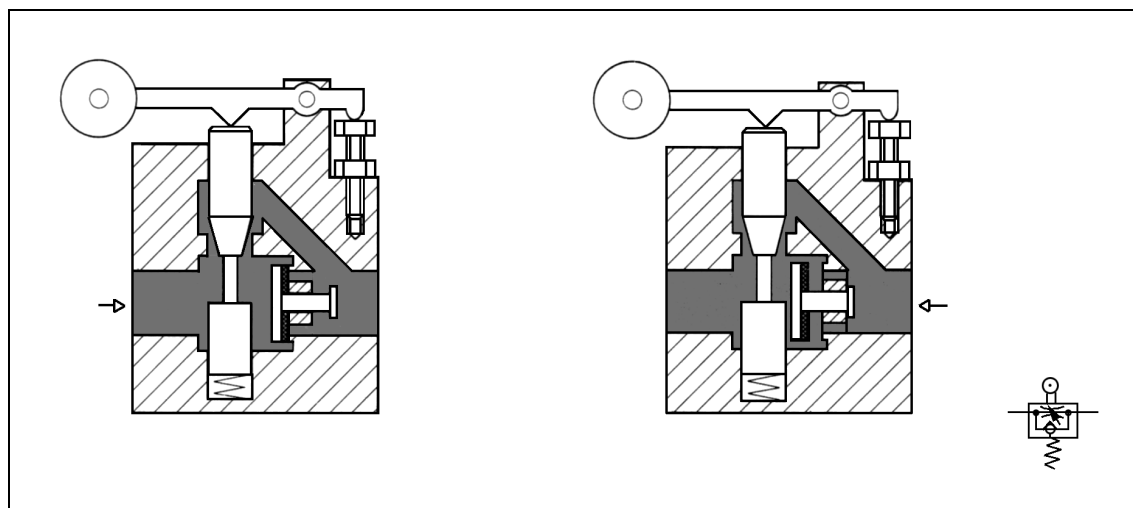
Válvula reguladora de fluxo unidirecional com acionamento mecânico regulável (com rolete)

São utilizadas quando houver necessidade de alterar a velocidade de um cilindro, de ação simples ou dupla, durante o seu trajeto. Para os cilindros de ação dupla, podem ser utilizadas como amortecimento de fim de curso. Antes do avanço ou recuo se completar, a massa de ar é sustentada por um fechamento ou redução da secção transversal da exaustão. Esta aplicação se faz quando for recomendável um reforço no amortecimento de fim de curso.

Por meio de um parafuso pode-se regular uma velocidade inicial do êmbolo. Um came, que força o rolete para baixo, regula a secção transversal de passagem.

Em sentido contrário, o ar desloca uma vedação do seu assento e passa livremente.

A figura abaixo mostra uma válvula reguladora de fluxo unidirecional com acionamento mecânico regulável (com rolete).



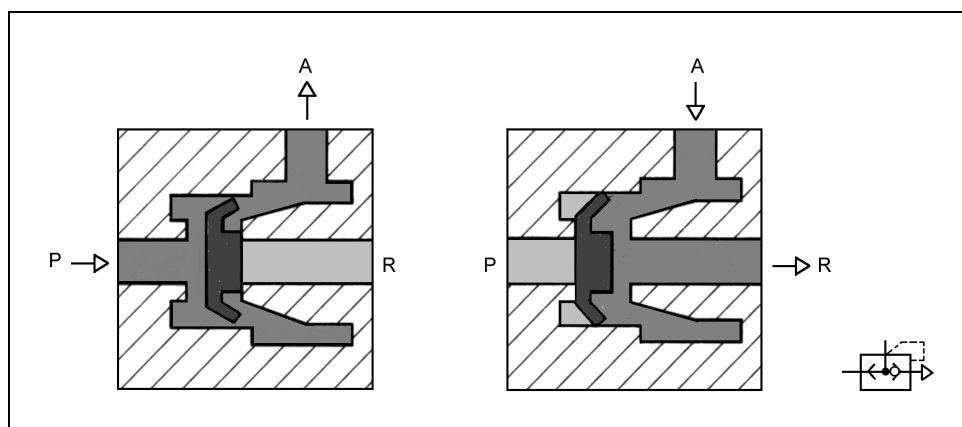
Válvula de escape rápido

Estas válvulas são usadas para aumentar a velocidade dos êmbolos dos cilindros. Tempos de retorno elevados, especialmente em cilindros de ação simples podem ser eliminados dessa forma.

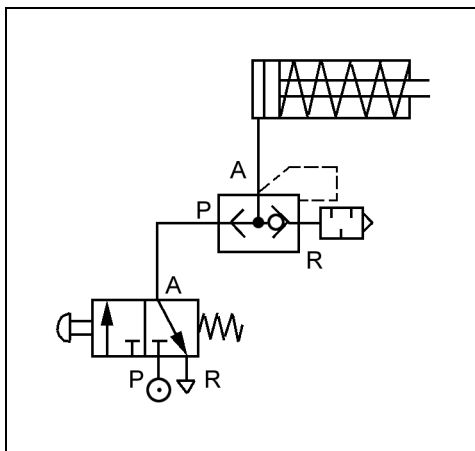
A válvula é dotada de uma conexão de pressão P, uma conexão de escape R bloqueado e uma saída A.

Quando se aplica pressão em P, a junta desloca-se contra o assento e veda o escape R. O ar circula até a saída A. Quando a pressão em P deixa de existir, o ar, que agora retorna pela conexão A, movimenta a junta contra a conexão P provocando seu bloqueio. Dessa forma, o ar pode escapar por R rapidamente para a atmosfera. Evita-se com isso, que o ar de escape seja obrigado a passar por uma canalização longa e de diâmetro pequeno até a válvula de comando. O mais recomendável é colocar o escape rápida diretamente no cilindro ou então o mais próximo possível do mesmo.

A figura abaixo mostra uma válvula de escape rápido.



O esquema abaixo mostra o posicionamento da válvula de escape rápido para um cilindro de ação simples.



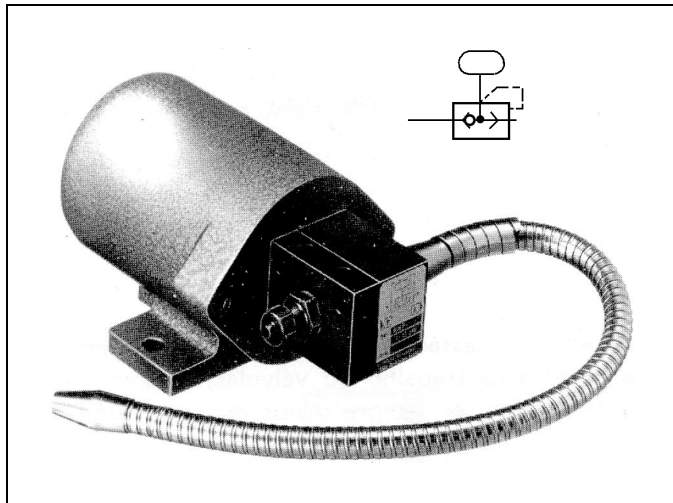
Expulsor pneumático

Na indústria, há muito tempo é utilizado o ar comprimido para limpar e expulsar peças. O consumo de ar é neste caso, muito alto. Ao contrário do método conhecido, no qual o consumo do ar da rede é contínuo, com o expulsor o trabalho se torna mais econômico. O elemento, consiste de um reservatório com uma válvula de escape rápido. O volume do reservatório corresponde ao volume de ar necessário.

Uma válvula direcional de 3/2 vias, aberta na posição inicial é utilizada como elemento de sinal. O ar passa pela válvula e pela válvula de escape rápido até o pequeno reservatório. Ao acionar a válvula de 3/2 vias, a passagem de ar é interrompida para o reservatório e o canal até a válvula de escape rápido será exaurido. O ar do depósito escapa então rapidamente pela válvula de escape rápido para a atmosfera. A vazão de ar concentrada permite expulsar peças de dispositivos e ferramentas de corte, de esteiras transportadoras, dispositivos classificadores e equipamentos de embalagens.

O sinal para a expulsão pode ser feito de forma manual, mecânica, pneumática ou elétrica.

A figura a seguir mostra o expulsor pneumático.

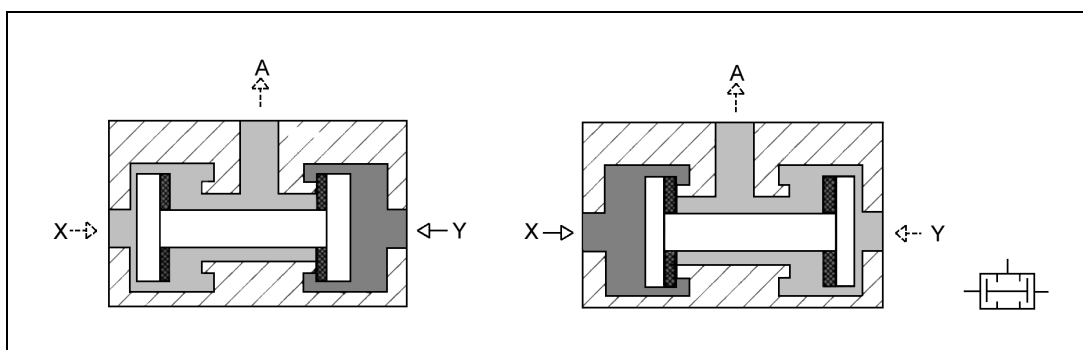


Válvula de simultaneidade

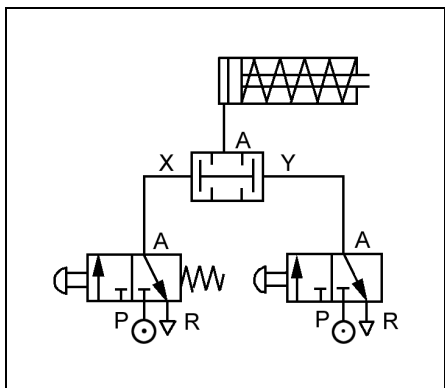
Esta válvula possui duas entradas X e Y e uma saída A. O ar comprimido pode passar unicamente quando houver pressão em ambas as entradas. Um sinal de entrada em X ou Y impede o fluxo para A em virtude do desequilíbrio das forças que atuam sobre a peça móvel. Quando existe uma diferença de tempo das pressões, a última é a que chega na saída A. Se os sinais de entrada são de pressões diferentes, a maior bloqueia um lado da válvula e a pressão menor chega até a saída A. Esta válvula é também chamada de "elemento E (AND)".

É utilizada em comandos de bloqueio, funções de controle e operações lógicas.

A figura abaixo mostra a válvula de simultaneidade.



O esquema a seguir mostra o comando para um cilindro de ação simples:



Válvulas de pressão

São válvulas que têm influência principalmente sobre a pressão, e pelas quais podem ser feitas as regulagens; ou válvulas que dependem da pressão em comandos.

Distinguem-se:

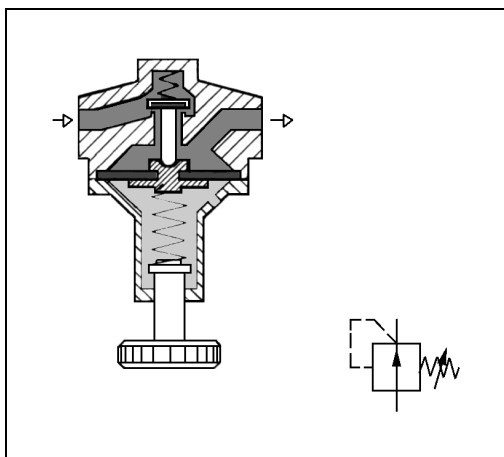
- Válvula reguladora de pressão;
- Válvula limitadora de pressão;
- Válvula de seqüência.

Válvula reguladora de pressão

Essa válvula tem a tarefa de manter constante a pressão de trabalho, isto é, transmitir a pressão ajustada no manômetro sem variação aos elementos de trabalho ou válvulas, mesmo com a pressão oscilante da rede. A pressão de entrada mínima deve ser sempre maior que a pressão de saída.

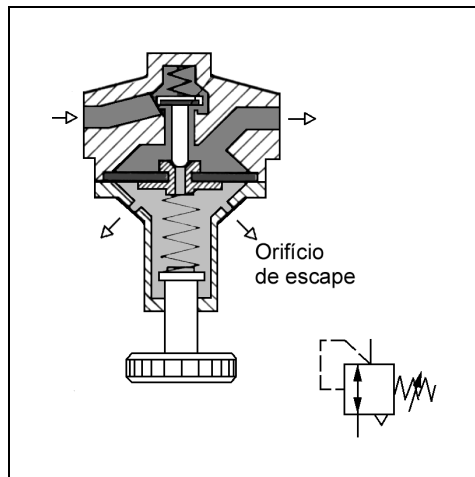
Regulador de pressão sem orifício de escape

A desvantagem desta válvula é que na parte central da membrana não existe o orifício de escape e portanto, o ar em excesso na saída, não pode escapar para a atmosfera.



Regulador de pressão com orifício de escape

Ao contrário do funcionamento da anterior, é possível compensar uma sobrepressão secundária. O excesso de pressão no lado secundário além da pressão pré-ajustada, é eliminado através do orifício de escape.



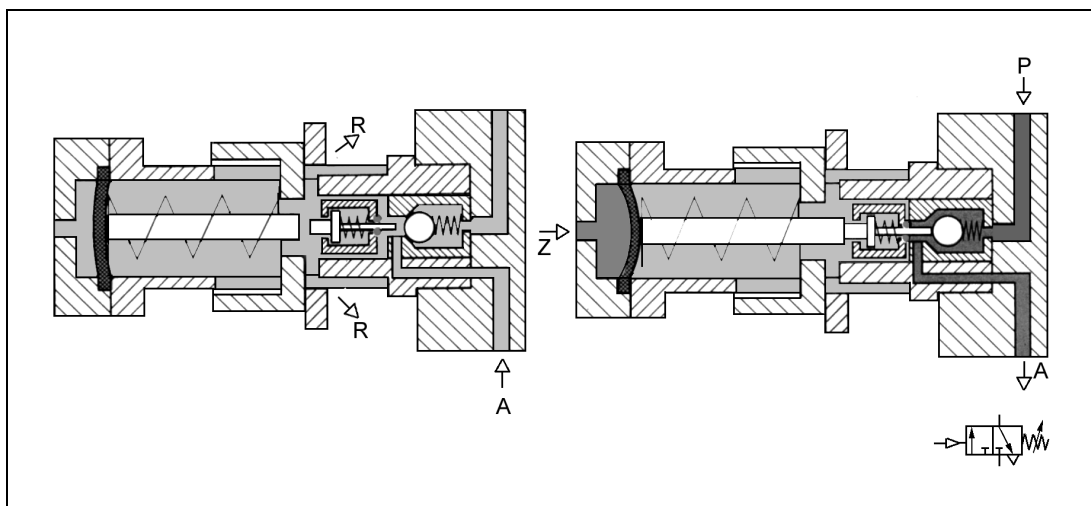
Válvula limitadora de pressão

Estas válvulas são utilizadas, sobretudo, como válvula de segurança (válvula de alívio). Não permitem um aumento da pressão no sistema, acima da pressão máxima ajustada. Alcançada na entrada da válvula o valor máximo da pressão, abre-se a saída e o ar escapa para a atmosfera. A válvula permanece aberta até que a mola, após a pressão ter caído abaixo do valor ajustado, volte a fechá-la.

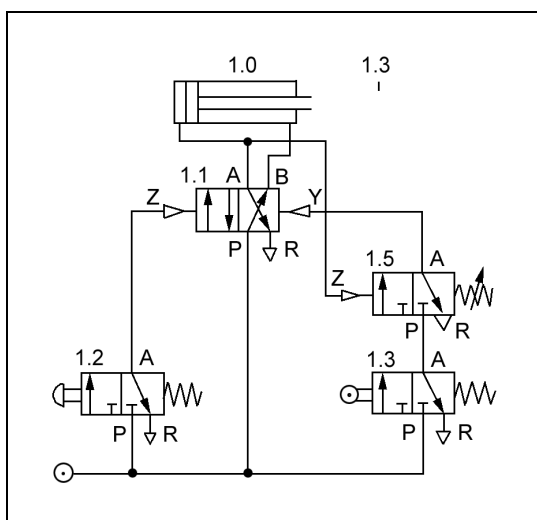
Válvula de seqüência

O funcionamento é muito similar ao da válvula limitadora de pressão. Abre-se a passagem quando é alcançada uma pressão superior à ajustada pela mola. Quando no comando Z é atingida uma certa pressão pré-ajustada, o êmbolo atua uma válvula 3/2 vias, de maneira a estabelecer um sinal na saída A.

Estas válvulas são utilizadas em comandos pneumáticos que atuam quando há necessidade de uma pressão fixa para o processo de comutação (comandos em função da pressão). O sinal é transmitido somente quando for alcançada a pressão de comando a figura a seguir mostra os detalhes internos da válvula de seqüência.

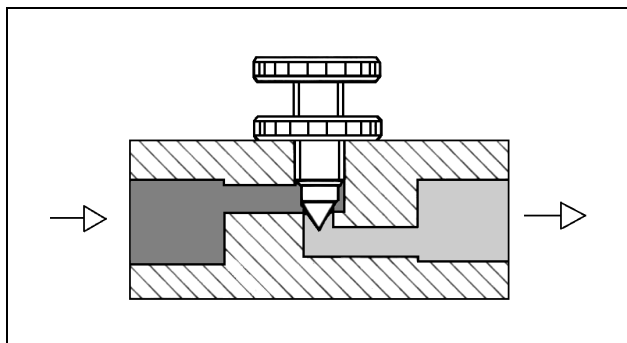


O esquema do comando para um cilindro de ação dupla montado abaixo mostra que a haste do cilindro 1.0 retorna somente após a válvula de seqüência 1.5 ter alcançado a pressão regulada.



Válvulas de fluxo

Estas válvulas têm influência sobre a quantidade de ar comprimido que flui por uma tubulação; a vazão será regulada em ambas as direções do fluxo. A figura a seguir mostra uma válvula de estrangulamento regulável.



Válvula reguladora de vazão com estrangulamento constante

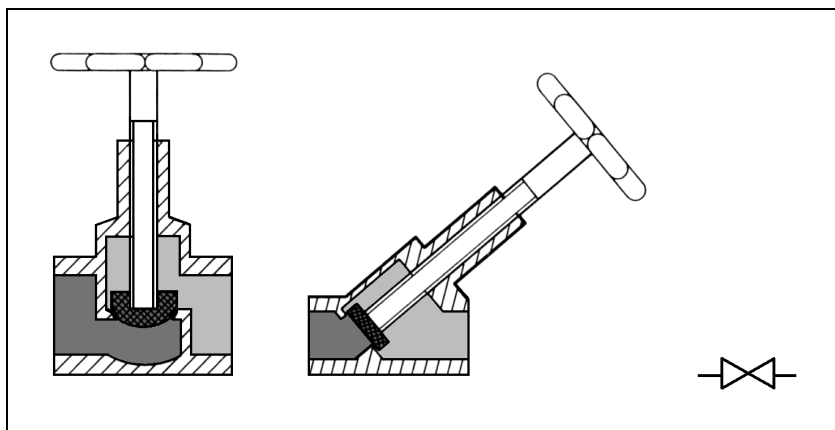
Válvula de estrangulamento: nesta válvula, o comprimento do estrangulamento é maior do que o diâmetro.	
Válvula de membrana: nesta válvula o comprimento do estrangulamento é menor do que o diâmetro.	

Válvula reguladora de vazão com estrangulamento regulável

Válvula reguladora de fluxo.	
Válvula reguladora de fluxo com acionamento mecânico e retorno por mola.	

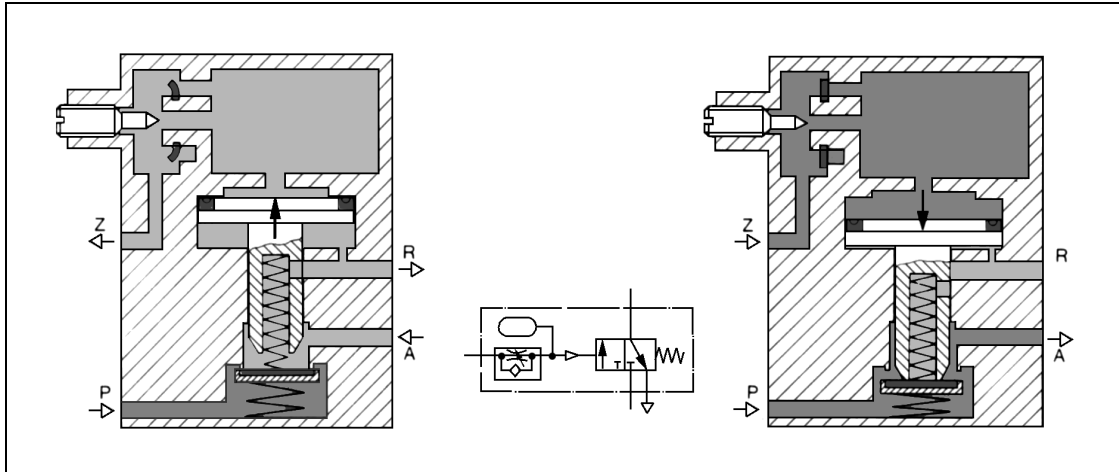
Válvulas de fechamento

São válvulas que abrem e fecham a passagem do fluxo, sem escalas, utilizadas como torneira ou registro. A figura a seguir mostra os detalhes internos de um registro.



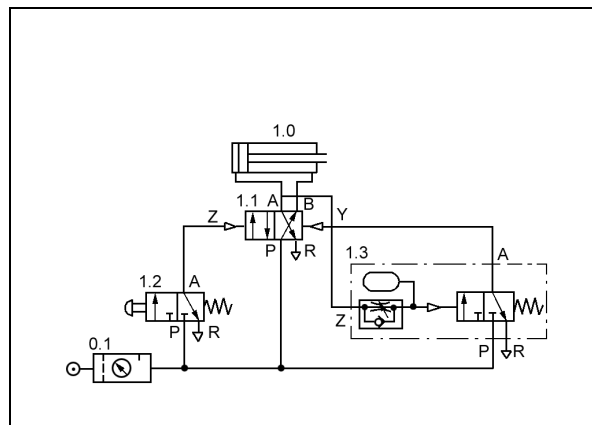
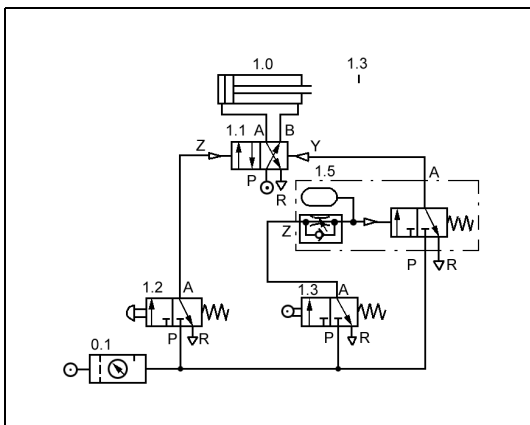
Acionamento pneumático com comutação retardada (temporizador)

Esta unidade consiste de uma válvula direcional de 3/2 vias, com acionamento pneumático, de uma válvula reguladora de fluxo unidirecional e um reservatório de ar. A figura abaixo mostra os detalhes internos de um temporizador (normalmente fechado).

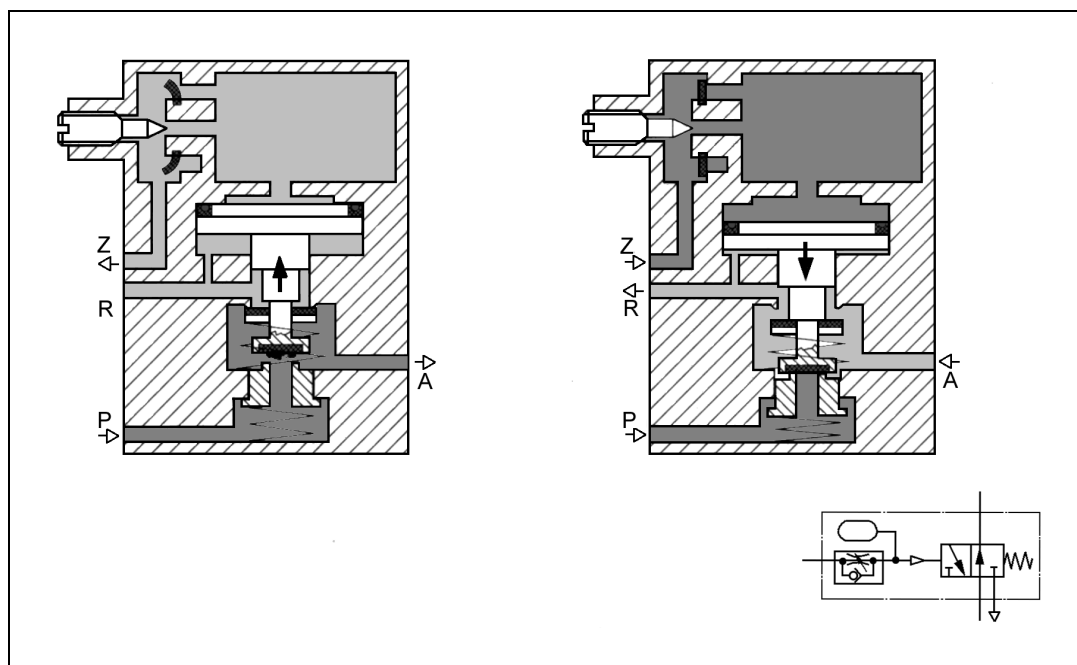


O funcionamento do temporizador consiste na entrada do ar comprimido na válvula pelo orifício P. O ar de comando entra na válvula pelo orifício Z e passa através de uma reguladora de fluxo unidirecional; conforme o ajuste da válvula, passa uma quantidade maior ou menor de ar por unidade de tempo para o depósito de ar, incorporado. Alcançada a pressão necessária de comutação, o êmbolo de comando afasta o prato do assento da válvula dando passagem de ar de P para A. O tempo de formação da pressão no reservatório corresponde ao retardo da válvula.

Para que a válvula temporizadora retorne à sua posição inicial, é necessário exaurir o ar do orifício Z. O ar do reservatório escapa através da válvula reguladora de fluxo; o piloto da válvula direcional fica sem pressão, permitindo que a mola feche a válvula, conectando a saída A com o escape R.



A figura abaixo mostra os detalhes internos de um temporizador (normalmente aberto) Esta válvula também é uma combinação de válvulas, integrada por uma válvula de 3/2 vias, uma válvula reguladora de fluxo unidirecional e um reservatório de ar. A válvula direcional 3/2 vias é uma válvula normalmente aberta.



Também neste caso, o ar de comando entra em Z; uma vez estabelecida no reservatório a pressão necessária para o comando, é atuada a válvula de 3/2 vias. Devido a isso, a válvula fecha a passagem P para A. Nesse instante o orifício A entra em exaustão com R. O tempo de retardo corresponde também ao tempo necessário para estabelecer a pressão no reservatório.

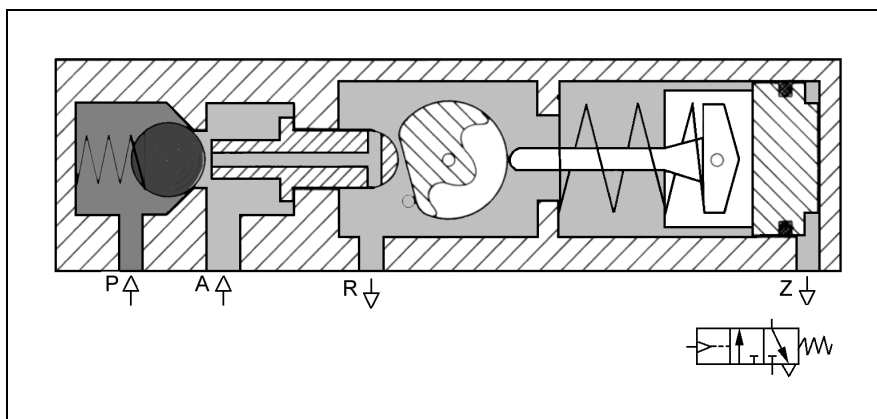
Caso for retirado o ar de Z, a válvula de 3/2 vias voltará à sua posição inicial.

Em ambos os temporizadores, o tempo de retardo normal é de 0 a 30 segundos. Este tempo pode ser prolongado com um depósito adicional. Se a ar é limpo e a pressão constante, podem ser obtidas temporizações exatas.

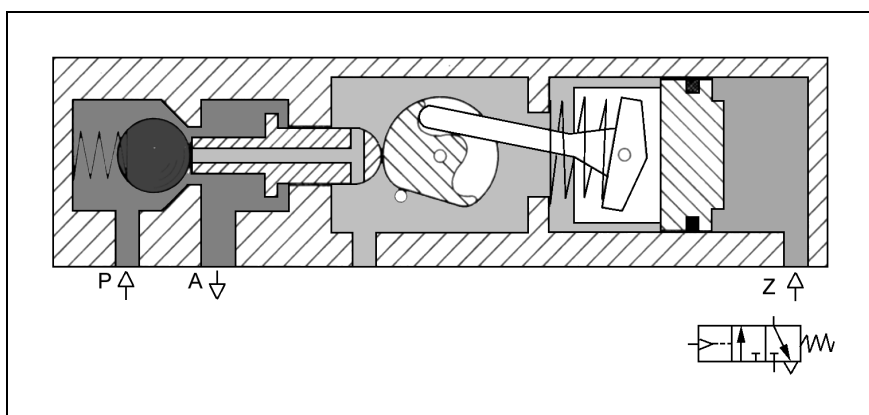
Válvula direcional de 3/2 vias com divisor binário

Este elemento consiste de uma válvula direcional de 3/2 vias normalmente fechada, um êmbolo de comando com haste basculante e um came. O acionamento é pneumático.

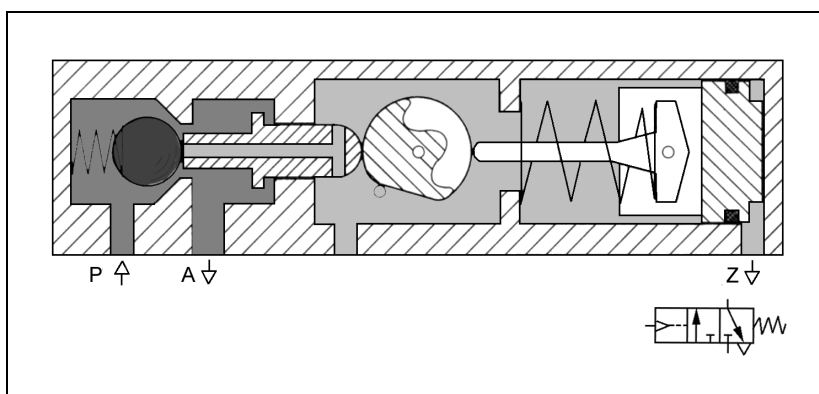
Quando o êmbolo de comando não está submetido à pressão, a haste encontra-se fora do alcance do came de comando como mostra a figura a seguir.



Se for introduzido ar no orifício Z o êmbolo de comando e a haste se deslocam em direção à válvula de 3/2 vias. A haste avança e penetra no rebaixo do came girando-o; com isso, o apalpador da válvula 3/2 vias é acionado e esta estabelece as ligações de P para A, fechando o escape R.



Retirando o ar de Z, o êmbolo de comando e a haste retornam à sua posição normal. Devido ao travamento por atrito, o came permanece em sua posição, mantendo aberta a válvula de 3/2 vias.

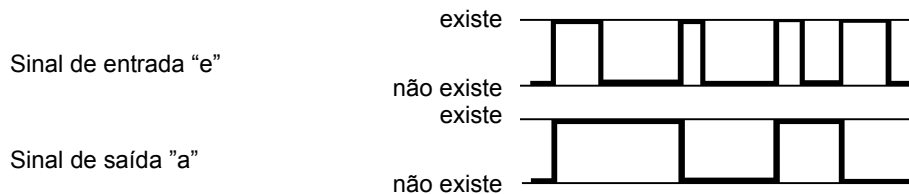


Mediante um novo sinal em Z, a haste do êmbolo de comando avança e penetra no outro rebaixo do carne girando-o. Com isso, libera o apalpador da válvula 3/2 vias, que

retorna pela ação da mola; a esfera bloqueia a passagem de P para A e o ar de A escapa por R. Retirando o ar de Z o êmbolo e a haste retornam à sua posição inicial.

Esta válvula é utilizada para o movimento alternado de retorno e avanço de um cilindro.

A representação do sinal de entrada e saída mostra claramente que são necessários dois sinais de entrada "e", para que se estabeleça e se elimine o sinal de saída "a".



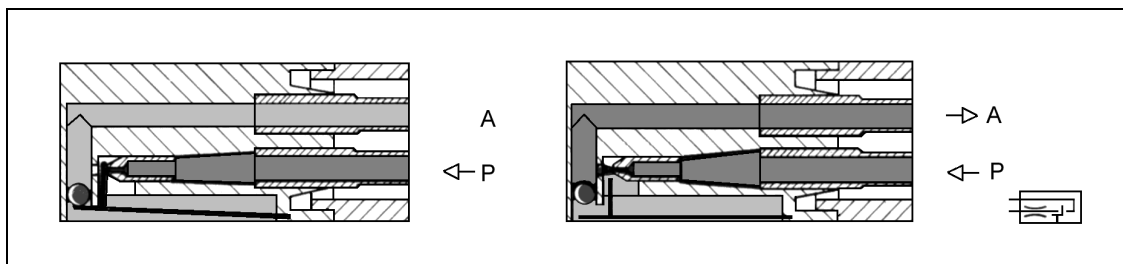
Cilindro com comutador por detecção magnética

Em muitas máquinas e instalações, a montagem de sinalizadores (fins de curso) apresenta vários problemas. Frequentemente falta espaço, a máquina é muito pequena ou os fins de curso não devem entrar em contato com sujeira, água de resfriamento, óleo ou aparas.

Essas dificuldades podem ser eliminadas em grande parte mediante o uso de válvulas pneumáticas ou elétricas de proximidade.

Interruptor pneumático de proximidade

Este elemento corresponde em seu funcionamento a uma barreira de ar. No corpo está uma lingüeta de comando. Esta lingüeta interrompe a passagem de ar comprimido de P para A. Ao se aproximar um êmbolo com ímã permanente, a lingüeta é atraída para baixo e dá passagem de ar de P para A. O sinal de A é um sinal de baixa pressão, e por isso, deverá ser amplificado. Ao retirar o êmbolo, a lingüeta volta à sua posição inicial. A passagem de P para A é fechada novamente.



Interpretação de circuitos

Sempre que você se deparar com um comando pneumático a ser instalado, ou mesmo reparado, é bom ter à mão esquemas referentes a esse comando.

Como se fosse um mapa, o esquema irá apontar o itinerário, onde poderá estar localizado o defeito, ou mesmo o orientará na montagem de um circuito pneumático.

Assim, para que você possa compreendê-lo, será apresentada a denominação dos elementos' pneumáticos, o que facilitará sua interpretação.

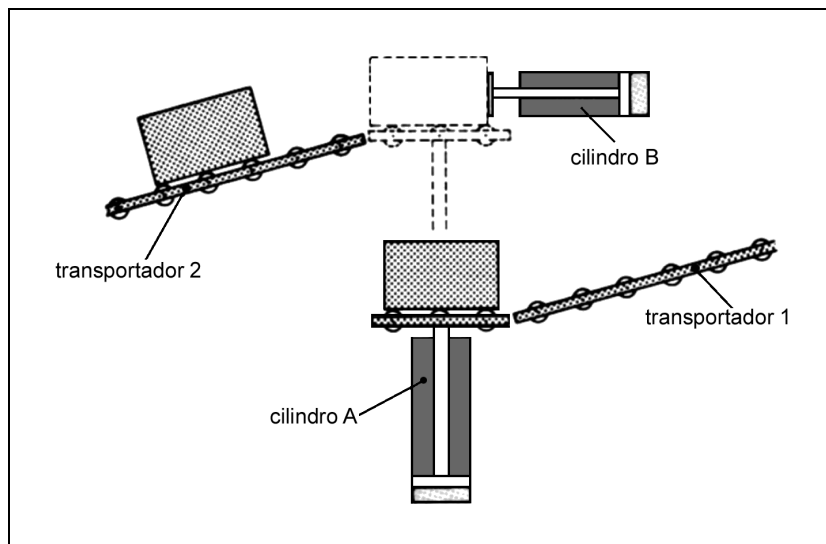
Seqüência de movimentos

Quando os procedimentos de comando de instalações pneumáticas são complicados, e estas instalações têm de ser reparadas, é importante que o técnico disponha de esquemas de comando e seqüência, segundo o desenvolvimento de trabalho das máquinas.

A má confecção dos esquemas resulta em interpretação insegura que torna impossível, para muitos, a montagem ou a busca de defeitos, de forma sistemática. É pouco rentável ter de basear a montagem ou a busca de defeito empiricamente.

Antes de iniciar qualquer montagem ou busca de defeitos, é importante representar seqüências de movimentos e estados de comutação, de maneira clara e correta. Essas representações permitirão realizar um estudo, e, com ele, ganhar tempo no momento de montar ou reparar o equipamento.

A figura abaixo mostra pacotes que chegam sobre um transportador de rolos são elevados por um cilindro pneumático A e empurrados por um cilindro B sobre um segundo transportador. Assim, para que o sistema funcione devidamente, o cilindro B deverá retornar apenas quando A houver alcançado a posição final.



Possibilidades de representação da seqüência de trabalho, para o exemplo dado:

Relação em seqüência cronológica

- A haste do cilindro A avança e eleva os pacotes;
- A haste do cilindro B empurra os pacotes no transportador 2;
- A haste do cilindro A retorna a sua posição inicial;
- A haste do cilindro B retorna a sua posição inicial.

Forma de tabela

Movimento	Cilindro A	Cilindro B
1	avança	Parado
2	parado	Avança
3	retorna	Parado
4	parado	Retorna

Indicação vetorial

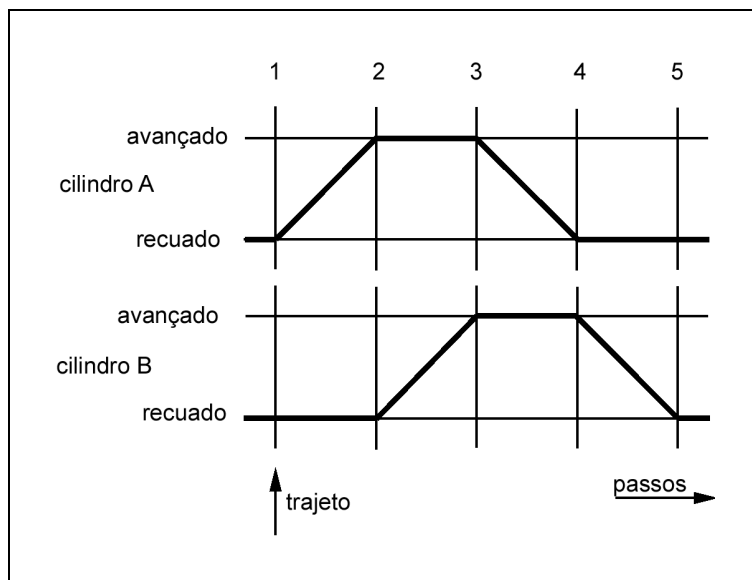
- Diagrama de setas ⇒
- avanço →
 - retorno ←
- A →
- B →
- A ←
- B ←

Para o exemplo citado significa que, do passo 1 até o passo 2, a haste do cilindro A avança da posição final traseira para posição final dianteira, sendo que esta é alcançada no passo 2.

Entre o passo 2 e 4 a haste permanece imóvel.

A partir do passo 4, a haste do cilindro retorna e alcança a posição final traseira no passo 5.

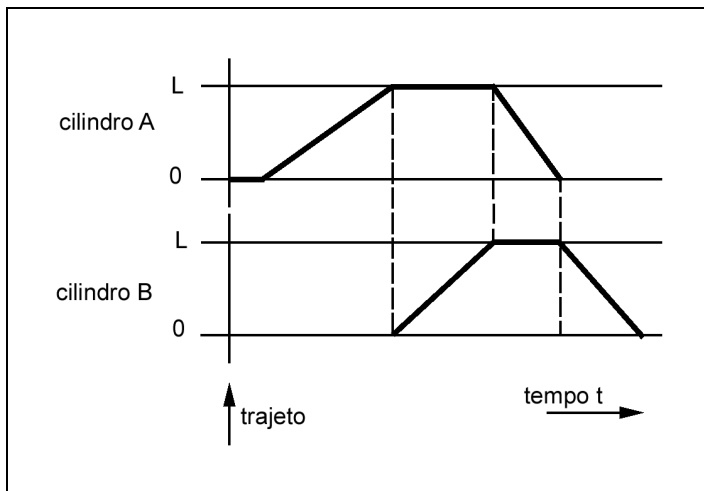
Para o exemplo apresentado, o diagrama de trajeto e passo possui construção segundo a figura abaixo.



Recomendamos que, para a disposição do desenho, observe-se o seguinte:

- Convém representar os passos de maneira linear e horizontalmente;
- O trajeto não deve ser representado em escala, mas com tamanho igual para todas as unidades construtivas;
- Já que a representação do estado é arbitrária, pode-se designar, como no exemplo acima, da página anterior, através da indicação da posição do cilindro ou através de sinais binários, isto é, **0** para posição final traseira e **1** ou **I** para posição final dianteira;
- A designação da unidade em questão deve ser posicionada à esquerda do diagrama.

No diagrama de trajeto e tempo o trajeto de uma unidade construtiva é representado em função do tempo.



Para representação em desenho, também são válidas as recomendações para o diagrama de trajeto e passo.

Através das linhas pontilhadas (linhas de passo), a correspondência com o diagrama de trajeto e passo torna-se clara. Neste caso, porém, a distância entre os passos está em função do tempo.

Enquanto o diagrama de trajeto e passo oferece a possibilidade de melhor visão das correlações, no diagrama de trajeto e tempo podem ser representadas, mais claramente, sobreposições e diferenças de velocidade de trabalho.

No caso de se desejar construir diagramas para elementos de trabalho rotativos como, por exemplo, motores elétricos e motores a ar comprimido, devem ser utilizadas as mesmas formas fundamentais. Entretanto, a seqüência das variações de estado no tempo não é considerada, isto é, no diagrama de trajeto e passo, uma variação de estado, como o ligar de um motor elétrico, não transcorrerá durante um passo inteiro, mas será representada diretamente sobre a linha de passo.

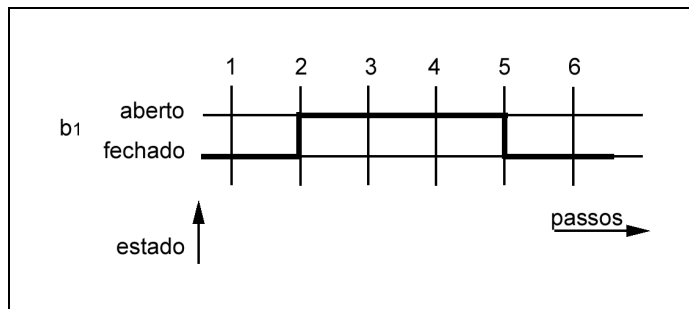
Diagrama de comando

No diagrama de comando, o estado de comutação de um elemento de comando é representado em dependência dos passos ou dos tempos.

Como o tempo de comutação é insignificante ou praticamente instantâneo, esse tempo não é considerado.

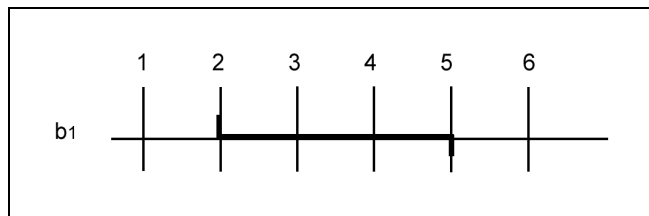
Exemplo

Estado de abertura de um relé b_1 .



O relé abre no passo 2 e fecha novamente no passo 5.

Uma outra maneira de representação para o exemplo acima.

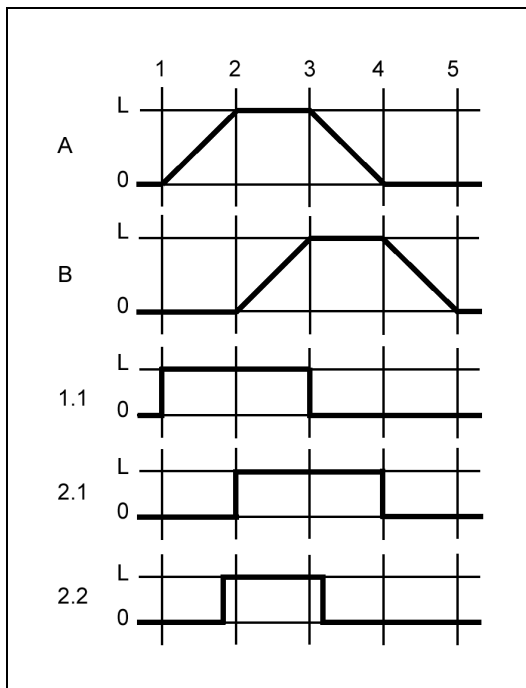


Na elaboração do diagrama de comando recomenda-se:

- Desenhar, sempre que possível, o diagrama de comando, em combinação com o diagrama de movimento, de preferência em função de passos;
- Que os passos ou tempos sejam representados linear e horizontalmente;
- Que a altura e a distância, que são arbitrárias, sejam determinadas de forma a proporcionar fácil supervisão.

Quando se representa o diagrama de movimento e de comando em conjunto, esta representação recebe o nome de diagrama de funcionamento.

O diagrama de funcionamento para o exemplo da página anterior está representado na figura abaixo.



No diagrama, observa-se o estado das válvulas, que comandam os cilindros (1.1 para A, 2.1 para B) e o estado de uma chave fim de curso 2.2, instalada na posição dianteira do cilindro A.

Como já foi mencionado, os tempos de comutação dos equipamentos não são considerados no diagrama de comando. Entretanto, como mostra a figura acima, (válvula fim de curso 2.2), as linhas de acionamento para válvulas (chaves) fim de curso devem ser desenhadas antes ou depois da linha de passo, uma vez que, na prática, o acionamento não se dá exatamente no final do curso, mas sim, certo tempo antes ou depois.

Esta maneira de representação determina todos os comandos e seus conseqüentes movimentos.

Este diagrama permite verificar, com maior facilidade, o funcionamento do circuito e determinar erros, principalmente sobreposição de sinais.

Tipos de esquemas

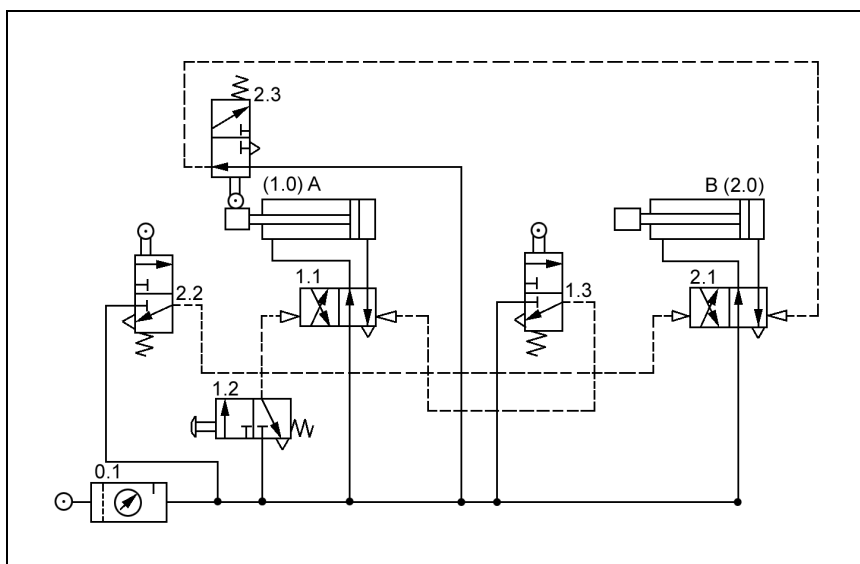
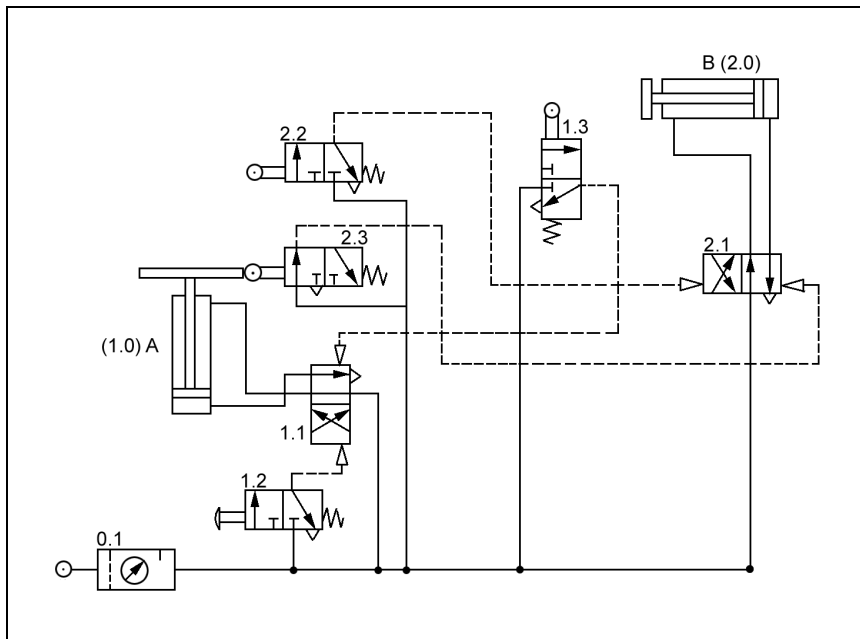
Na construção de esquemas de comando, temos duas possibilidades que indicam a mesma coisa.

As alternativas são:

- Esquema de comando de posição;
- Esquema de comando de sistema.

Veremos as vantagens e inconvenientes destes dois tipos de esquemas nos exemplos a seguir.

Esquema de comando de posição

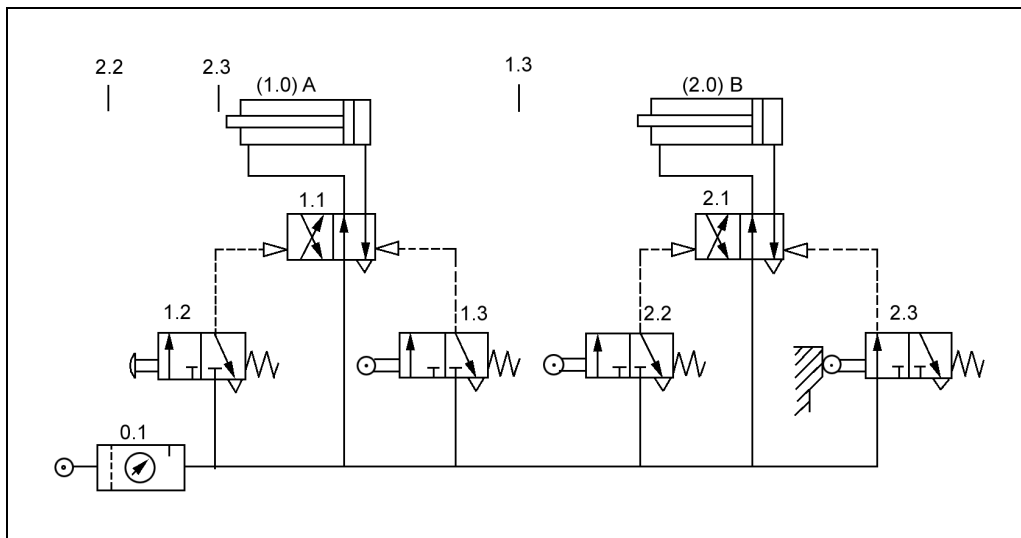


Podemos verificar que no esquema de comando de posição estão simbolizados todos os elementos (cilindros, válvulas e unidades de conservação), onde realmente se encontram na instalação.

Esta forma de apresentação é vantajosa para o montador, porque ele pode ver de imediato onde se devem montar os elementos.

Entretanto, este tipo de esquema de comando tem o inconveniente dos muitos cruzamentos de linhas (condutores de ar), onde podem ocorrer enganos na conexão dos elementos pneumáticos.

Esquema de comando de sistema



O esquema de comando de sistema está baseado em uma ordenação, isto é, todos os símbolos pneumáticos são desenhados em sentido horizontal e em cadeia de comando. A combinação de comandos básicos simples, de funções iguais ou diferentes, resulta em um comando mais amplo com muitas cadeias de comando.

Este tipo de esquema, em razão da ordenação, além de facilitar a leitura, elimina ou reduz os cruzamentos de linhas.

No esquema de comando, deve-se caracterizar os elementos pneumáticos, em geral numericamente, para indicar a posição que ocupam e facilitar sua interpretação.

Noções de composição de esquemas

Em princípio, pode-se apresentar duas possibilidades principais para composição de esquemas:

- Método intuitivo com base tecnológica, também denominado convencional ou de experimentação. Neste método a intuição e a experiência predominam, portanto, a influência do projetista é marcante.

- Composição metódica segundo prescrições e diretrizes estabelecidas. Neste caso, praticamente, não haverá influência pessoal do projetista, porque é seguida uma sistemática preestabelecida.

Convém ressaltar que, para a composição de esquema independentemente do método ou da técnica, deve-se ter um conhecimento bem fundamentado da tecnologia considerada, das possibilidades de ligação e das características dos elementos utilizados. Ao elaborar um esquema de comando, devem ser considerados aspectos importantes como:

- Conforto na operação;
- Segurança exterior da instalação;
- Segurança de funcionamento;
- Facilidade de manutenção;
- Custo, etc.

Outro aspecto a considerar são as condições marginais de funcionamento ou de segurança. Exemplo:

- Ciclo único - ciclo contínuo;
- Manual - automático;
- Parada de emergência - desbloqueio de parada de emergência.

Estas condições devem ser introduzidas no esquema somente depois de esquematizada a seqüência em ciclo único (esquema fundamental).

Em todos os casos de elaboração de esquemas, é recomendável, a partir do problema, fazer um esboço da situação e uma representação gráfica dos movimentos.

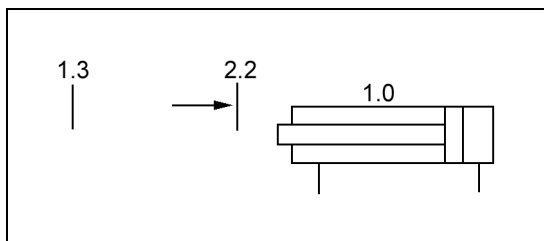
Pela facilidade de visualização, principalmente das sobreposições de sinais (contrapressão, por exemplo), dá-se preferência ao diagrama de funcionamento, mas em muitos casos, apenas o diagrama de movimento é suficiente.

Em caso de sobreposição de sinais, onde o desligamento de sinais se faz necessário, devemos escolher a maneira mais conveniente para fazê-lo. Podemos optar por válvulas de:

- Encurtamento de sinais;
- Rolete escamoteável (gatilho);
- Inversão (memória).

Ao empregar válvula de rolete escamoteável, deve-se identificar com flechas o sentido de comando da mesma, no esquema de comando de sistema.

Exemplo

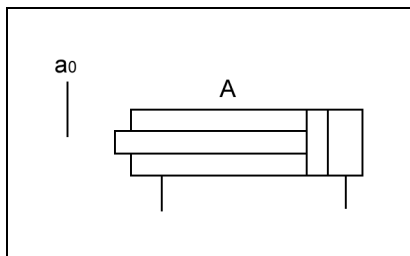


As linhas de marcação indicam que, na posição final dianteira, comanda-se o elemento de sinal 1.3, e, no retrocesso do cilindro, comanda-se o elemento de sinal 2.2. A flecha indica que se trata de uma válvula com rolete escamoteável, que só é acionada no retrocesso do cilindro.

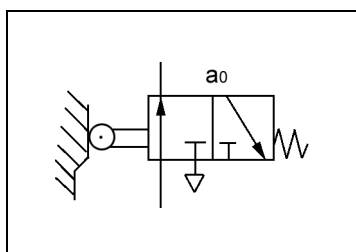
Representação de equipamento

Todos os equipamentos devem ser representados no esquema na posição inicial de comando. Caso não se proceda desta maneira, é necessário fazer uma indicação.

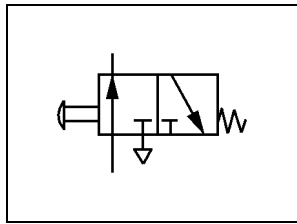
Exemplo



Supondo que a posição inicial seja conforme a figura acima e a₀. válvula fim de curso de 3/2 vias NF de rolete. Devemos então representá-la no esquema em estado acionado, através de um ressalto.



Tratando-se de uma botoeira, podemos representá-la através de uma seta.



Ordem de composição

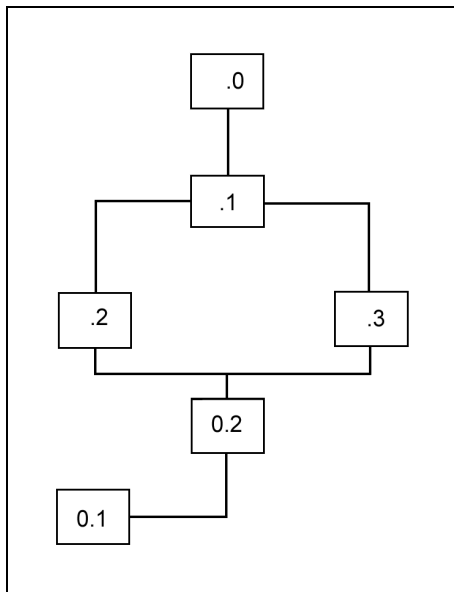
Para facilitar a composição de esquema de comando, recomenda-se o seguinte procedimento:

- Desenhar os elementos de trabalho e suas respectivas válvulas de comando;
- Desenhar os módulos de sinais (partida, fim de curso, etc.);
- Conectar as canalizações de comando (pilotagem) e de trabalho (utilização), seguindo a seqüência de movimento;
- Numerar os elementos;
- Desenhar o abastecimento de energia;
- Verificar os locais onde se tornam necessários os desligamentos de sinais para evitar as sobreposições de sinais;
- Eliminar as possibilidades de contrapressão nos elementos de comando;
- Eventualmente, introduzir as condições marginais;
- Desenhar os elementos auxiliares;
- Certificar-se de que, mesmo colocando pressão nas válvulas, o primeiro movimento do elemento de trabalho só se dará depois de acionada a válvula de partida.

Denominação dos elementos pneumáticos

Para denominar os elementos usamos o seguinte critério:

- Elementos de trabalho;
- Elementos de comando;
- Elementos de sinais;
- Elementos auxiliares.



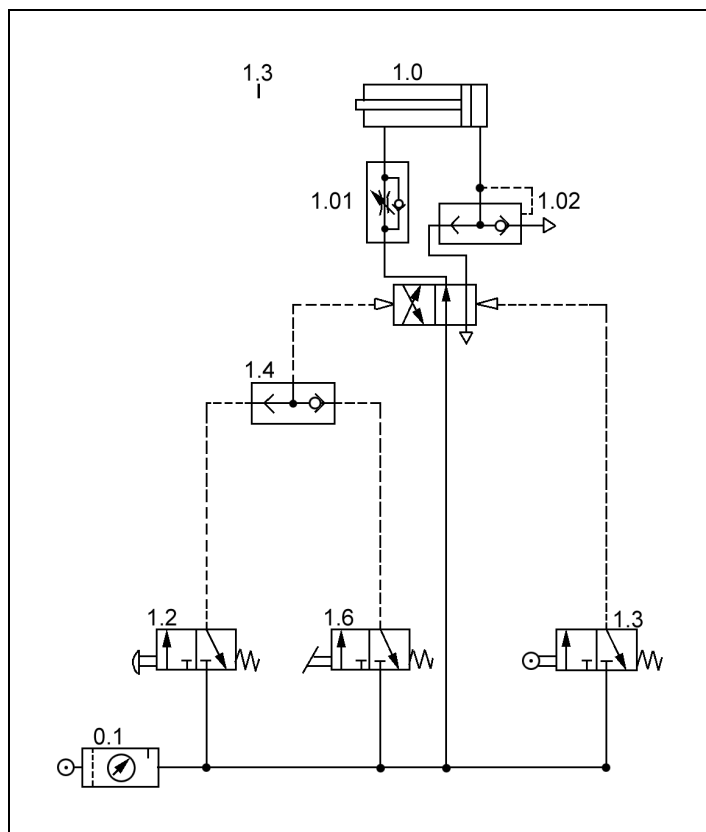
Um elemento de trabalho (cilindros, motores pneumáticos, unidades de avanço, etc.), com as correspondentes válvulas é considerado como cadeia de comando número 1, 2, 3, etc.

Por isto, o primeiro número da denominação do elemento indica a que cadeia de comando pertence o elemento. O número depois do ponto indica de que elemento se trata.

De acordo com o esquema acima temos:

0	elementos de trabalho;
1	elementos de comando;
2,4,...	todos os elementos que influenciam o avanço do elemento de trabalho considerado (números pares);
3,5,...	todos os elementos que influenciam o retorno (números ímpares);
01,02,...	elementos entre o elemento de comando e o elemento de trabalho;
0.1, 0.2,...	elementos auxiliares(unidade de conservação, válvulas de fechamento) que influenciam todas as cadeias de comando.

O esquema ao lado mostra a correspondência entre as designações e os elementos em uma cadeia de comando.



A denominação dos elementos de trabalho e de sinais pode ser feita também através de letras. Neste caso, as denominações das chaves fim de curso ou elementos de sinal não correspondem ao grupo influenciado pelos mesmos, mas a cada cilindro que os aciona.

- A,B,C,... ⇒ para elemento de trabalho
- a₀, b₀, c₀, . ⇒ para elementos de sinal acionados, na posição final traseira dos cilindros A, B, C
- a₁, b₁, c₁, .. ⇒ para elementos de sinal acionados, na posição final dianteira dos cilindros A, B, C

Reservatórios

Reservatórios ou tanques têm por finalidade básica armazenar e facilitar a manutenção do fluido utilizado nos sistemas hidráulicos.

O reservatório pode ser projetado para cumprir várias funções, desde que não haja problemas quanto à sua localização ou ao seu tamanho.

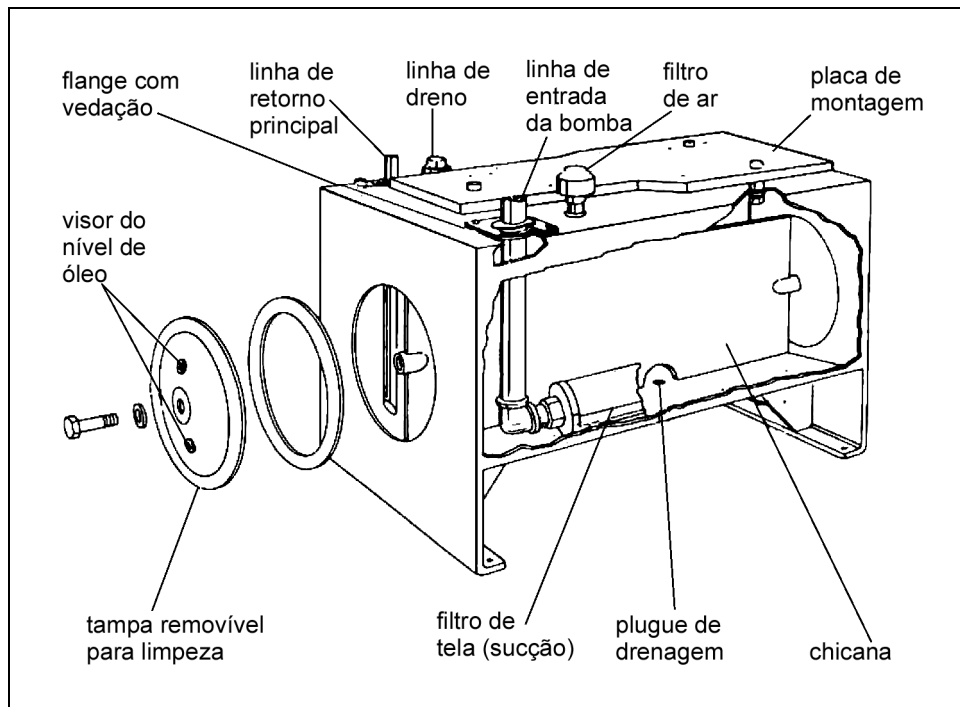
Porém, é fundamental que o reservatório apresente, no mínimo, as seguintes características:

- Ter espaço para separação do ar do fluido;
- Permitir que os contaminadores se assentem;
- Ajudar a dissipar o calor gerado pelo sistema;
- Facilitar a manutenção.

Dentre os sistemas hidráulicos (industriais, aeronáuticos e de equipamento móvel), é na elaboração dos projetos dos sistemas hidráulicos industriais que o desenho do reservatório apresenta maior flexibilidade.

Construção do reservatório

O reservatório é construído com placas de aço, soldadas, mantendo-se um espaço entre o reservatório e o piso através de suportes colocados na sua parte inferior.



Na construção do reservatório, a observância de alguns cuidados e a colocação de determinados componentes são recomendáveis para o seu perfeito funcionamento.

Cuidados

- interior do tanque deve ser pintado com tinta especial para reduzir a ferrugem que possa resultar da condensação da umidade.
- A tinta utilizada no interior do tanque tem que ser compatível com o fluido usado.

Componentes

Visores: são utilizados para facilitar as verificações do nível do fluido.

Plugue de drenagem

O fluido do tanque possibilita, pelo seu formato, que o fluido seja drenado através de um plugue.

Tampas

As tampas devem ser de fácil remoção para facilitar a limpeza do tanque.

Filtro de tela

Na abertura para abastecimento do fluido, deve ser colocada uma tela filtrante para evitar a contaminação do fluido.

Respirador

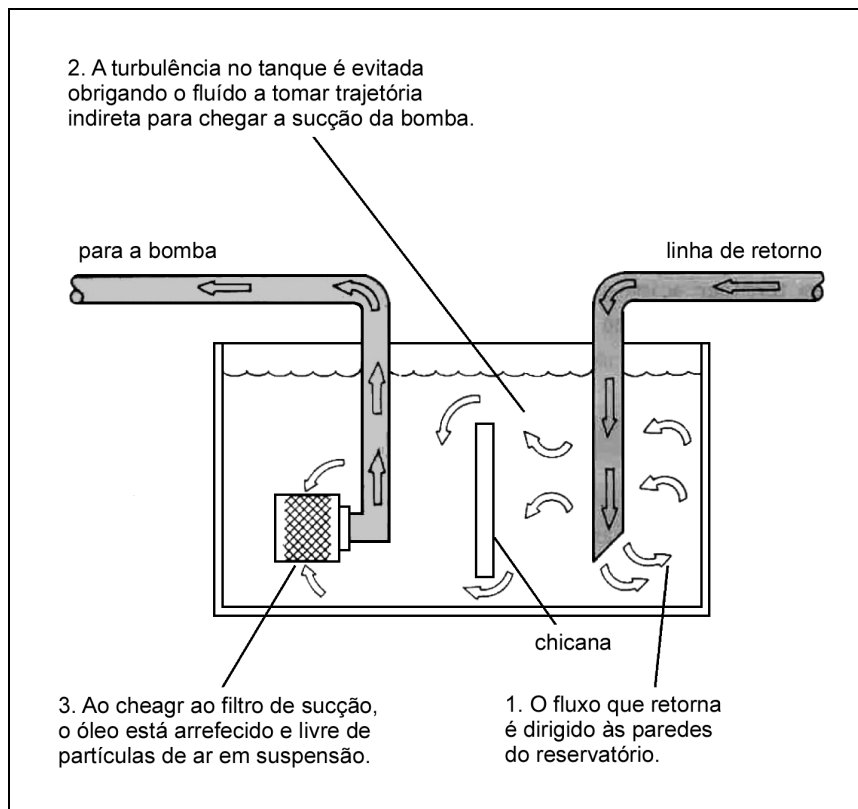
O tampão para respiro deve ter um filtro de ar para manter a pressão atmosférica no interior do reservatório, esteja ele cheio ou vazio. Em geral, quanto maior for a vazão, tanto maior deve ser o respirador.

Válvula para regular a pressão atmosférica

Essa válvula é utilizada somente nos reservatórios pressurizados, em substituição ao respirador.

Chicana

A chicana ou placa de separação controla a direção do fluxo no tanque através da separação da linha de entrada da linha de retorno, evitando, assim, a recirculação contínua do mesmo óleo. A chicana deve ter uma altura de 2/3 do nível do fluido.



A chicana apresenta as seguintes funções básicas:

- Evitar turbulência no reservatório;

- Permitir o assentamento de impurezas;
- Ajudar a dissipar o calor através das paredes do tanque.

Montagem de linhas

Dos diversos tipos de linhas para o reservatório, a maioria termina abaixo do nível do óleo.

As linhas, de forma geral, apresentam as seguintes características:

- As linhas de sucção e de retorno devem estar abaixo do nível do fluido para evitar que o ar se misture com o óleo e forme espuma. As linhas de sucção e de retorno que não tenham filtros acoplados devem ser cortadas num ângulo de 45° para evitar uma restrição às correntes normais do fluxo.
- Nas linhas de retorno, a abertura angulada deve ser posicionada de maneira que o fluxo seja dirigido às paredes do tanque, no lado oposto à linha de sucção da bomba.
- As linhas de dreno devem terminar acima do nível do fluido para evitar a formação de uma contrapressão nas mesmas ou evitar um sifonamento.

Conexões de linhas

As conexões apresentam as seguintes características:

- As linhas que terminam **abaixo do nível do óleo** são conectadas ao tanque por meio de flanges com vedação, para evitar a penetração de sujeira e facilitar a remoção dos filtros para a limpeza. Por essa razão, as conexões devem ser apertadas o suficiente para permanecerem conectadas.
- As linhas que terminam **acima do nível do óleo** devem apresentar conexões bem vedadas para não permitir a entrada de ar no sistema.

Dimensionamento do reservatório

O reservatório de grandes proporções facilita o resfriamento e a separação dos contaminadores. Porém, no mínimo, o reservatório tem que conter todo o fluido do sistema como, também, manter um nível suficientemente alto de fluido.

A manutenção adequada do nível de fluido evita o efeito de rodaminho na linha de sucção, o qual, se ocorrer, fará com que haja mistura de ar com o fluido.

Existem alguns fatores que devem ser considerados no dimensionamento de um reservatório, como, por exemplo:

- A dilatação do fluido devido ao calor;

- As alterações do nível devido à operação do sistema;
- A área interna do tanque exposta à condensação de vapor de água;
- Calor gerado no sistema.

Nos sistemas hidráulicos móveis ou aeronáuticos, é comum que os benefícios de um reservatório grande tenham que ser sacrificados devido às limitações de espaço e peso.

Nos sistemas hidráulicos industriais costuma-se dimensionar o reservatório com, pelo menos, duas ou três vezes a capacidade da bomba em litros por minuto, ou seja:

Regra geral

Volume do tanque = capacidade da bomba (l/min) x 2 ou 3

onde:

- 2 = capacidade mínima do tanque
- 3 = capacidade máxima do tanque

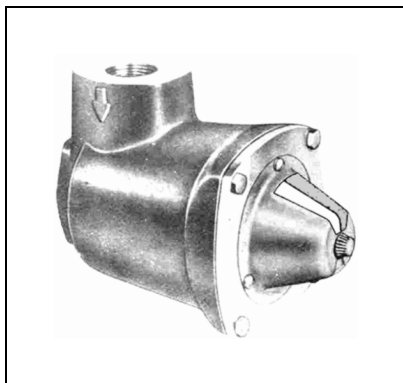
Filtros e peneiras

Estudos recentes demonstraram que partículas micrônicas, cujas dimensões variam de 1 a 5 microns (um micron é a milésima parte de um milímetro), têm efeitos degradantes que provocam falhas no sistema hidráulico concorrendo, em muitos casos, para a aceleração do processo de deterioração do óleo.

Por essa razão, para se manter o fluido limpo em um sistema, utilizam-se dispositivos como filtros, peneiras, plugues, etc.

Filtro

É um dispositivo que tem a função de reter, por meio de material poroso (elemento filtrante), os contaminadores insolúveis de um fluido.



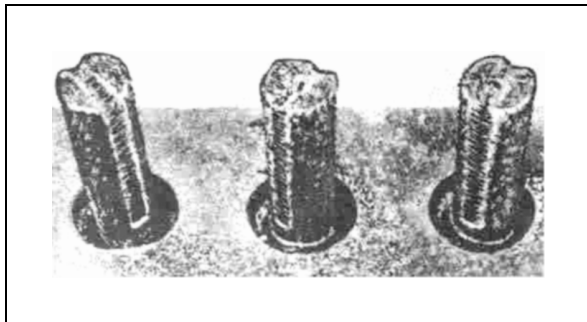
Um filtro com indicador a cores mostra quando é necessária a sua limpeza.

Peneira

É um dispositivo feito de arame (malha) que tem funções semelhantes às do filtro. A figura seguinte ilustra um filtro de sucção feito de malha de arame fino.



Os **plugues magnéticos** são placas imantadas utilizadas para reter partículas de ferro e aço.



A função dos dispositivos, seja filtro ou peneira, é reter os contaminadores quando da passagem do fluido.

Tipos de filtros

Filtros para linhas de retorno

São filtros que retêm as partículas finas antes que o fluido retorne para o reservatório. São úteis, principalmente, em sistemas que não têm grandes reservatórios que permitam o assentamento dos contaminadores.

O filtro de retorno é de uso quase obrigatório em sistema que utilize uma bomba de alto rendimento, pois a mesma possui pequenas tolerâncias em suas peças e não pode ser suficientemente protegida, apenas, por um filtro de sucção.

Filtros para linhas de pressão

Existem filtros desenhados para uso nas linhas de pressão que podem deter partículas bem menores que os filtros de sucção. Um filtro assim pode ser aplicado onde certos componentes, como válvulas, toleram menos sujeira do que uma bomba. Estes filtros precisam resistir à pressão do sistema e são instalados nas saídas das bombas.

Relações nominais e absolutas

Quando se especifica um filtro em tantos microns, refere-se à relação nominal do filtro. Um filtro de 10 microns, por exemplo, deterá a maioria das partículas de 10 microns ou de tamanho maior. Sua capacidade absoluta, entretanto, será um pouco maior, provavelmente ao redor de 25 microns.

A capacidade absoluta é o tamanho da abertura ou da maior porosidade do filtro e é um fator importante, somente, quando for condição determinante que nenhuma partícula de um tamanho especificado possa circular no sistema.

Relação entre malha e micron

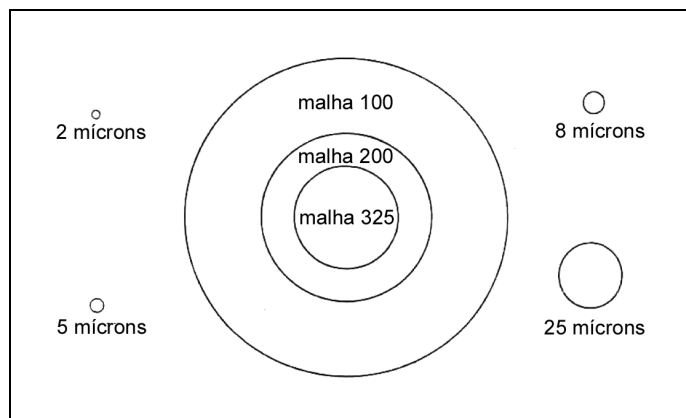
Uma tela simples ou peneira de arame é classificada pela capacidade de filtrar, por um número de malha ou seu equivalente. Quanto mais alto for o número da malha ou peneira, mais fina será a tela.

Os filtros feitos de outro material, sem ser tela de arame, são classificados pelo tamanho micron.

Um micron equivale a um milionésimo (1/1.000.000) de um metro. A menor partícula que o olho humano pode ver tem, aproximadamente, 40 microns.

A figura seguinte faz a comparação entre vários tamanhos em microns com malhas e peneiras padronizadas.

As peneiras são usadas, geralmente, para linhas de entrada ou sucção. Os filtros micrônicos são mais usados em linhas de retorno. Veja abaixo o tamanho comparativo das partículas micrônicas.



Tamanhos comparativos

- Limite de visibilidade (a olho nu) = 40 microns
- Células brancas do sangue = 25 microns
- Células vermelhas do sangue = 8 microns
- Bactéria = 2 microns

Equivalência linear

1 milímetro	0,394 polegada	.000 microns
1 micron	$3,94 \times 10^{-5}$ polegada	0,001 milímetro
1 polegada	25,4 milímetros	255.400 microns

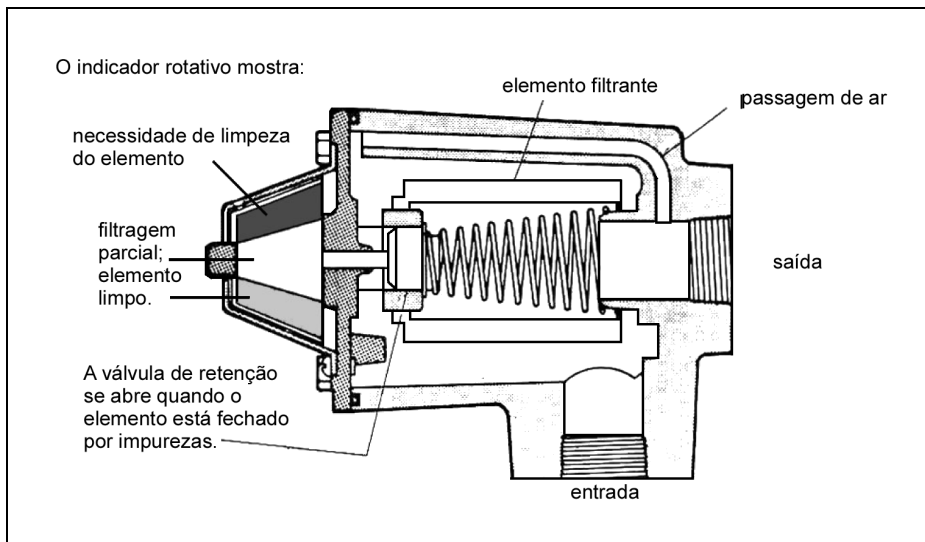
Medidas das telas

Malhas (cm)	Nº da malha	Abertura (mm)	Abertura (microns)
20.61	50	0,297	297
28.52	70	0,210	210
39.76	100	0,150	150
56.24	140	0,105	105
78.74	200	0,075	75
106.40	270	0,053	53
127.16	325	0,044	44

Filtros do tipo indicador

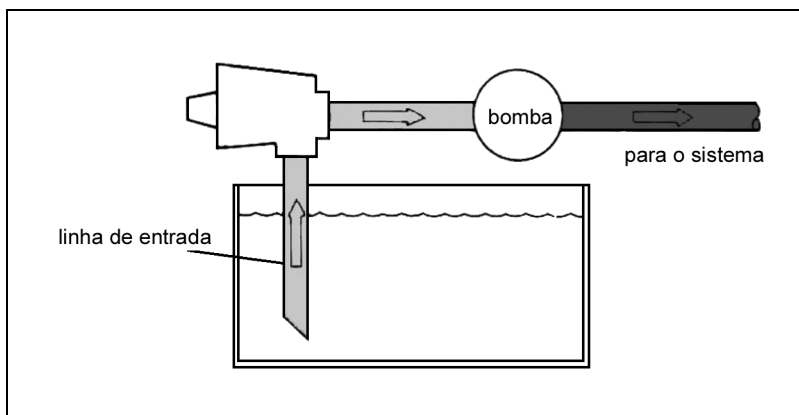
Os filtros indicadores são projetados para assinalar ao operador quando se deve limpar o elemento. Havendo acúmulo de sujeira, a pressão negativa aumenta, movimentando, assim, o elemento. Em uma extremidade deste está conectado um indicador que mostra ao operador o estado do elemento.

Outra característica deste tipo de filtro é a facilidade com que se remove ou substitui o elemento. A maioria dos filtros indicadores é projetada para uso na linha de entrada, como se observa na figura a seguir.

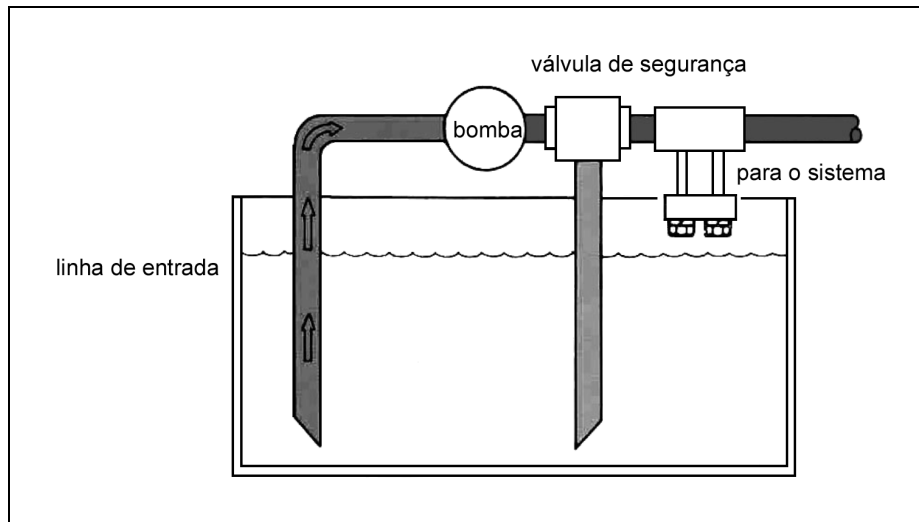


Peneiras e filtros para linha de sucção

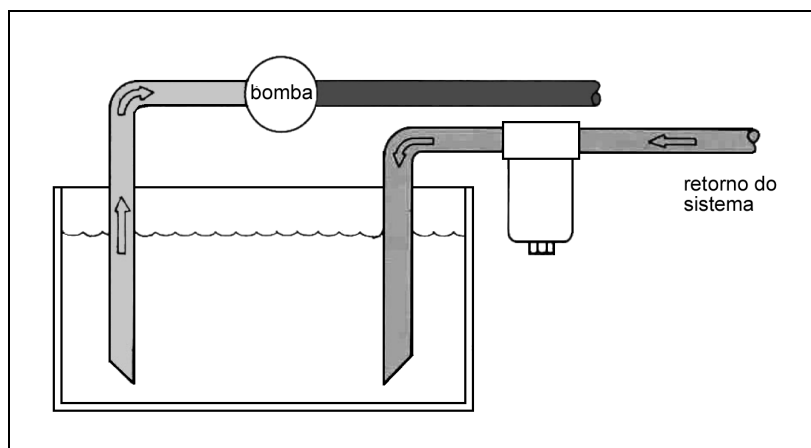
Em um sistema hidráulico, o filtro pode estar localizado em três áreas distintas: na linha de entrada, na linha de pressão ou na linha de retorno. As figuras seguintes mostram essas três situações.



O filtro de entrada (sucção) protege a bomba.



O filtro para linhas de pressão é instalado na saída das bombas.



Os filtros de retorno evitam a contaminação do reservatório.

Materiais filtrantes

Os materiais filtrantes são classificados em mecânico e absorvente.

- Os filtros **mecânicos** operam com telas ou discos de metal para deter as partículas. A maior parte dos filtros mecânicos é de malha grossa.

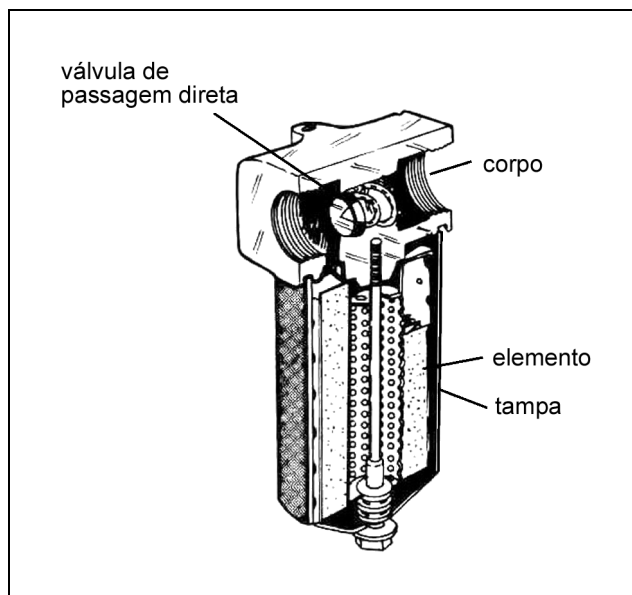
Uma peneira típica é instalada dentro do reservatório, na entrada da bomba. Esta peneira, relativamente grossa em relação ao filtro, é construída de tela de arame fino. Uma peneira de malha 100, que serve para óleo fino, protege a bomba de partículas de 150 microns ou maiores.

Há também filtros para linha de sucção que são montados fora do reservatório, bem próximo à bomba. Também são de malha grossa e possuem, normalmente, elemento filtrante de celulose, que cria uma queda de pressão por vezes não tolerável em linhas de entrada.

- Os filtros **absorventes** são usados para reter as partículas minúsculas nos sistemas hidráulicos. São feitos de materiais porosos como o papel, polpa de madeira, algodão, fios de algodão ou lã e celulose. Os filtros de papel são banhados em resina com a finalidade de se tornarem mais fortes.

Elementos filtrantes

Os elementos filtrantes podem ser construídos de várias maneiras: o tipo mais comum é o de **superfície**, que pode ser de tecido trançado ou então de papel tratado, permitindo a passagem do fluido. O controle preciso de porosidade é típico nos elementos tipo superfície.



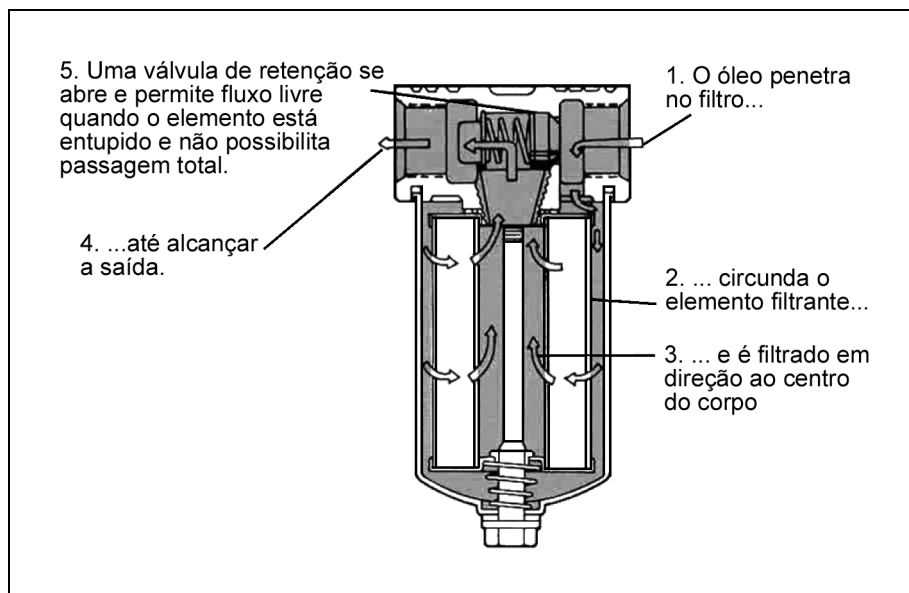
Filtros de fluxo total

O termo fluxo total, aplicado ao filtro, significa que todo o fluxo no pórtico de entrada passa através do elemento filtrante.

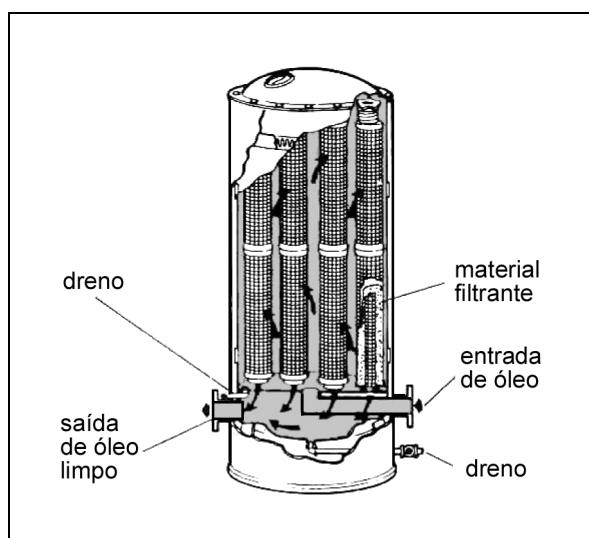
Na maioria desses filtros, entretanto, há uma válvula que se abre numa pressão preestabelecida para dirigir o fluxo diretamente ao tanque.

Isto evita que o elemento entupido restrinja totalmente o fluxo. O filtro da figura seguinte é deste tipo. Foi desenhado, primariamente, para linhas de retorno com

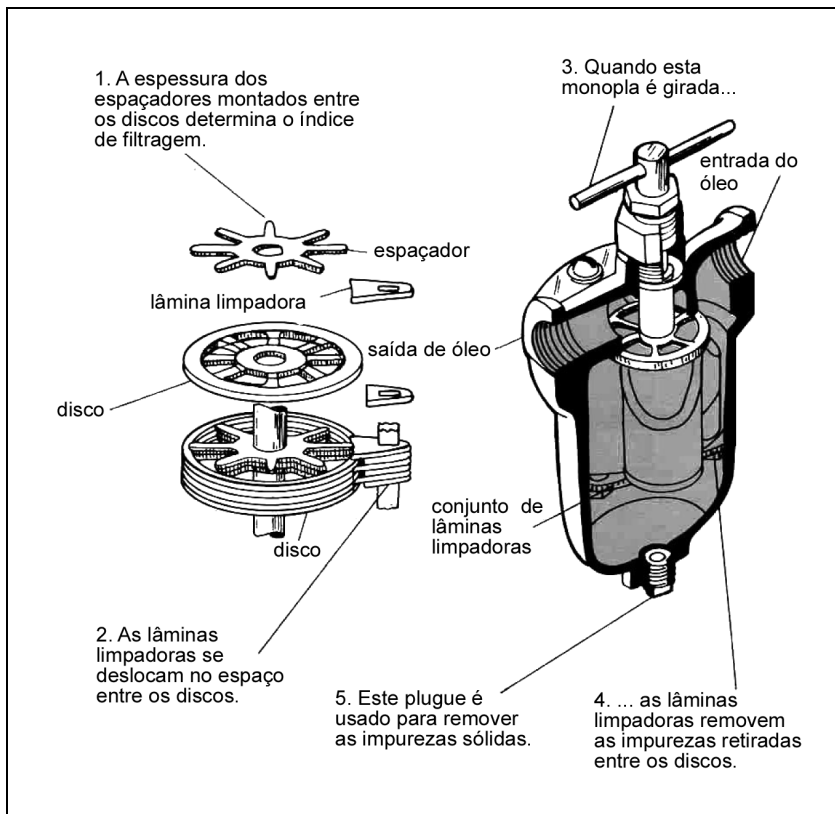
filtração de 10 ou 25 microns através de um elemento do tipo de superfície. O fluxo, como é demonstrado, é de fora para dentro, isto é, ao redor do elemento e através do centro. Para se trocar o elemento basta remover um só parafuso.



A figura seguinte apresenta os elementos de um filtro do tipo **alongado**. Esses elementos são compostos de camadas de tecido ou material fibroso, que fornecem passagens difíceis para o fluido. As passagens variam em tamanho e o grau de filtragem depende da quantidade de fluxo. Um aumento de fluxo tende a soltar as partículas retidas. Este tipo de elemento é, geralmente, limitado a baixo fluxo e a condições de baixa queda de pressão.



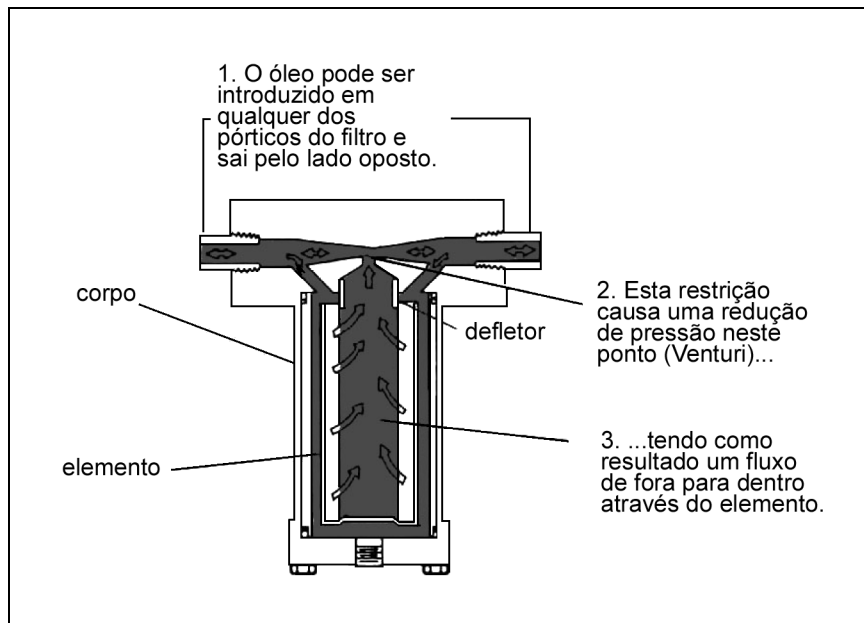
Na figura seguinte, vemos o filtro mecânico tipo **rotativo**. Este filtro separa as partículas do óleo entre placas levemente espaçadas. O mesmo requer que uma manopla seja girada, periodicamente, para acionar as placas raspadoras que destacam as partículas de impurezas depositadas em espaços entre vários discos. As impurezas são removidas pela drenagem do filtro.



Filtros de fluxo proporcional

A figura abaixo mostra um filtro de fluxo proporcional. Este tipo de filtro utiliza o efeito Venturi para filtrar apenas uma parte do fluxo. O óleo pode fluir em qualquer direção e, ao passar pela garganta Venturi, no corpo do filtro, cria um aumento de velocidade e uma queda de pressão. Esta diferença de pressão força uma parte do óleo, através do elemento, para a saída.

A quantidade de fluido filtrado é proporcional à velocidade do fluxo. Portanto, é denominado de filtro de fluxo proporcional.



Fluidos hidráulicos

A seleção e o cuidado na escolha do fluido hidráulico para uma máquina terão efeito importante no desempenho dessa máquina e na vida dos componentes hidráulicos.

A formulação e aplicação dos fluidos hidráulicos é, por si mesma, uma ciência cujo estudo ultrapassa a finalidade desta unidade.

Aqui, encontramos os fatores básicos envolvidos na escolha de um fluido e sua própria utilidade.

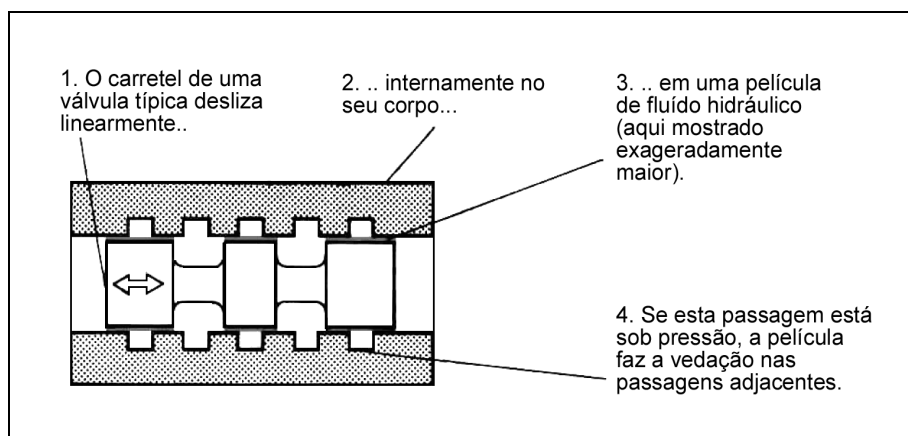
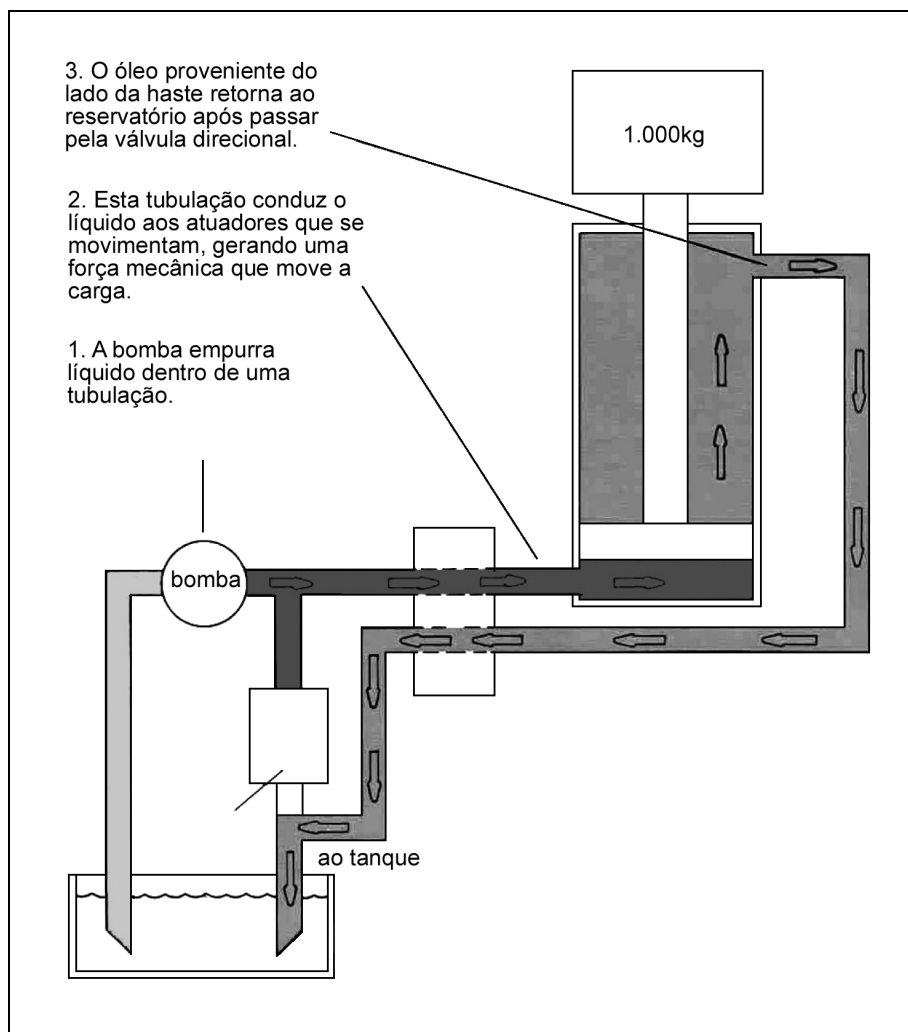
Um fluido é definido como qualquer líquido ou gás. Entretanto, o termo **fluido**, no uso geral em Hidráulica, refere-se ao líquido utilizado como meio de transmitir energia.

Nesta unidade, fluido significará o fluido hidráulico, seja um óleo de petróleo especialmente composto ou um fluido especial, a prova de fogo, que pode ser um composto sintético.

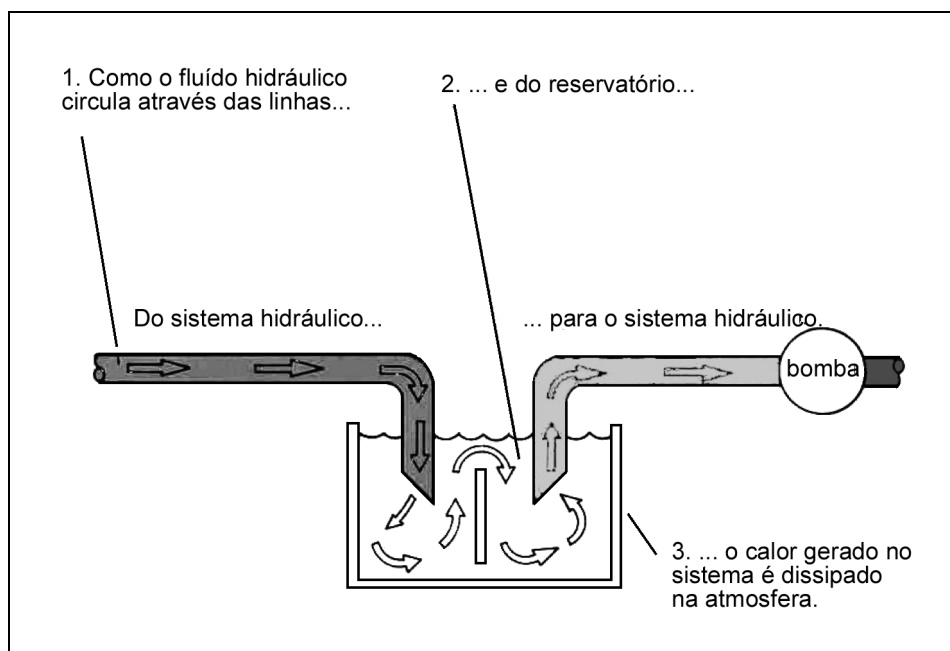
As funções do fluido

O **fluido hidráulico** tem quatro funções primárias:

- Transmitir energia;
- Lubrificar peças móveis;
- Vedar folgas entre essas peças;
- Resfriar ou dissipar o calor.



O fluido lubrifica as partes móveis e a circulação resfria o sistema.



Tubos roscados

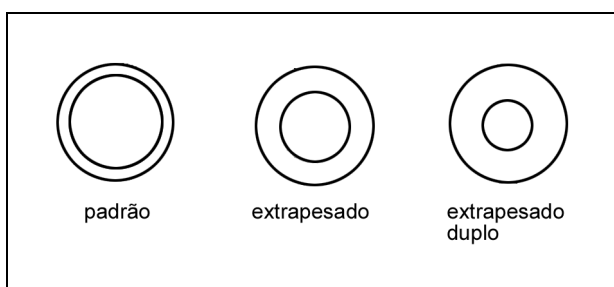
Dimensionamento de tubos roscados

Os tubos roscados de ferro e de aço foram os primeiros condutores a serem usados em sistemas de hidráulica industrial e ainda o são devido a seu baixo custo. Nos sistemas hidráulicos, recomenda-se o uso de tubos de aço sem costura, com o interior livre de ferrugem, escama ou sujeira.

Os tubos e as conexões são classificados pela bitola nominal e espessura da parede. Originalmente, uma bitola de tubos roscados tinha apenas uma espessura de parede e indicava seu diâmetro interno real. Posteriormente, os tubos roscados foram fabricados com várias espessuras de parede: padrão, extrapesada e extrapesada dupla. Entretanto, o diâmetro externo não se modificou. Para aumentar a espessura da parede, foi diminuído o diâmetro interno. Portanto, a bitola nominal indica apenas a bitola da rosca para conexões.

O diâmetro externo de um tubo roscado permanece constante mudando apenas a espessura da parede, para uma determinada bitola. Ele é sempre maior que o tamanho citado (em polegadas).

A bitola nominal corresponde, aproximadamente, ao diâmetro interno de um tubo extrapesado.

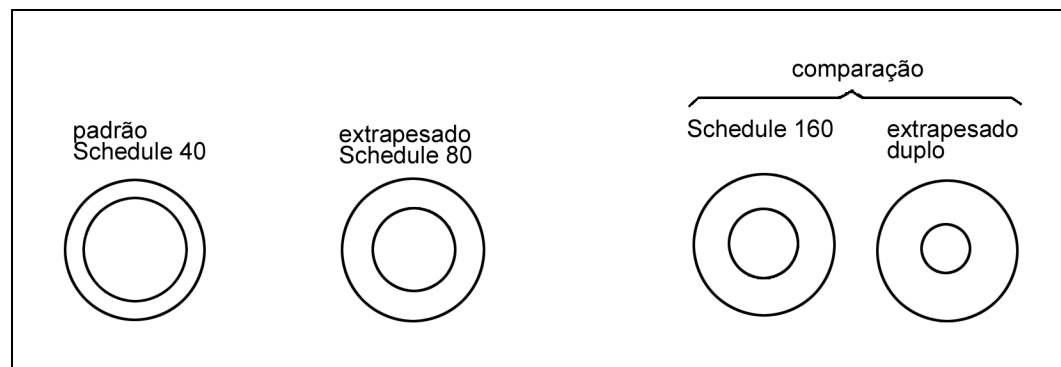


Classificação das espessuras de parede dos tubos roscados.

Bitola nominal	Diâmetro externo do cano (mm)	Diâmetro interno		
		Padrão	Extrapesado	Extrapesado duplo
1/8	10,29	6,83	5,46	-
1/4	13,72	9,25	7,67	-
3/8	17,15	12,52	10,74	-
1/2	21,34	15,80	13,87	6,40
3/4	26,67	20,93	18,85	11,02
1	33,40	26,65	24,31	15,22
1 1/4	42,16	35,05	32,46	22,76
1 1/2	48,26	40,89	38,10	27,94
2	60,33	52,50	49,25	38,18
2 1/2	73,03	62,71	59,00	44,98
3	88,90	77,93	73,66	-
3 1/2	101,60	90,12	85,44	-
4	114,30	102,26	97,18	-
5	141,30	128,19	122,25	103,20
6	168,28	154,05	146,33	-
8	219,08	205,00	193,68	-
10	273,05	258,88	247,65	-
12	323,85	306,83	298,45	-

Tabela de tubos roscados

O American National Standard Institute - (ANSI) aprovou uma série de relações (Schedules), identificadas pelos números 10 , 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160, dos diâmetros internos dos tubos roscados, referidos à bitola nominal em polegadas e ao diâmetro externo em milímetros.



Essas relações constituem a tabela abaixo.

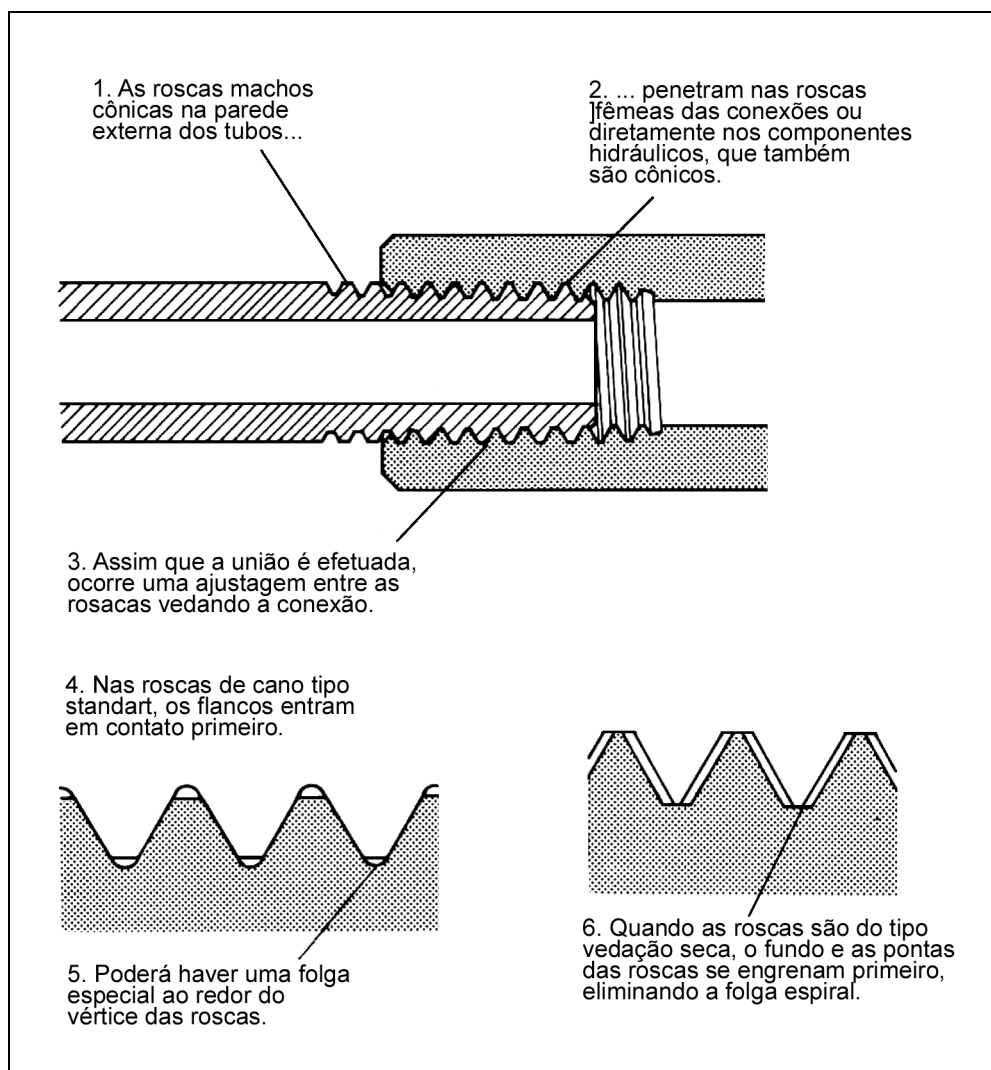
Bitola	Diâm. Ext. (mm)	Diâmetro interno								
		Sched 20	Sched 30	Sched 40	Sched 60	Sched 80	Sched 100	Sched 120	Sched 140	Sched 160
1/3	10,29	-	-	6,83	-	5,46	-	-	-	-
1/4	13,72	-	-	9,25	-	7,67	-	-	-	-
3/8	17,15	-	-	12,52	-	10,74	-	-	-	-
1/2	21,34	-	-	15,80	-	13,87	-	-	-	11,84
3/4	26,67	-	-	20,93	-	18,85	-	-	-	15,60
1	33,40	-	-	26,65	-	24,31	-	-	-	20,70
1 1/4	42,16	-	-	35,05	-	32,46	-	-	-	29,46
1 1/2	48,26	-	-	40,89	-	38,10	-	-	-	33,99
2	60,33	-	-	52,50	-	49,25	-	-	-	42,90
2 1/2	73,03	-	-	62,71	-	59,00	-	-	-	53,98
3	88,90	-	-	77,93	-	73,66	-	-	-	66,65
3 1/2	101,60	-	-	90,12	-	85,45	-	-	-	-
4	114,30	-	-	102,26	-	97,18	-	92,05	-	87,33
5	141,30	-	-	128,19	-	122,25	-	115,90	-	109,55
6	168,28	-	-	154,05	-	146,33	-	139,73	-	131,80
8	219,68	206,38	205,00	202,72	198,45	193,68	188,95	182,60	177,83	173,05
10	273,05	260,35	257,45	254,51	247,65	247,65	236,58	230,23	222,25	215,90
12	323,85	311,15	307,09	303,12	293,30	298,90	281,03	273,05	266,70	257,20

* A Schedule 10 foi suprimida por não apresentar valores nesta tabela.

Para comparação, a Schedule 40 é a que se aproxima do padrão visto na tabela. A Schedule 80 é, essencialmente, a relação extrapesada. A Schedule 160 cobre os tubos com a maior espessura de parede. As paredes da classificação extrapesada dupla antiga eram ligeiramente mais espessas que da relação 160. As tabelas vistas mostram as bitolas de tubos até 12", embora estejam à disposição bitolas maiores. A relação 10, que não a parece na segunda tabela, é utilizada somente para bitolas maiores que 12".

Vedação de tubos roscados

As roscas dos tubos são cônicas e sua vedação se dá através da adaptação entre as roscas do macho e da fêmea quando apertadas. Deve-se ter o cuidado, na ocasião do rosqueamento das peças, de colocar um vedante lubrificante, como óxido de chumbo ou composto de vedação. Pode, ainda, ser aplicada a fita de teflon. Deve-se evitar o uso de fios de estopa. Deve-se tomar cuidado para que o vedante aplicado não corra para dentro do encanamento, bem como de não aplicá-lo no primeiro fio de rosca.



As roscas de tubos para uso hidráulico são do tipo vedação seca.

Tubos de aço sem costura

Uma instalação feita com tubos flangeados, de aço sem costura, oferece vantagens bem visíveis sobre uma instalação feita com tubos roscados ou extrapesados.

Os tubos de aço sem costura podem ser dobrados de qualquer forma, são mais fáceis de trabalhar e podem ser montados e desmontados freqüentemente sem problemas de vedação.

Tubos flangeados diferem de tubos roscados em sua classificação de bitola. Os tubos flangeados são designados por seu diâmetro externo real, como se pode verificar na tabela da página seguinte. Assim, um tubo de 3/8" tem um diâmetro externo de 3/8". A tabela mostra que os tubos estão disponíveis em várias espessuras de parede.

D. ext. tubo	Espessura da parede (mm)	D. int. tubo (mm)	D. ext. tubo	Espessura da parede (mm)	D. int. tubo (mm)	D. ext. tubo	Espessura da parede (mm)	D. int. tubo (mm)
-	0,711	1,753	-	0,889	14,097	-	1,245	29,26
1/8	0,813	1,549	-	1,067	13,741	-	1,473	28,80
-	0,889	1,397	-	1,245	13,386	-	1,651	28,45
3/16	0,813	3,137	-	1,473	12,929	-	1,828	28,09
-	0,889	2,986	5/8	1,651	12,573	1 1/4	2,108	27,53
-	0,889	4,572	-	1,828	12,217	-	2,413	26,92
-	1,067	4,216	-	2,108	11,659	-	2,769	26,21
1/4	1,245	3,861	-	2,413	11,049	-	3,048	25,65
-	1,473	3,404	-	1,245	16,561	-	1,651	34,80
-	1,651	3,048	-	1,473	16,104	-	1,828	34,44
-	0,889	6,160	-	1,651	15,748	1 1/2	2,108	33,88
5/16	1,067	5,804	3/4	1,828	15,392	-	2,413	33,27
-	1,245	5,448	-	2,108	14,834	-	2,769	32,56
-	1,473	4,991	-	2,413	14,224	-	3,048	32,00
-	1,651	4,636	-	2,769	13,513	-	3,404	31,29
-	0,889	7,747	-	1,245	19,736	-	1,651	41,15
3/8	1,067	7,391	-	1,473	19,279	-	1,828	40,79
-	1,245	7,036	-	1,651	18,923	-	2,108	40,23
-	1,473	6,579	7/8	1,828	18,567	1 3/4	2,413	39,62
-	1,651	6,223	-	2,108	18,009	-	2,769	38,91
-	0,889	10,922	-	2,413	17,399	-	3,048	38,35
1/2	1,067	10,566	-	2,769	16,688	-	3,404	37,64
-	1,245	10,211	-	1,245	22,911	-	1,651	47,50
-	1,473	9,754	-	1,473	22,454	-	1,828	47,14
-	1,651	9,398	-	1,651	22,098	-	2,108	46,58
-	1,828	9,042	1	1,828	21,742	2	2,413	45,26
-	2,108	8,484	-	2,108	21,184	-	2,769	45,26
-	2,413	7,874	-	2,413	20,574	-	3,048	44,70
-	-	-	-	2,769	19,863	-	3,404	43,99
-	-	-	-	3,048	19,304	-	-	-

Recomenda-se que as linhas e conexões rígidas tenham uma pressão de ruptura que comporte um fator de segurança de, no mínimo, oito, isto é, a pressão de ruptura nominal deve ser oito vezes maior que a máxima pressão de trabalho do circuito.

Considerações sobre pressão e fluxo

Recomenda-se conforme as normas da indústria, um fator de segurança de pelo menos 4 por 1, até 8 por 1, em capacidade de pressão. Se a pressão de operação for de 0 a 70kg/cm², o fator de segurança deverá ter uma proporção de 8 por 1. De 70kg/cm² a 140kg/cm², recomenda-se um fator de segurança e 6 por 1 e para pressões superiores a 140kg/cm² recomenda-se um fator de segurança de 4 por 1.

$$\text{Fator de segurança (FS)} = \frac{\text{pressão de ruptura}}{\text{pressão de trabalho}}$$

Portanto, será necessário verificar se o condutor tem o diâmetro interno adequado para comportar o fluxo na velocidade recomendada, bem como superfície espessura de parede para agüentar a capacidade de pressão.

Os fabricantes de tubos normalmente fornecem dados sobre as capacidades de pressões e bitolas de condutores. Duas tabelas típicas são demonstradas a seguir.

Pressão de operação (0 a 70kg/cm²) - Fator de segurança 8:1

Fluxo L.P.M.	Tamanho da válvula (pol.)	Schedule	Diâmetro externo (pol.)	Espessura (mm)
4,0	1/8	80	1/4	0,90
5,5	1/8	80	5/16	0,90
12,0	1/4	80	3/8	0,90
24,0	3/8	80	1/2	1,00
40,0	1/2	80	5/8	1,25
80,0	3/4	80	7/8	1,80
136,0	1	80	1 1/4	2,75
232,0	1 1/4	80	1 1/2	3,00

Pressão de operação (70 a 140kg/cm²) - Fator de segurança 6:1

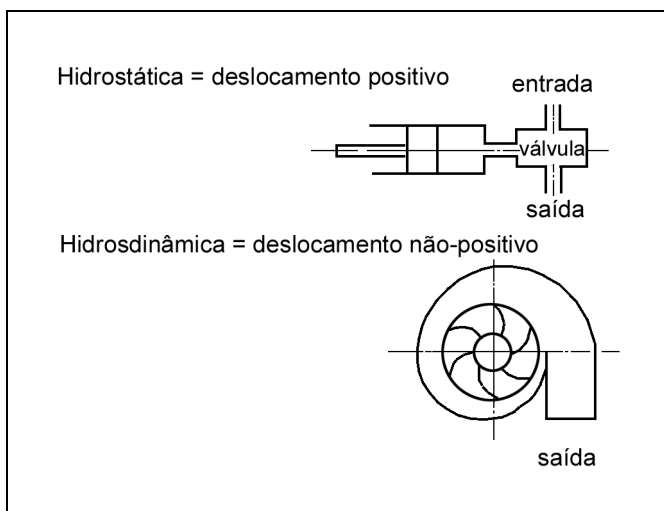
Fluxo L.P.M.	Tamanho da válvula (pol.)	Schedule	Diâmetro externo (pol.)	Espessura (mm)
10	1/4	80	3/8	1,50
24	3/8	80	5/8	2,40
40	1/2	80	3/4	3,00
72	3/4	80	1	3,75
120	1	80	1 1/4	4,60
168	1 1/4	160	1 1/2	5,60

Bombas hidráulicas

As bombas são utilizadas, nos circuitos hidráulicos, para converter energia mecânica em energia hidráulica.

A ação mecânica cria um vácuo parcial na entrada da bomba, o que permite que a pressão atmosférica force o fluido do tanque, através da linha de sucção, a penetrar na bomba. A bomba passará o fluido para a abertura de descarga, forçando-o através do sistema hidráulico.

As bombas são classificadas, basicamente, em dois tipos: hidrodinâmicas e hidrostáticas.

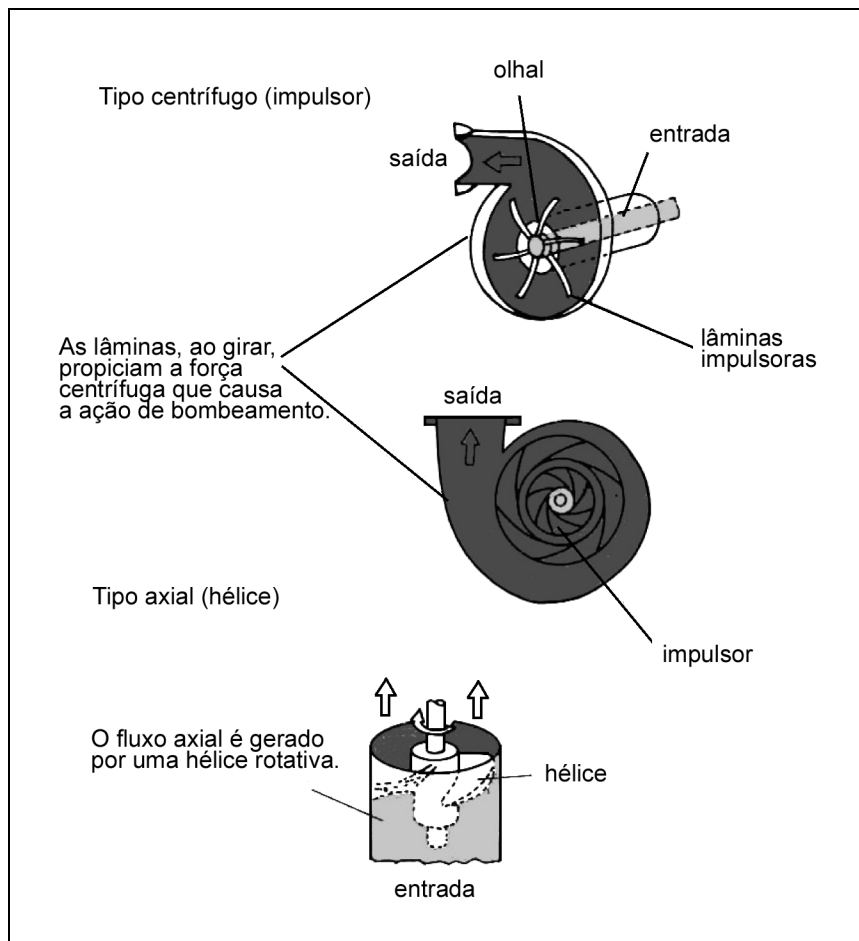


As bombas hidráulicas são classificadas como positivas (fluxo pulsante) e não-positivas (fluxo contínuo).

Bombas hidrodinâmicas

São bombas de deslocamento **não-positivo**, usadas para transferir fluidos e cuja única resistência é a criada pelo peso do fluido e pelo atrito.

Essas bombas raramente são usadas em sistemas hidráulicos, porque seu poder de deslocamento de fluido se reduz quando aumenta a resistência e também porque é possível bloquear-se completamente seu pórtico de saída em pleno regime de funcionamento da bomba.



Bombas hidrostáticas

São bombas de deslocamento **positivo**, que fornecem determinada quantidade de fluido a cada rotação ou ciclo.

Como nas bombas hidrostáticas a saída do fluido independe da pressão, com exceção de perdas e vazamentos, praticamente todas as bombas necessárias para transmitir força hidráulica em equipamento industrial, em maquinaria de construção e em aviação, são do tipo hidrostático.

As bombas hidrostáticas produzem fluxos de forma pulsativa, porém sem variação de pressão no sistema.

Especificação de bombas

As bombas são, geralmente, especificadas pela capacidade de pressão máxima de operação e pelo seu deslocamento, em litros por minuto, em uma determinada rotação por minuto.

Relações de pressão

A faixa de pressão de uma bomba é determinada pelo fabricante, baseada na vida útil da bomba.

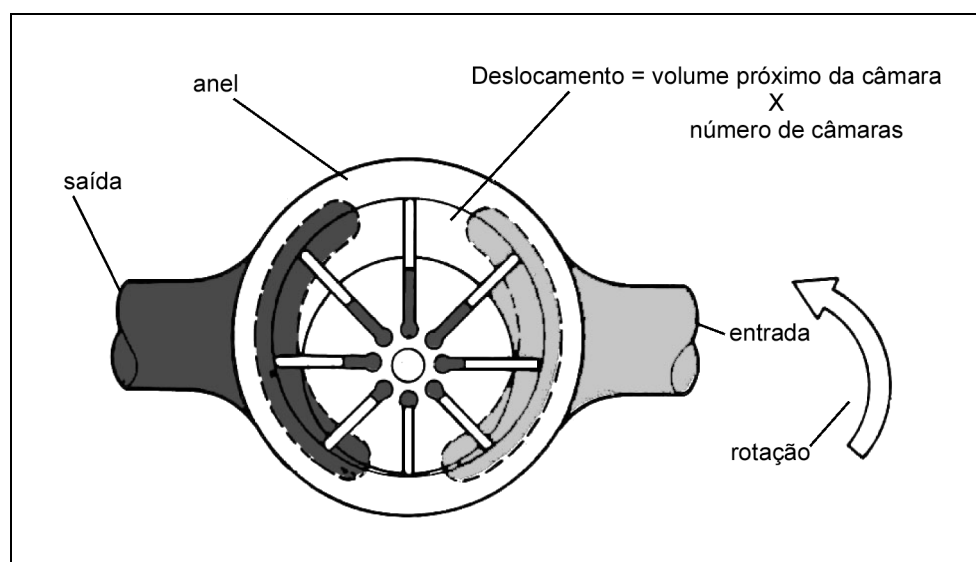
Observação

Se uma bomba for operada com pressões superiores às estipuladas pelo fabricante, sua vida útil será reduzida.

Deslocamento

Deslocamento é o volume de líquido transferido durante uma rotação e é equivalente ao volume de uma câmara multiplicado pelo número de câmaras que passam pelo pórtico de saída da bomba, durante uma rotação da mesma.

O deslocamento é expresso em centímetros cúbicos por rotação e a bomba é caracterizada pela sua capacidade nominal, em litros por minuto.



Capacidade de fluxo

A capacidade de fluxo pode ser expressa pelo deslocamento ou pela saída, em litros por minuto.

Eficiência volumétrica

Teoricamente, uma bomba desloca uma quantidade de fluido igual a seu deslocamento em cada ciclo ou revolução. Na prática, o deslocamento é menor, devido a vazamentos internos. Quanto maior a pressão, maior será o vazamento da saída para a entrada da bomba ou para o dreno, o que reduzirá a eficiência volumétrica.

A eficiência volumétrica é igual ao deslocamento real dividido pelo deslocamento teórico, dada em porcentagem.

$$\text{Eficiência volumétrica} = \frac{\text{deslocamento real}}{\text{deslocamento teórico}} \times 100\%$$

Se, por exemplo, uma bomba a 70kg/cm² de pressão deve deslocar, teoricamente, 40 litros de fluido por minuto e desloca apenas 36 litros por minuto, sua eficiência volumétrica, nessa pressão, é de 90%, como se observa aplicando-os valores na fórmula:

$$\text{Eficiência} = \frac{36 \text{ l/min}}{40 \text{ l/min}} \times 100\% = 90\%$$

As bombas hidráulicas atualmente em uso são, em sua maioria, do tipo rotativo, ou seja, um conjunto rotativo transporta o fluido da abertura de entrada para a saída.

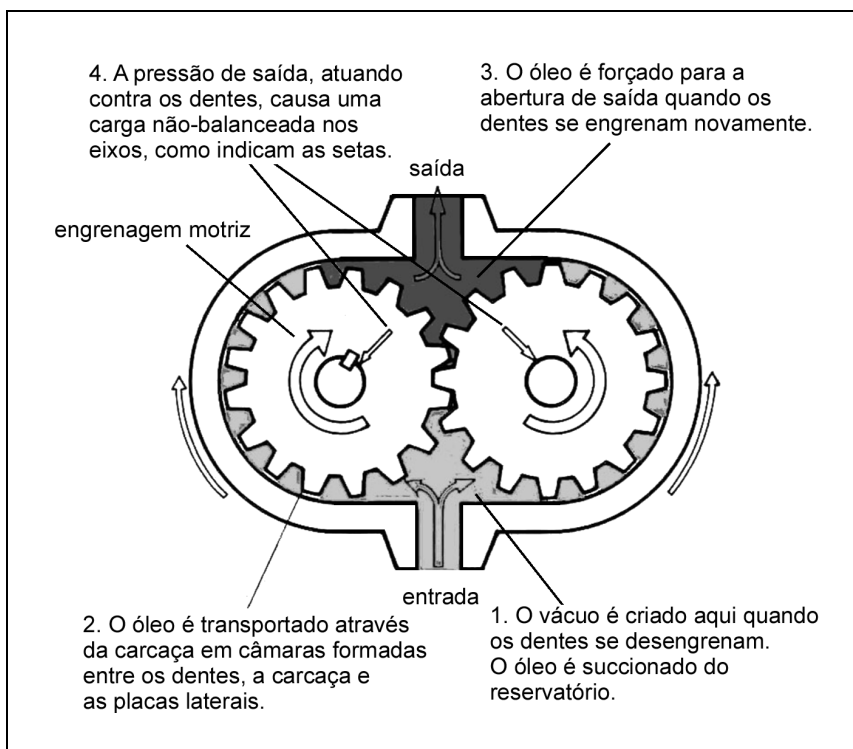
De acordo com o tipo de elemento que produz a transferência do fluido, as bombas rotativas podem ser de engrenagem, de palhetas ou de pistões.

Bombas de engrenagem

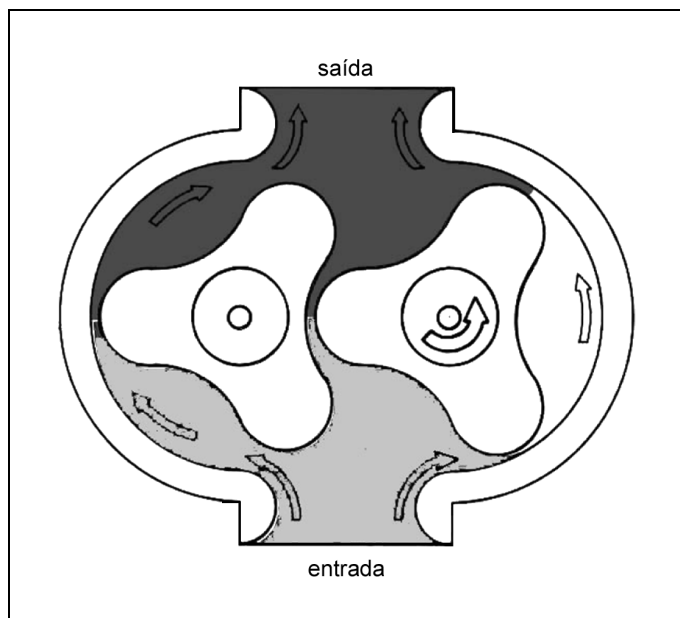
As bombas de engrenagem contêm rodas dentadas, sendo uma motriz, acionada pelo eixo, a qual impulsiona a outra, existindo um jogo axial e radial tão reduzido que, praticam ente, é alcançada uma vedação à prova de óleo.

No decorrer do movimento rotativo, os vãos entre os dentes são liberados à medida que os dentes se desengrenam. O fluido provindo do reservatório chega a esses vãos e é conduzido do lado da sucção para o lado da pressão.

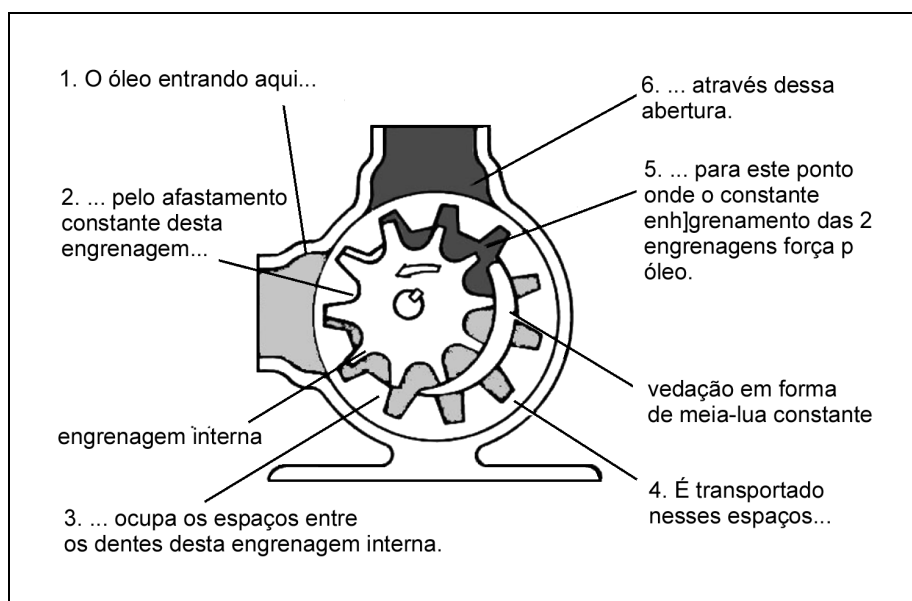
No lado da pressão, os dentes tornam a se engrenar e o fluido é expulso dos vãos dos dentes; a engrenagem impede o refluxo do óleo para a câmara de sucção.



Na mesma categoria de bombas de engrenagem, inclui-se a bomba do rotor de **lóbulo**, que opera no mesmo princípio que a bomba de engrenagem do tipo externo, porém proporciona um deslocamento maior.



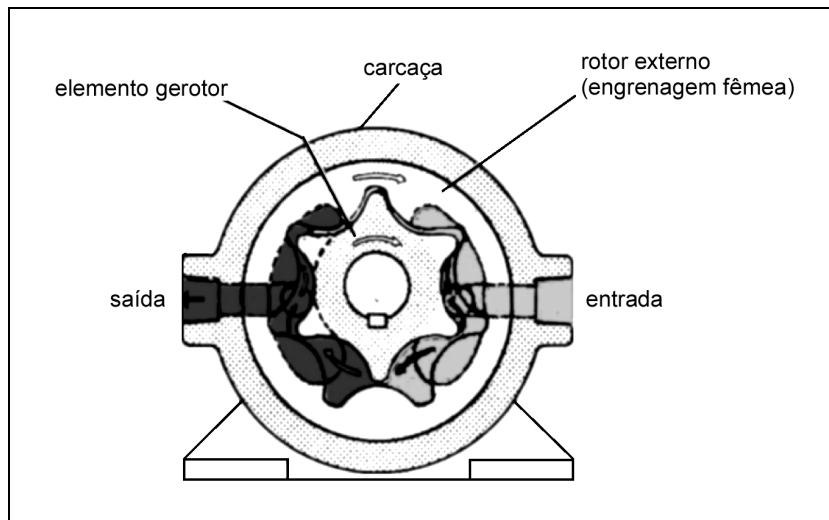
Nas bombas de engrenagem com dentes internos, as câmaras de bombeamento são formadas entre os dentes das rodas. Uma vedação, em forma de meia-lua crescente, é montada entre as rodas dentadas e localizada no espaço entre as aberturas de entrada e de saída, onde a folga entre os dentes das rodas é máxima.



A bomba tipo **gerotor** opera da mesma maneira que a bomba de engrenagem do tipo interno. O rotor é girado por uma fonte externa (motor elétrico, motor diesel, etc.) e

movimenta um rotor externo; formam-se, então, câmaras de bombeamento entre os lóbulos do rotor.

A vedação em forma de meia-lua crescente não é usada neste caso, pois as pontas do rotor interno fazem contato com o rotor externo para vedar as câmaras.

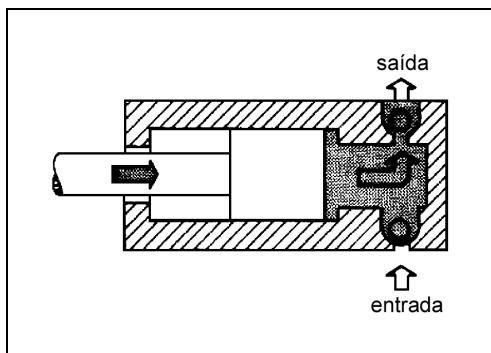


Características das bombas de engrenagem

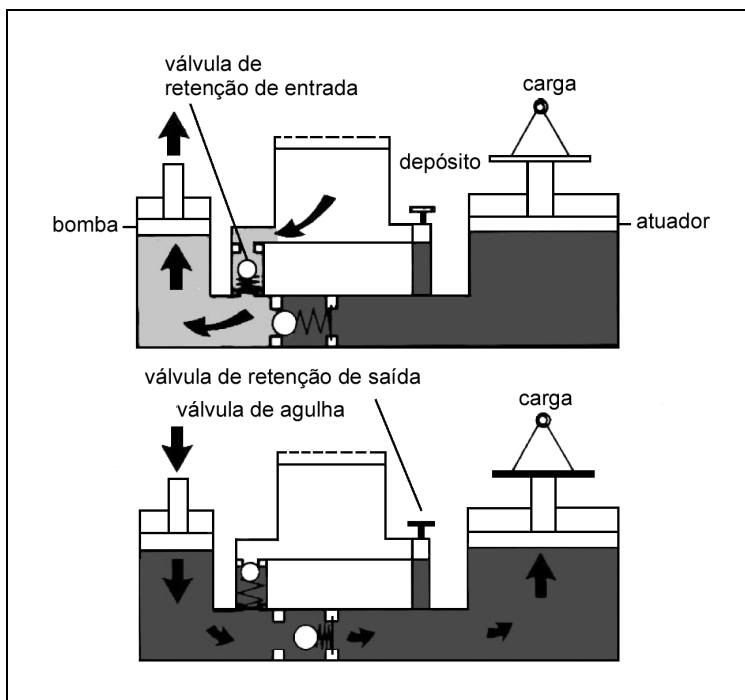
As bombas de engrenagem são de deslocamento fixo. Podem deslocar desde pequenos até grandes volumes. Por serem do tipo não-balanceado, são geralmente unidades de baixa pressão. Porém, existem bombas de engrenagem que atingem até 200kg/cm² de pressão. Com o desgaste, o vazamento interno aumenta. Entretanto, as unidades são razoavelmente duráveis e toleram a sujeira mais do que outros tipos. Uma bomba de engrenagem, com muitas câmaras de bombeamento, gera frequências altas e, portanto, tende a fazer mais barulho.

Bombas de pistões

Todas as bombas de pistões operam baseadas no princípio de que, se um pistão produz um movimento de vaivém dentro de um tubo, puxará o fluido num sentido e o expelirá no sentido contrário.



A figura mostra o funcionamento de um macaco hidráulico.

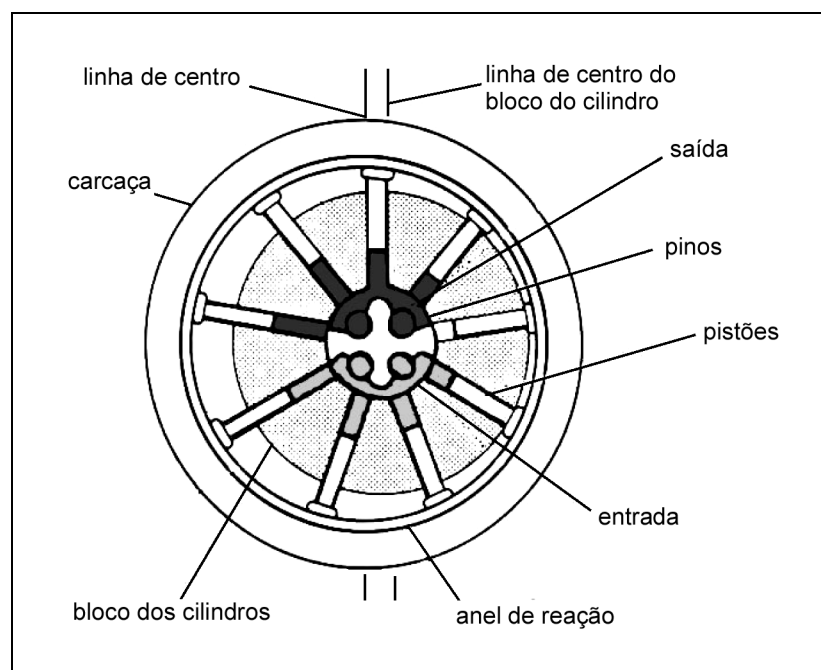


Os dois tipos básicos são o **radial** e o **axial**, sendo que ambos apresentam modelos de deslocamentos fixo ou variável. Uma bomba de tipo radial tem os pistões dispostos radialmente num conjunto, ao passo que, nas unidades de tipo axial, os pistões estão em paralelo entre si bem como ao eixo do conjunto rotativo. Existem duas versões para este último tipo: em linha com placa inclinada e angular.

Bombas de pistões radiais

Neste tipo de bomba, o conjunto gira em um pivô estacionário por dentro de um anel ou rotor. Conforme vai girando, a força centrífuga faz com que os pistões sigam o contorno do anel, que é excêntrico em relação ao bloco de cilindros. Quando os pistões começam o movimento alternado dentro de seus furos, os pórticos localizados no pivô permitem que os pistões puxem o fluido do pórtico de entrada quando estes se movem para fora e descarregam o fluido no pórtico de saída quando os pistões são forçados pelo contorno do anel, em direção ao pivô.

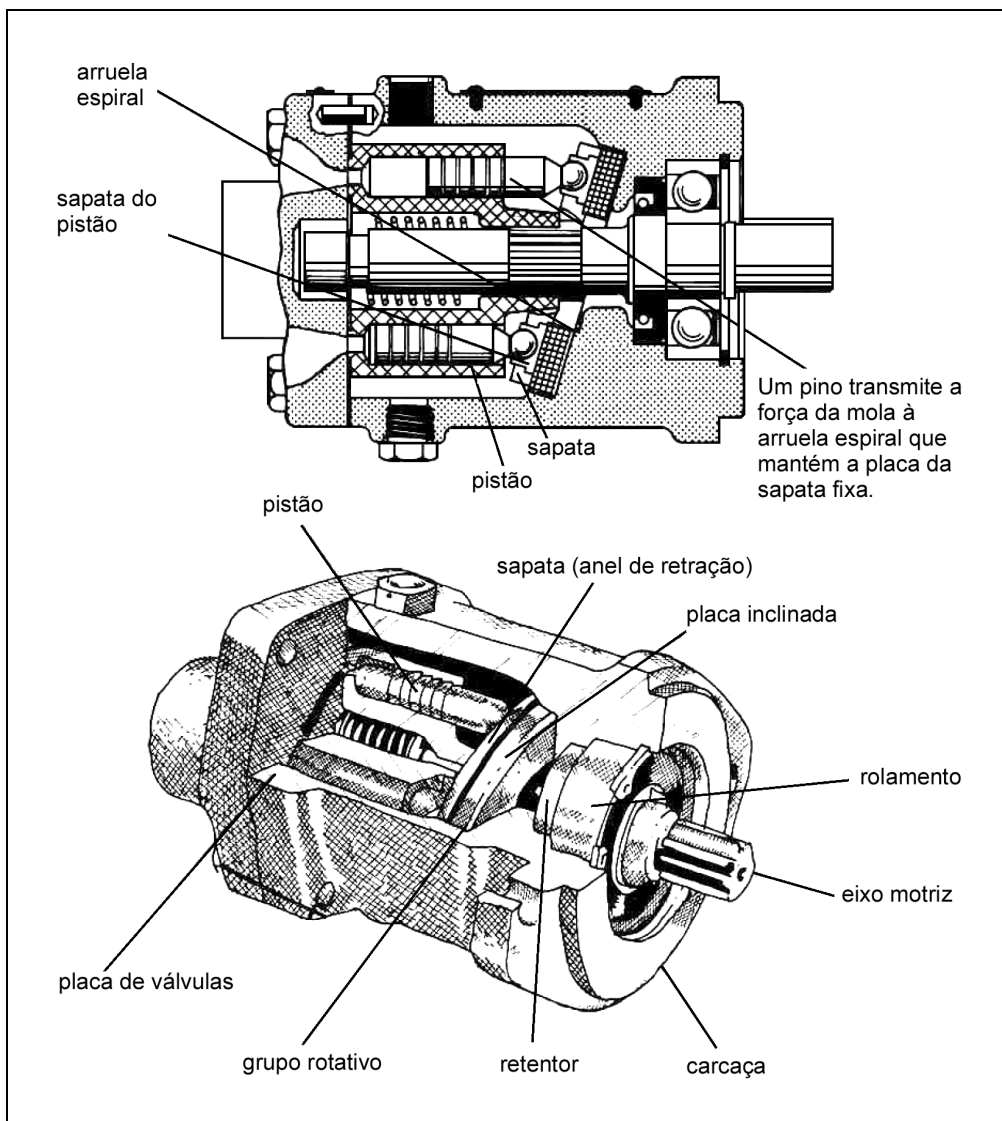
O deslocamento de fluido depende do tamanho e do número de pistões no conjunto, bem como do curso dos mesmos. Existem modelos em que o deslocamento de fluido pode variar, modificando-se o anel para aumentar ou diminuir o curso dos pistões. Existem, ainda, controles externos para esse fim.



Bombas de pistões em linha com placa inclinada

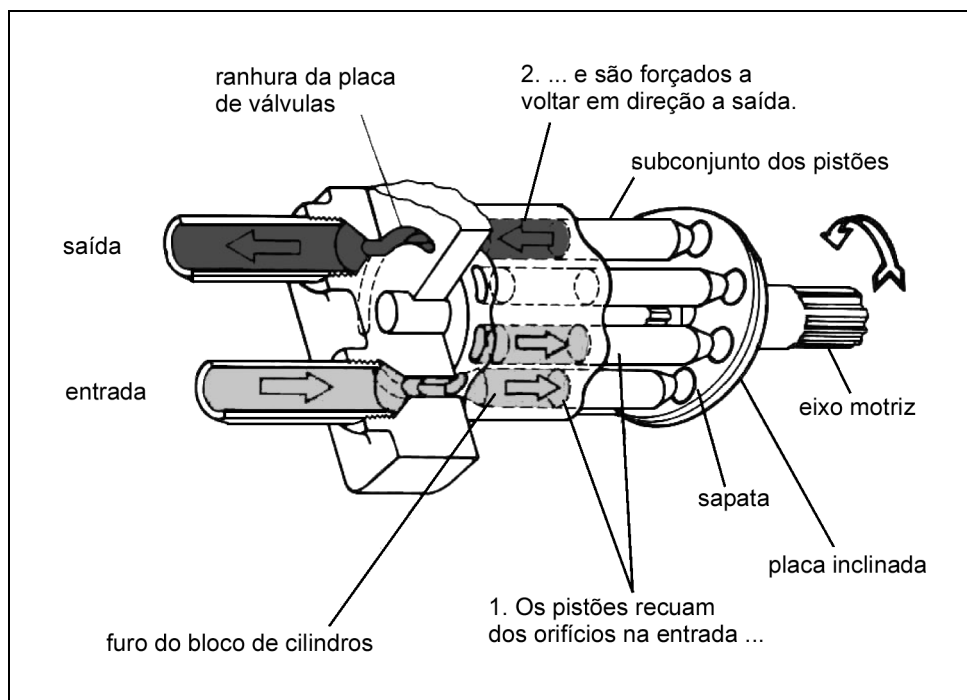
Neste tipo de bomba, axial, o conjunto de cilindros e o eixo estão na mesma linha e os pistões se movimentam em paralelo ao eixo de acionamento. Um eixo gira o conjunto

de cilindros. Os pistões são ajustados nos furos e conectados, através de sapatas, a um anel inclinado.



Movimentos

Quando o conjunto gira, as sapatas sequeam a inclinação do anel, causando um movimento recíproco dos pistões nos seus furos. Os pórticos estão localizados de maneira que a linha de sucção se situe onde os pistões começam a recuar e a abertura de saída onde os pistões começam a ser forçados para dentro dos furos do conjunto. A inclinação da placa causa ao pistão um movimento alternativo.

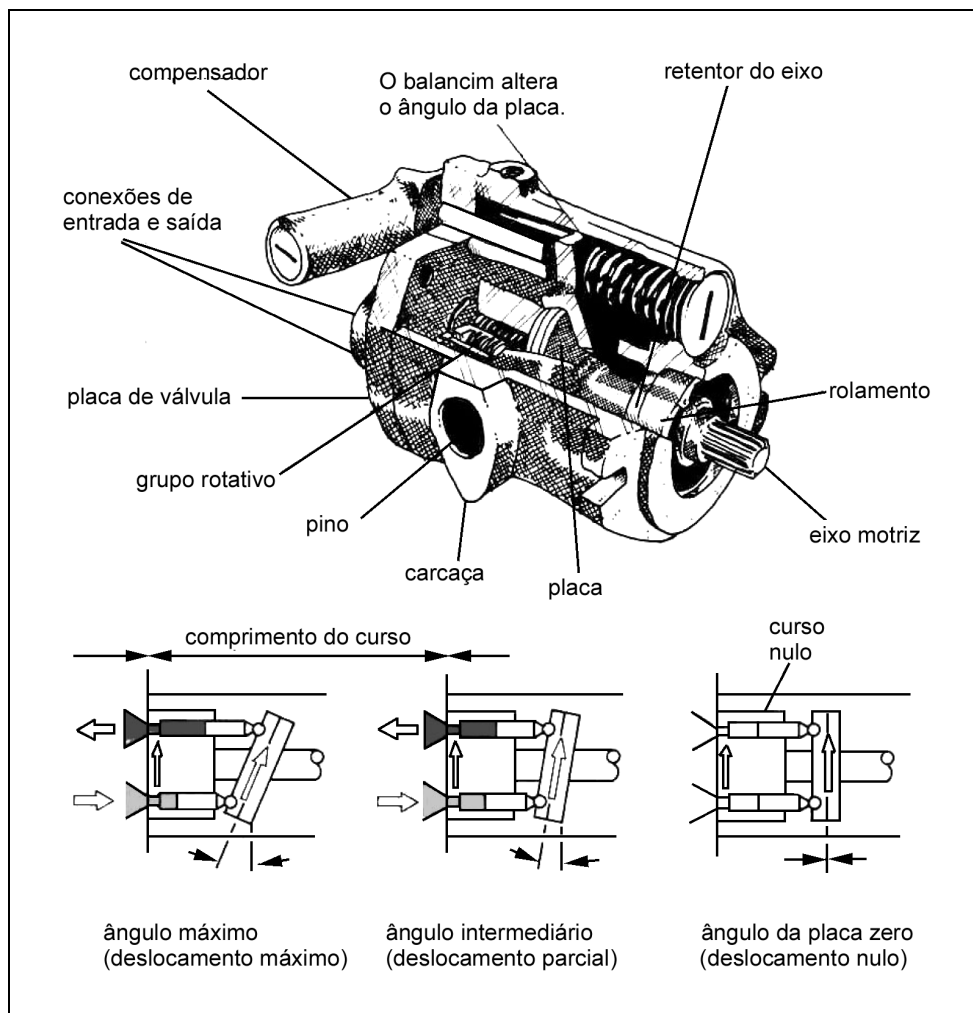


Deslocamento

Nessas bombas, o deslocamento de fluido também é determinado pelo tamanho e quantidade de pistões, bem como de seus cursos; a função da placa inclinada é controlar o curso dos pistões.

Nos modelos com deslocamento variável, a placa está instalada num suporte móvel. Movimentando esse suporte, o ângulo da placa varia para aumentar ou diminuir o curso dos pistões.

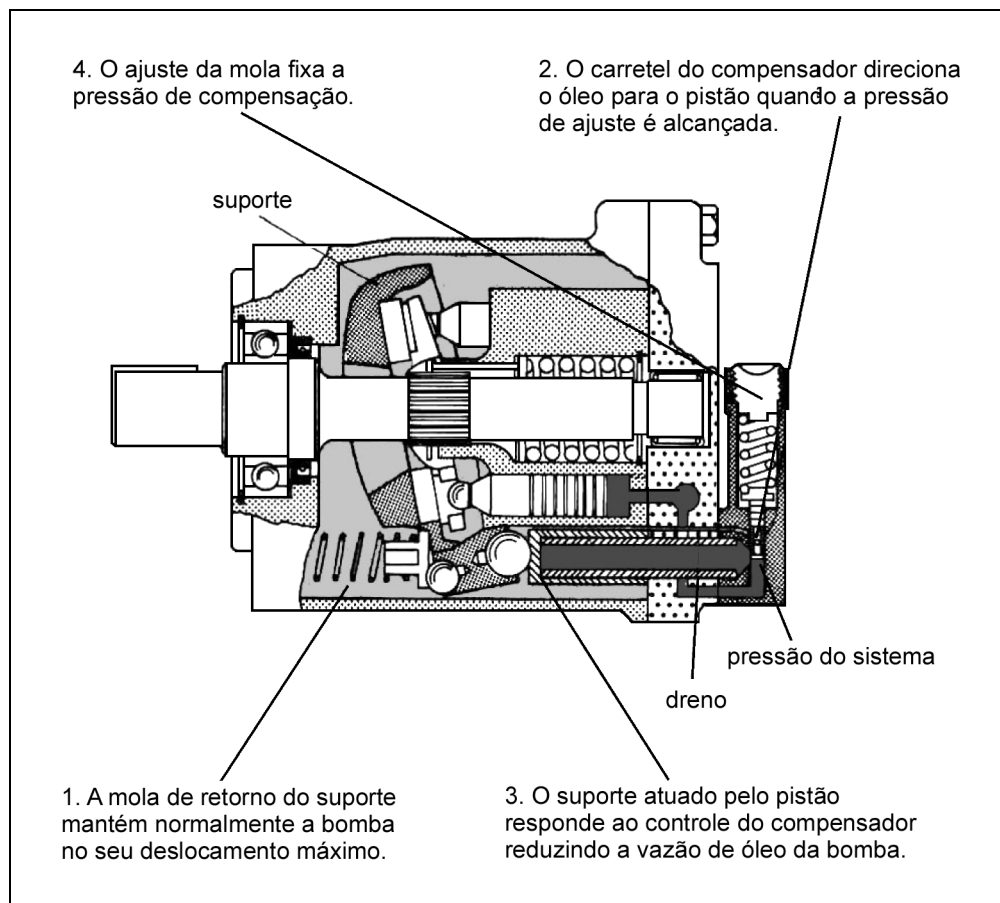
O suporte pode ser posicionado manualmente, por servocontrole, por compensador de pressão ou qualquer outro meio de controle. O ângulo máximo nas unidades mostradas é limitado a 17,5 graus.



Operação de compensador

O controle consiste em uma válvula compensadora balanceada entre a pressão do sistema e a força de uma mola, num pistão controlado pela válvula que movimenta o suporte e uma mola para o retorno desse suporte.

Se não houver pressão no sistema, a mola segura o suporte na inclinação máxima. Conforme a pressão do sistema vai aumentando, a mola age na extremidade do carretel da válvula.



Quando essa pressão for suficiente para vencer a força da mola que segura o carretel, este se desloca e permite que o óleo entre no pistão (o qual é movimentado pela pressão do óleo), diminuindo o deslocamento do fluido da bomba.

Se a pressão do sistema for menor que a força da mola, o carretel será forçado a voltar, o óleo do pistão se descarrega na carcaça da bomba e uma mola empurra o suporte para o ângulo maior.

Assim, o compensador regula o volume do óleo necessário para manter ter uma predeterminada pressão.

Evita-se, assim, uma perda de excesso de energia que, normalmente, ocorre através da válvula de segurança no volume total da bomba, durante as operações de travamento do cilindro.

Placas oscilantes de bomba de pistões em linha

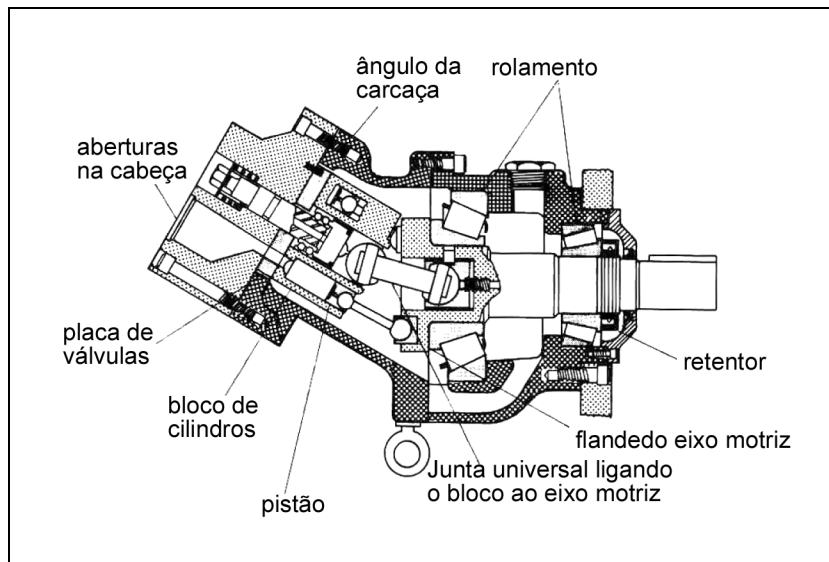
Uma variação de bomba de pistões em linha é a bomba com placa oscilante. Nesta bomba, o cilindro é estacionário e a placa é acionada pelo eixo. Ao girar, a placa oscila empurrando os pistões armados com molas, forçando-os a um movimento alternado. Neste caso, há necessidade de válvulas de retenção separadas para as aberturas de entrada e de saída porque os cilindros, estando estacionários, não passam pelos pórticos.

Bombas de pistões de eixo inclinado

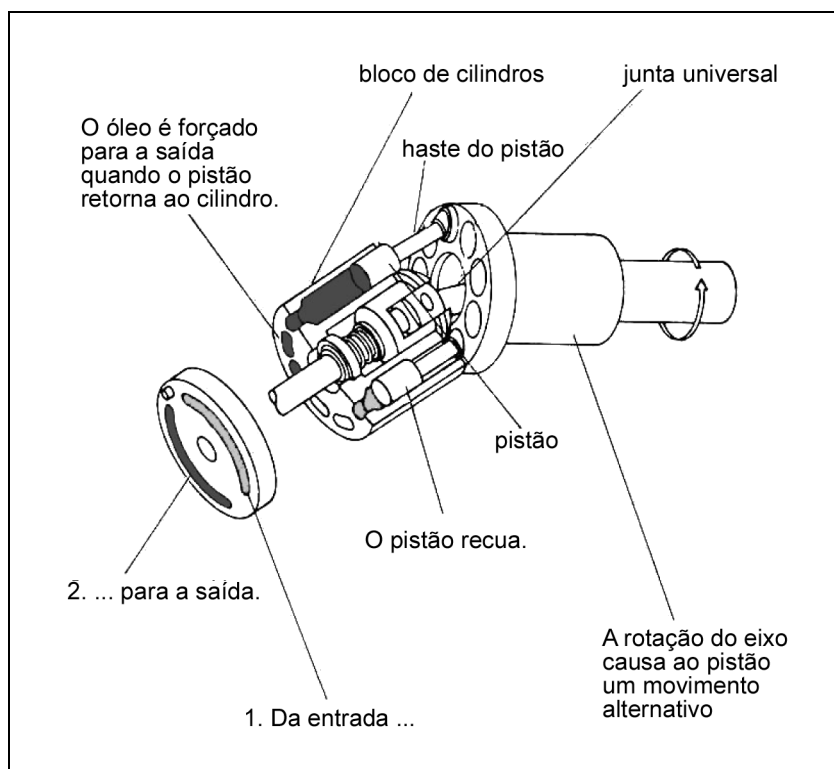
Numa bomba de pistões de eixo inclinado, o conjunto de cilindros gira com o eixo, porém num deslocamento angular. As hastes dos cilindros são seguras ao flange do eixo giratório por juntas em forma de bolas e são forçadas para dentro e para fora de seus alojamentos conforme a variação da distância entre o flange do eixo de acionamento e o bloco de cilindros.

Um eixo universal liga o bloco de cilindros ao eixo motriz para manter um alinhamento e assegurar que as duas unidades girem simultaneamente. Esse eixo universal não transmite força, porém aumenta ou diminui a rotação do conjunto de cilindros e supera a resistência do conjunto quando este gira numa carcaça cheia de óleo.

As bombas de vazão fixa são, normalmente, de 23 ou 30 graus de inclinação.

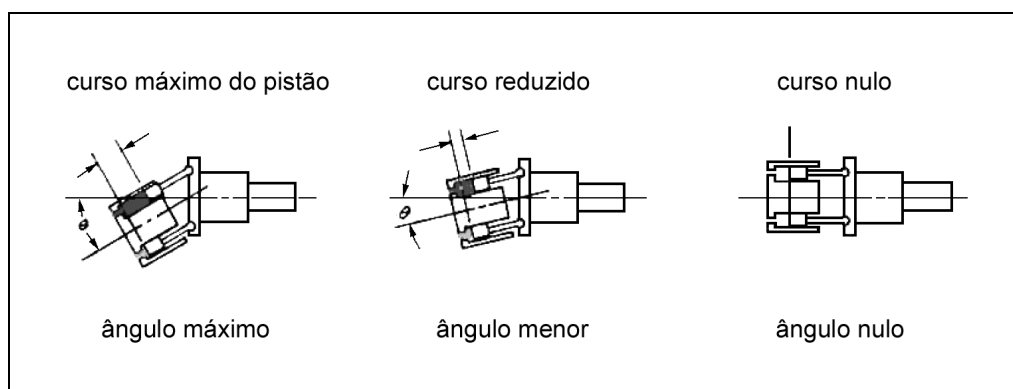


A figura abaixo ilustra a ação de bombeamento em uma bomba de eixo inclinado.



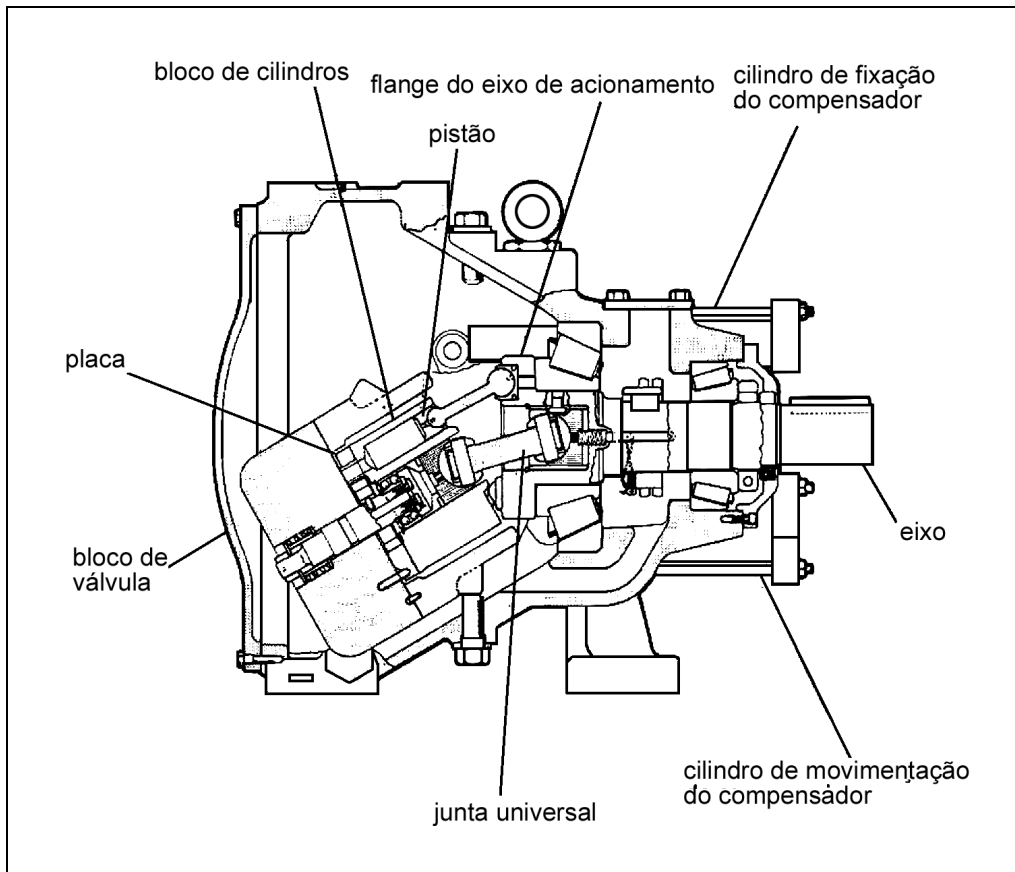
Modificando a vazão

A vazão, nesse tipo de bomba, varia conforme o ângulo de inclinação, sendo o ângulo máximo 30 graus e o mínimo, zero.



Bomba de pistões com deslocamento variável

Em modelos com deslocamento variável, um controle externo é utilizado para modificar o ângulo. Com certos controles, o bloco ou conjunto de pistões, pode ultrapassar o ângulo zero, inclinando-se no lado oposto e invertendo a direção do fluxo da bomba.



Controles para os modelos de deslocamento variável

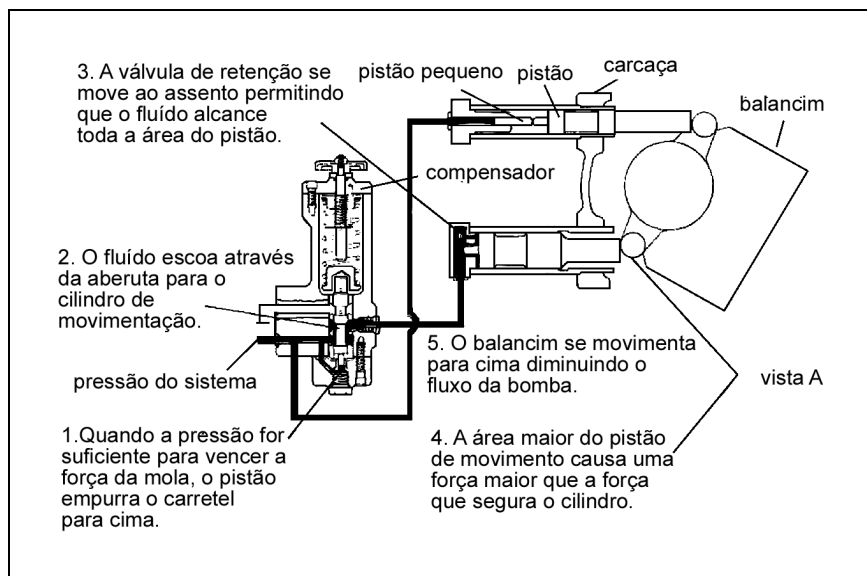
Vários são os métodos usados para controlar o deslocamento de fluido de bomba de eixo inclinado com deslocamento variável. Os controles típicos são a roda manual, compensador de pressão e servo.

Na figura seguinte, o compensador de pressão controla uma bomba de eixo inclinado. A pressão do sistema é suficiente para superar o ajuste da mola do compensador.

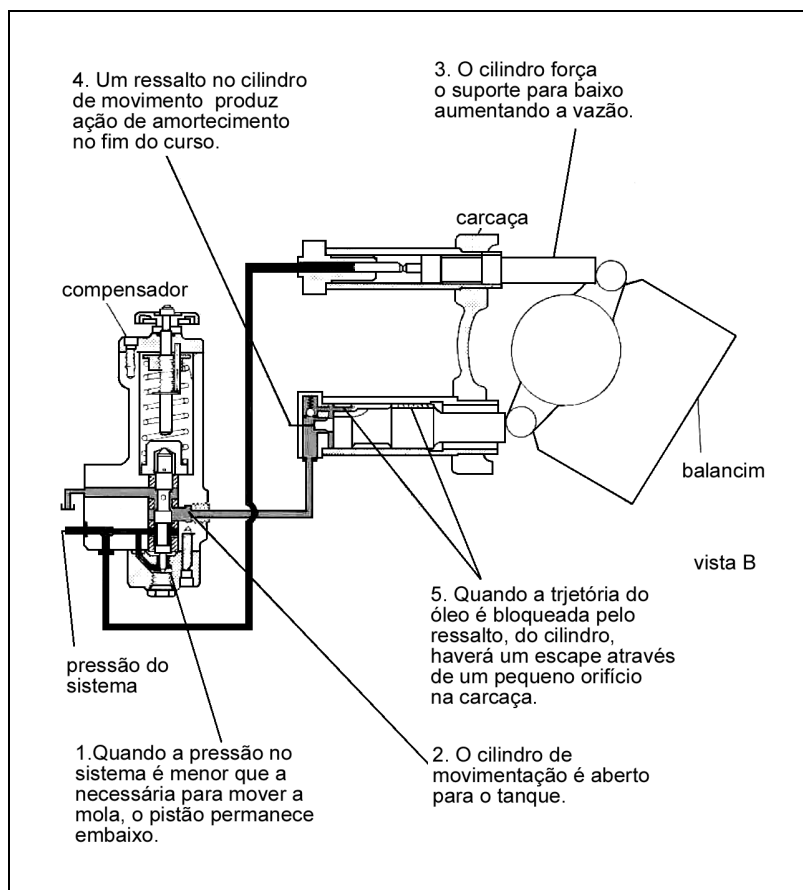
Como resultado, o carretel é levantado, permitindo que o óleo flua para o cilindro de movimentação do compensador.

A pressão do sistema atua tanto no cilindro de movimentação quanto no de fixação, porém como a área do primeiro é maior, a força nele desenvolvida o desloca dando

ensejo a um posicionamento superior do balancim, que propicia uma diminuição de fluxo.

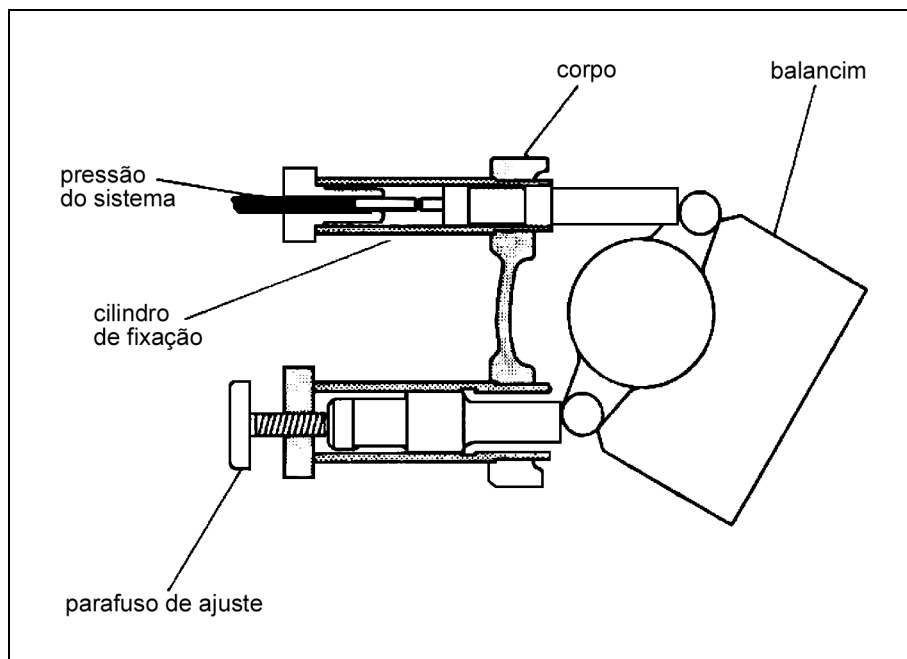


Já na figura seguinte, como a pressão do sistema não é suficiente para vencer a tensão da mola do compensador, o balancim assume uma posição inferior e o fluxo aumenta.



Controle manual

Um parafuso de ajuste manual varia o fluxo da bomba.



Cilindros

A finalidade de um cilindro atuador é transformar a energia hidráulica em energia mecânica. Um fluido separado sob pressão é transformado pelo atuador em força mecânica que, ao deslocar-se, produz trabalho.

Os cilindros são atuadores lineares. Por linear queremos dizer que o trabalho de um cilindro é realizado em linha reta, usado em operações de prender e prensar ou para movimentos de avanço rápido e lento.

Tipos de cilindros

Os cilindros são classificados em simples e de dupla ação. Os cilindros simples podem ser de haste sólida ou haste telescópica. Os cilindros de dupla ação podem ser diferenciais ou de haste dupla não-diferencial.

Observação

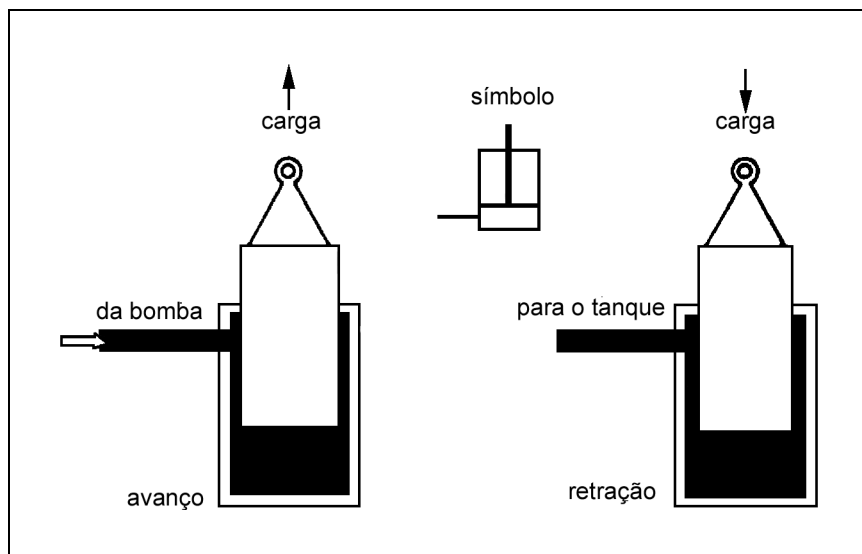
Os cilindros de haste telescópica também são encontrados em unidades de dupla ação.

Talvez o atuador mais simples seja o do tipo pistão liso.

Nele existe apenas uma câmara para fluido e a força é exercida numa única direção.

A maioria desses cilindros é montado verticalmente e retorna pela força da gravidade. Esses cilindros são adequados para aplicações que envolvem cursos longos, tais como elevadores e macacos para levantar automóveis.

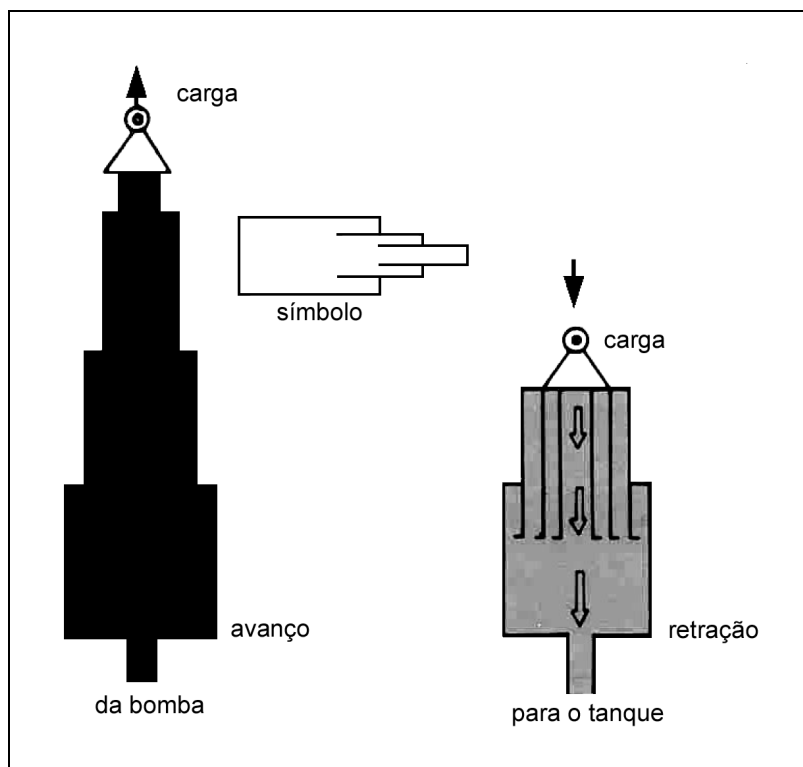
A figura a seguir mostra o funcionamento de um cilindro de simples ação de haste sólida.



Cilindro do tipo haste telescópica

Usa-se um cilindro telescópico quando o comprimento da camisa tem que ser menor do que se pode conseguir com um cilindro-padrão.

Pode-se usar de 4 a 5 estágios, sendo a maioria de simples efeito, porém são também disponíveis unidades de dupla ação.



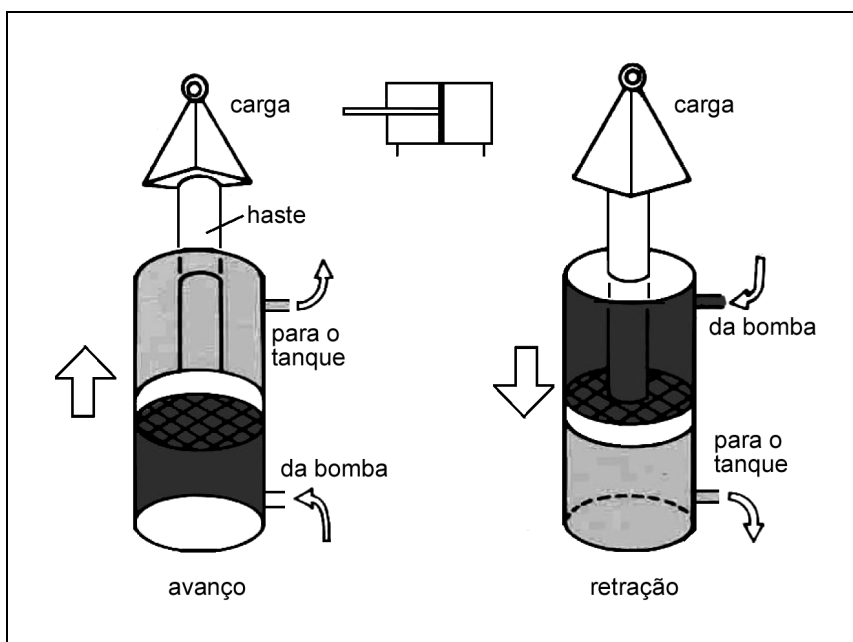
Cilindro-padrão de duplo efeito

É assim chamado porque é operado pelo fluido hidráulico em ambos os sentidos. Isso significa que se pode realizar força em qualquer dos lados do movimento.

Um cilindro-padrão de dupla ação é classificado, também, como um cilindro diferencial, por possuir áreas desiguais expostas à pressão durante os movimentos de avanço e retorno.

Essa diferença de áreas é devida à área da haste, que é fixada ao pistão. Nesses cilindros, o movimento de avanço é mais lento que o de retorno, porém exerce uma força maior.

O cilindro diferencial de dupla ação é operado pelo fluido hidráulico nos dois sentidos.

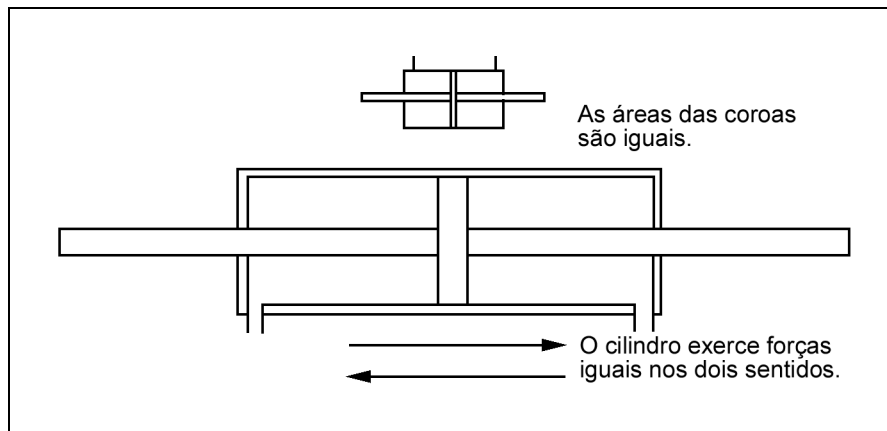


Cilindro de haste dupla

Cilindros de haste dupla são usados onde é vantajoso se acoplar uma carga em cada extremidade, ou então onde são necessárias velocidades iguais em ambos os sentidos.

Observação

Um cilindro de dupla haste é também de dupla ação, porém não é diferencial.



São também considerados como cilindros de dupla ação, porém são classificados como não-diferenciais. Com áreas iguais em cada lado do pistão, esses cilindros fornecem velocidades e forças iguais em ambas as direções.

Qualquer cilindro de dupla ação pode se tornar em um de simples efeito, drenando-se o lado inativo para o tanque.

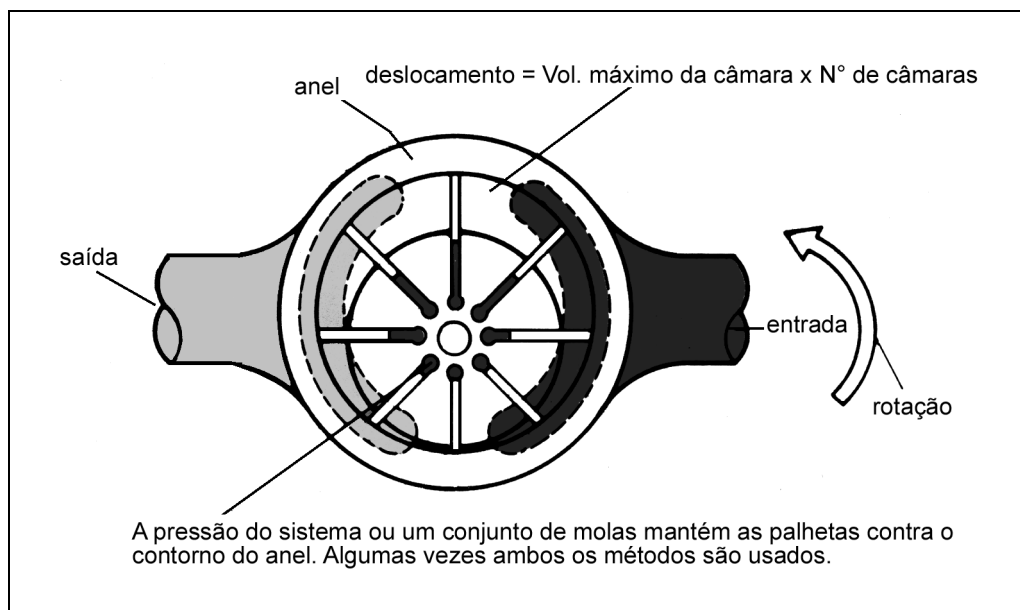
Motores hidráulicos

O motor hidráulico é um atuador rotativo. A construção dos motores hidráulicos se parece muito com a construção das bombas. Ao invés de empurrar um fluido, como a bomba o faz, o motor é empurrado pelo fluido, desenvolvendo torque e movimento rotativo contínuo através das palhetas. Como ambos os pórticos dos motores podem, às vezes, ser pressurizados (bidirecionais), a maioria dos motores hidráulicos é drenada externamente.

Os motores hidráulicos são caracterizados de acordo com o deslocamento, torque e limite de pressão máxima.

Deslocamento

O deslocamento de um motor é dado pelo volume absorvido **por rotação**. É a quantidade de fluido que o motor aceitará para uma revolução ou, então, a capacidade de uma câmara multiplicada pelo número de câmaras que o mecanismo contém. Esse deslocamento é representado em litros por revolução.



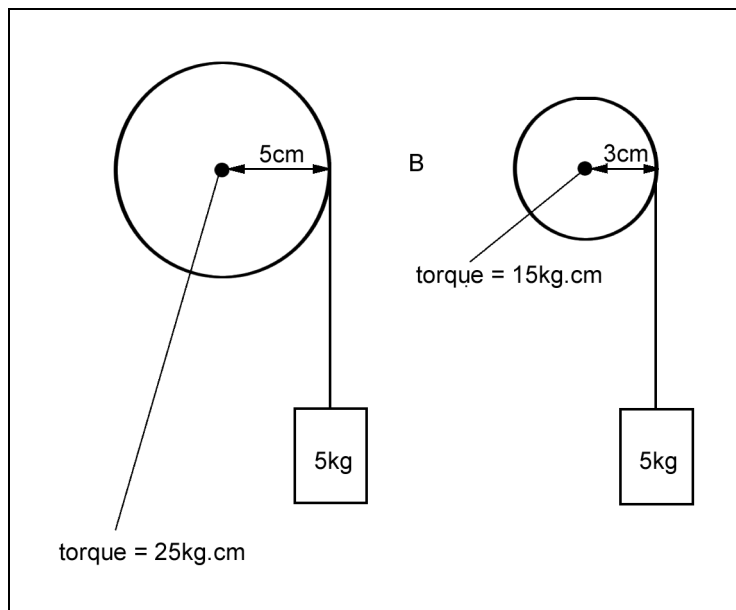
Torque

Em um motor hidráulico pode-se ter torque sem movimento, pois este só se realizará quando o torque gerado for suficiente para vencer o atrito e a resistência da carga.

Note que o torque está sempre presente no eixo de acionamento e será igual à carga multiplicada pelo raio da polia. Uma dada carga dará ensejo a um torque menor, no eixo, se diminuirmos o raio. Entretanto, quanto maior o raio, mais rápido a carga se movimentará para uma determinada velocidade do eixo. Expressa-se o torque em kg.m ou libras-polegadas.

A pressão necessária em um motor hidráulico depende do torque e do movimento necessários.

Um motor com grande-deslocamento desenvolverá um certo torque com menos pressão do que um motor com pequeno deslocamento. A capacidade básica de torque de um motor é, geralmente, expressa em kg . m à pressão de 7kg/cm^2 (SAE). O torque é igual ao produto da carga pelo raio.



Fórmulas para a aplicação de motores

Para a seleção de um motor hidráulico, as fórmulas a seguir são usadas na determinação do fluxo e pressão necessários.

Todas essas fórmulas são para um torque teórico. De acordo com as especificações de rendimento de motor utilizado, pode ser necessário considerar uma eficiência entre 70 e 90%.

$$\text{Torque nominal} = \frac{\text{torque necessário (kg.m x 7)}}{\text{pressão de operação (atm)}} \quad \text{[kg.m a 7atm]}$$

Exemplo

Para levantar uma carga de 500kg.m à pressão de 100atm, é necessário um motor de 35kg.m de torque nominal a 7atm, como mostra o cálculo abaixo:

$$T_n = \frac{500 \times 7}{100} = \frac{3.500}{100} = 35\text{kg.m a 7 atm}$$

$$\text{Pressão de operação} = \frac{\text{torque necessário (kg.m) x 7}}{\text{torque nominal (kg.m a 7kg.cm}^2)} \quad \text{[atm]}$$

Exemplo

Um motor de 5kg.m desenvolve 210atm com uma carga de 150kg.m conforme mostra o cálculo abaixo:

$$P = \frac{150 \times 7}{5} = 210\text{atm}$$

$$\text{Torque máximo} = \frac{\text{torque nominal (em kg.m a 7atm) x Pmax}}{7} \quad \text{[kg.m]}$$

sendo Pmax a pressão permissível.

Exemplo

Um motor com 10kg.m a 140atm pode levantar uma carga máxima de 200kg.m, conforme mostra o cálculo abaixo:

$$\text{Torque máximo} = \frac{10 \times 140}{7} = 200\text{kg.m}$$

Para achar o torque, conhecendo-se a pressão e o deslocamento usa-se:

$$\text{torque} = \frac{p \times \text{deslocamento (cm}^3 \text{ / rev.)}}{2} \quad \text{[kg.cm]}$$

$$\text{torque} = \frac{p \times \text{deslocamento (cm}^3 / \text{rev.)}}{200} \text{ [kg.m]}$$

A vazão necessária para uma certa velocidade será:

$$\text{vazão} = \frac{Nr \times \text{deslocamento (cm}^3 / \text{rev.)}}{1.000} \text{ [l/min]}$$

Exemplo

Um motor com deslocamento de 10cm³ /rev., para girar a 400 min⁻¹, necessita de:

$$\text{vazão} = \frac{400 \times 10}{1.000} = 4 \text{ l/min}$$

Para determinar o número de rotações, sabendo o deslocamento e a vazão, teremos:

$$Nr = \frac{v \text{ (l/min)} \times 1.000}{\text{deslocamento (cm}^3 / \text{rev.)}}$$

A tabela seguinte mostra os efeitos na velocidade, pressão e torque de acordo com mudanças aplicadas no motor. Note que os princípios básicos são idênticos aos dos cilindros.

Mudança	Velocidade	Efeito sobre a pressão de operação	Torque disponível
aumento de pressão	sem efeito	sem efeito	aumenta
redução de pressão	sem efeito	sem efeito	reduz
aumento de vazão	aumenta	sem efeito	sem efeito
redução de vazão	reduz	sem efeito	sem efeito
aumento de deslocamento	reduz	reduz	aumenta
redução de deslocamento	aumenta	aumenta	reduz

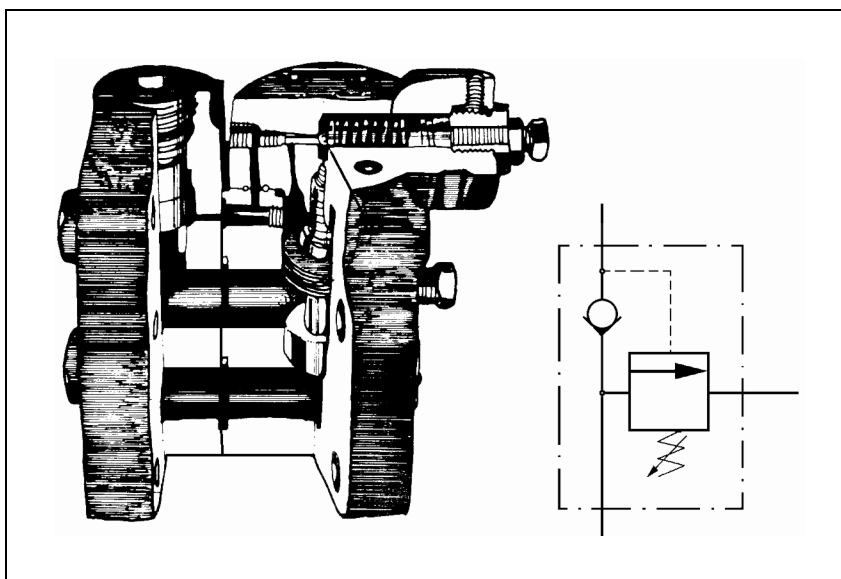
A tabela é válida assumindo-se uma carga constante.

Válvula de segurança e descarga (circuitos com acumuladores)

Esta válvula é utilizada em circuitos que possuem acumulador e servem para:

1. Limitar a pressão máxima;
2. Descarregar a bomba quando se alcança a pressão desejada no acumulador.

Sua construção compreende uma válvula de segurança de pistão balanceado, uma válvula de retenção para bloquear o fluxo do acumulador para a bomba e um pistão operando por pressão que torna inoperante (venta) a válvula de segurança na pressão desejada.

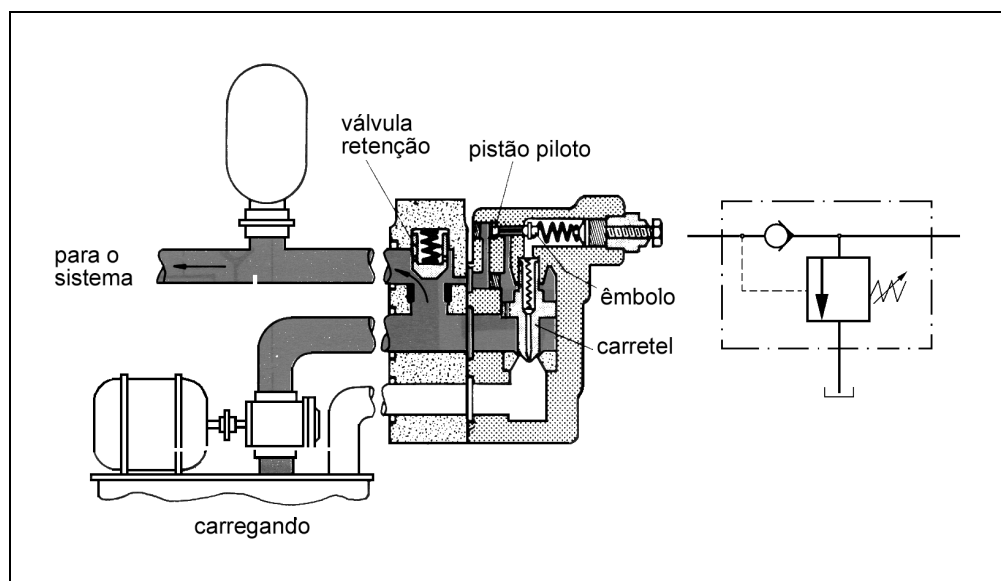


Operação de carregamento

A figura seguinte mostra a condição de fluxo quando o acumulador está sendo carregado.

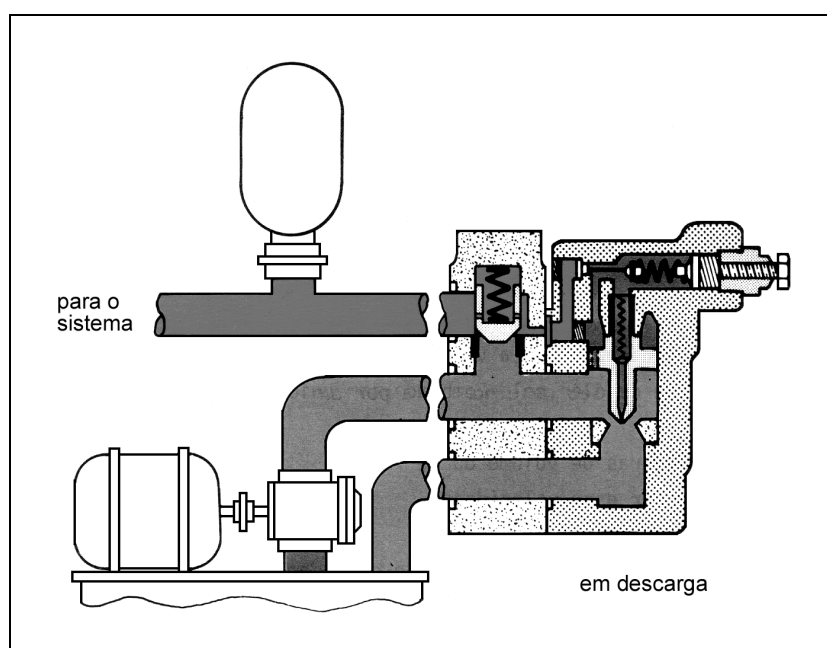
O pistão da válvula de segurança é balanceado e mantido em seu assento por uma mola fraca.

O fluxo passa através da válvula de retenção para o acumulador.



Na figura seguinte, a pressão selecionada é alcançada. O pistão piloto da válvula de segurança é deslocado de seu assento, limitando a pressão sob o pistão. A pressão do sistema força o piloto completamente para fora do seu assento, ventando a válvula de segurança e descarregando a bomba.

A válvula de retenção se assenta permitindo que o acumulador mantenha a pressão no sistema. Devido á diferença de áreas (aproximadamente 15%) entre o êmbolo e o pistão piloto, quando a pressão diminui para 85% do ajuste da válvula tanto o pistão piloto quanto o pistão balanceado se assentam e o ciclo se repete.

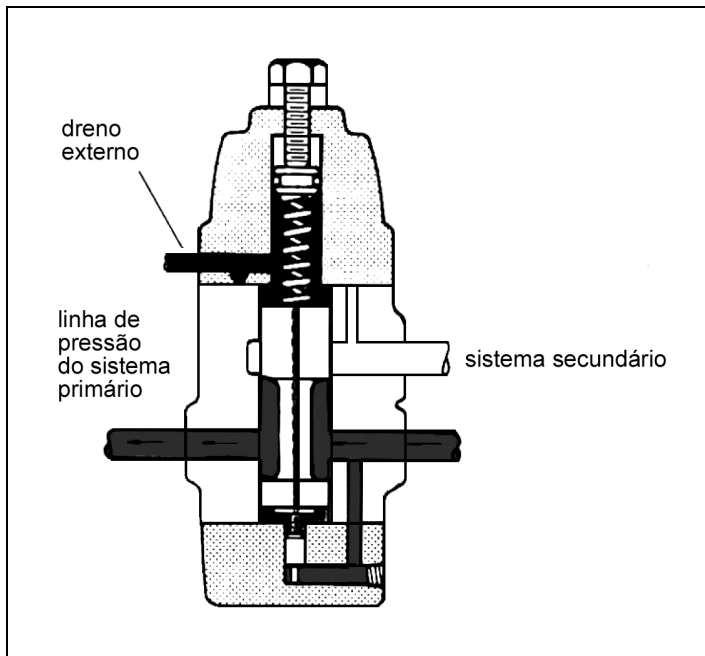


Válvula de seqüência de ação direta

A válvula de seqüência é usada em um sistema para acionar os atuadores em uma determinada ordem e também manter uma pressão mínima predeterminada na linha de entrada durante a operação secundária.

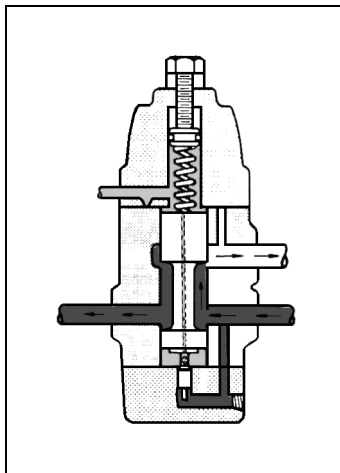
A figura a seguir mostra uma válvula montada para operação em seqüência. O fluxo passa livremente através da passagem primária para operar a **primeira fase** até que o ajuste da mola seja atingido.

Uma aplicação típica é utilizar essa primeira fase para um cilindro de fechamento.



Num outro momento, quando o carretel se levanta, o fluxo passa para o pórtico secundário para operar a **segunda fase**.

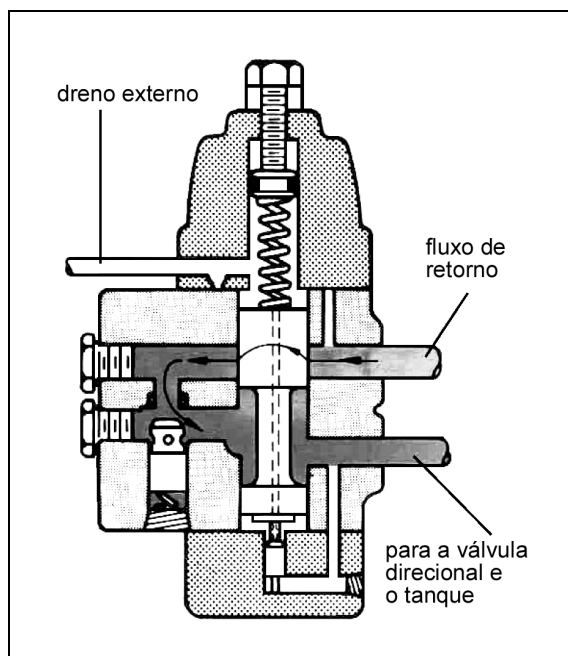
Essa aplicação serve, por exemplo, para o movimento de uma furadeira depois que a peça esteja firmemente segura pelo cilindro da 1ª operação.



Válvula de seqüência com retenção integrada

Sempre que ocorrer seqüência em um sentido e retorno livre, deve-se usar uma válvula de retenção.

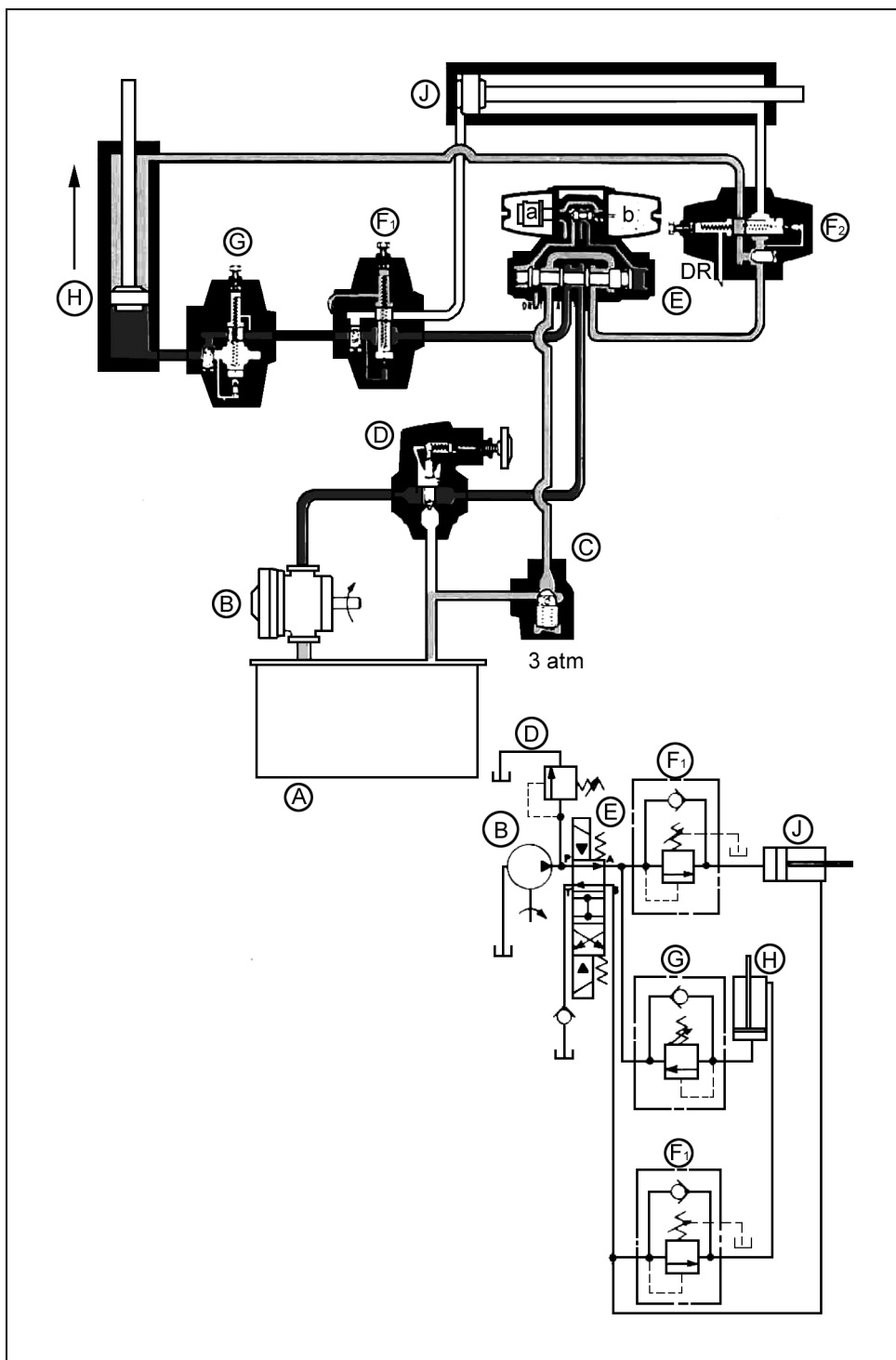
Nestes casos, normalmente usa-se válvula de seqüência que tenha uma válvula de retenção incorporada.



As válvulas de seqüência podem ser controladas por:

- Fonte interna → controle direto
- Fonte externa → controle remoto

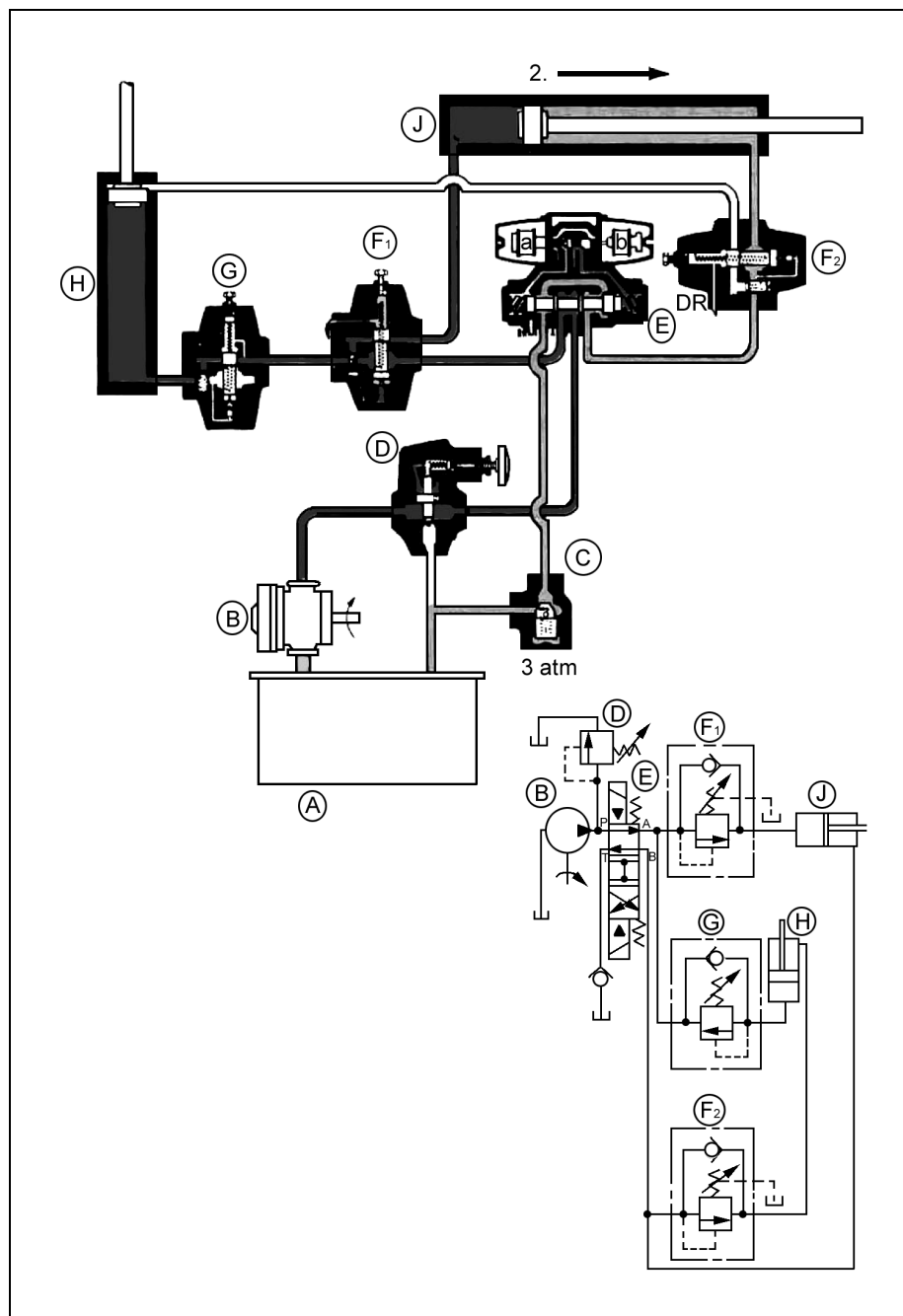
A conexão do dreno na tampa superior deve ser sempre externa. A figura a seguir mostra o circuito em seqüência: avanço do cilindro.



Primeira fase - solenóide Ea energizado

A vazão da bomba B é direcionada através das válvulas D, E e da retenção incorporada na válvula G para a cabeça do cilindro H.

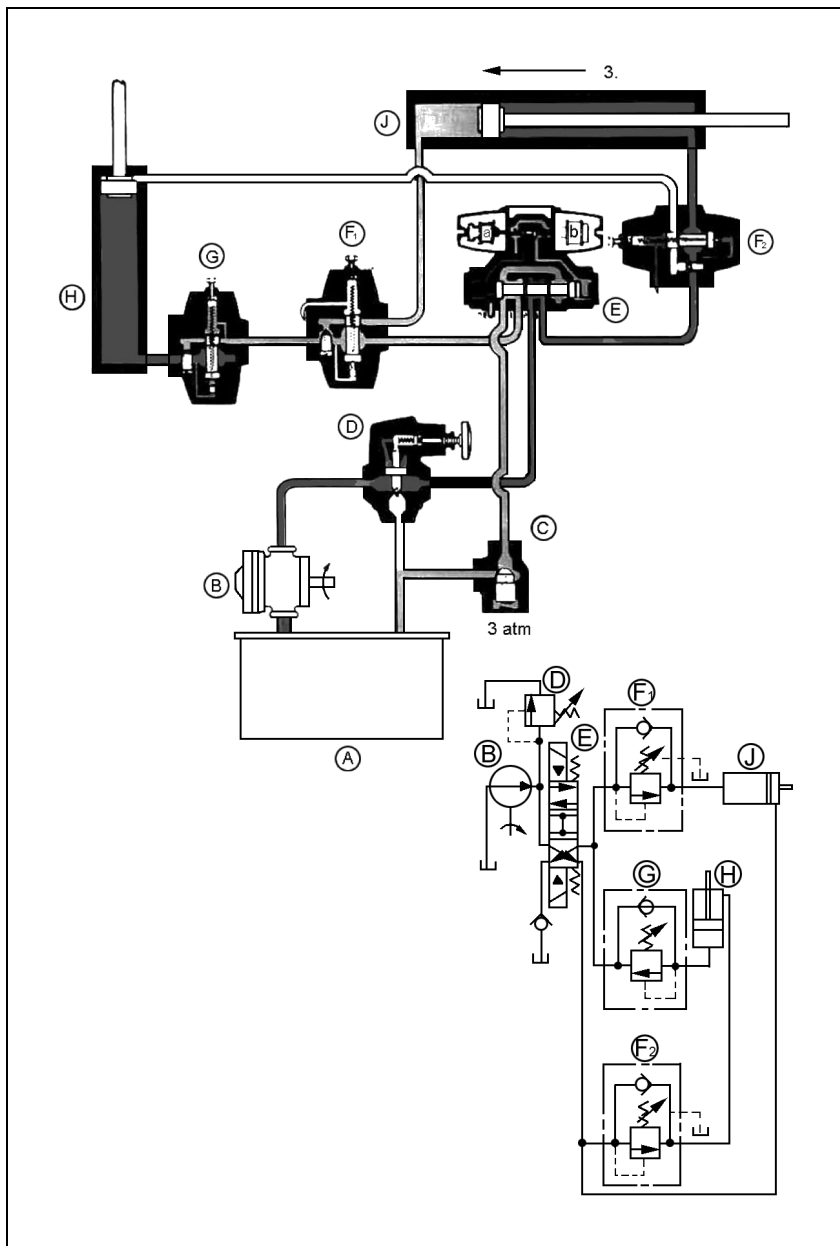
O óleo do lado de sua haste flui livremente para o tanque através das válvulas F₂, E e C. A figura abaixo mostra o circuito em seqüência: avanço do cilindro J mantendo o cilindro H sob pressão.



Segunda fase - solenóide Ea energizado

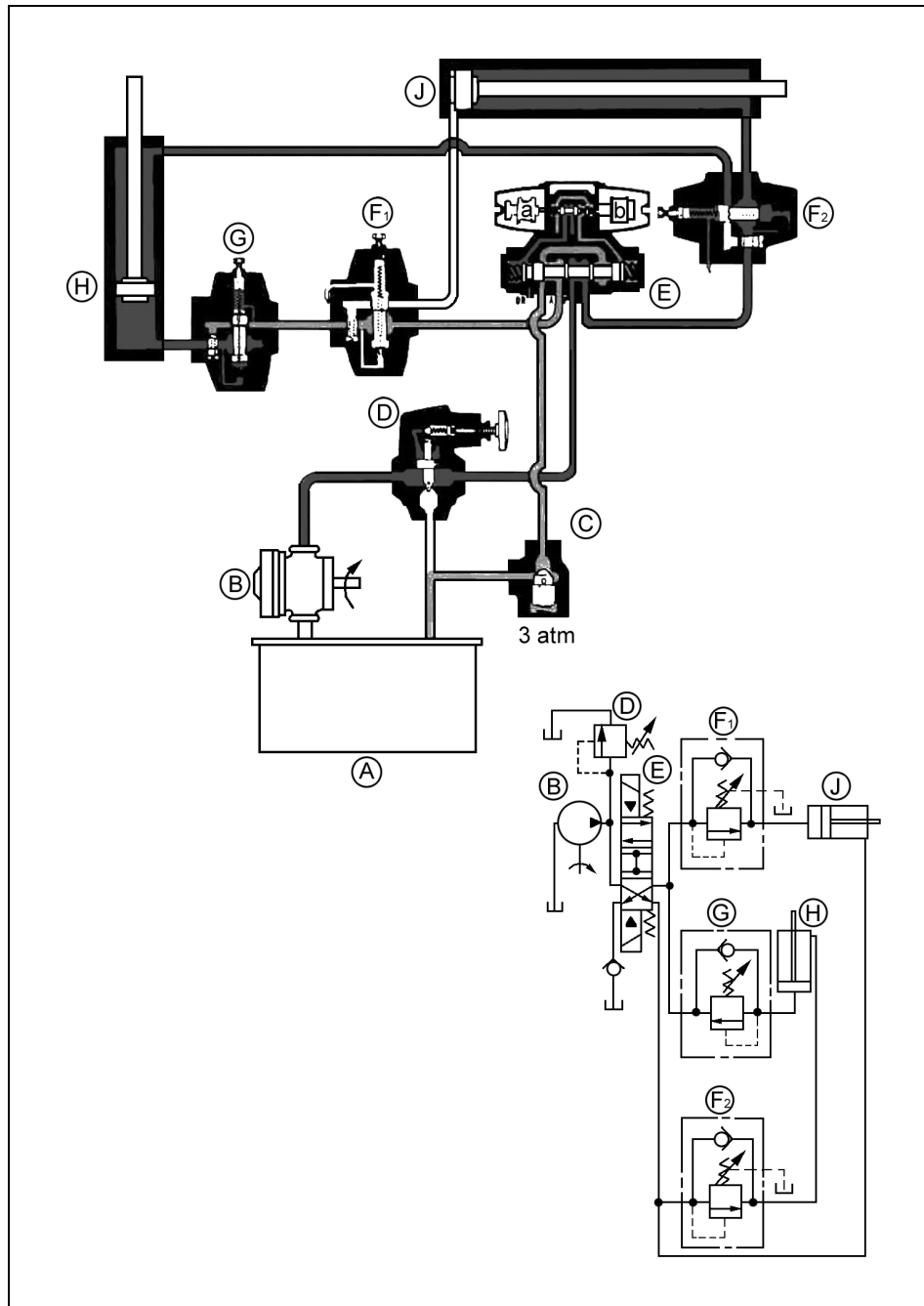
Ao completar-se a primeira fase, a pressão aumenta e provoca a introdução do fluxo através de F₂ no lado da cabeça do cilindro J. A descarga do óleo proveniente ao lado da haste de J flui livremente para o tanque através das válvulas F₂, E e C. A válvula F₁ assegura a pressão de fixação do cilindro H durante o avanço do cilindro J. Quando o cilindro J completa seu curso, a pressão aumenta até o ajuste da válvula D que fornece

proteção à sobrecarga para a bomba B. Abaixo, figura ilustrando circuito em seqüência: retração do cilindro J.



Terceira fase - solenóide Eb energizado

O fluxo proveniente da bomba B é dirigido diretamente através das válvulas D, E e F₂ ao lado da haste do cilindro J. A descarga do lado da cabeça de J flui livremente para o tanque através da válvula de retenção F e das válvulas E e C. A figura a seguir ilustra o circuito em seqüência: retração do cilindro H.



Quarta fase - solenóide Eb energizado

Ao completar-se a terceira fase, a pressão aumenta causando fluxo através de F_2 no lado da haste do cilindro H. A descarga de óleo do lado da cabeça de H flui através da válvula G à pressão de ajuste e, daí, livremente através de F_1 , E e C para o tanque. A válvula F_2 assegura a pressão atuante no lado da haste do cilindro J durante a retração de H. A válvula G assegura um contrabalanço ao cilindro H para evitar uma queda descontrolada.

Válvulas redutoras de pressão (simples e composta)

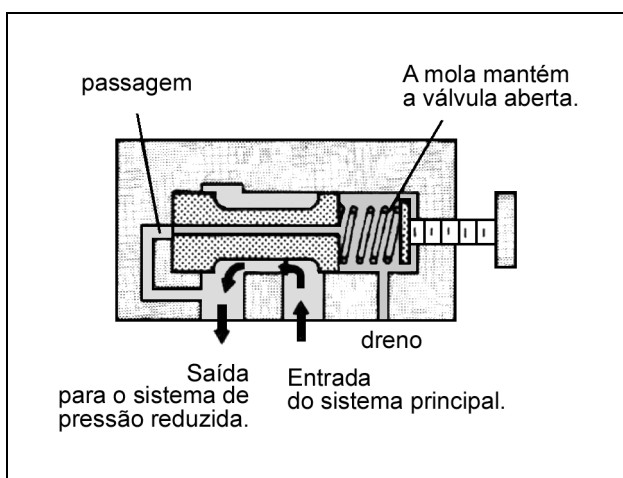
As válvulas redutoras de pressão são controladoras de pressão, normalmente abertas, utilizadas para manter pressões reduzidas em certos ramos de um sistema.

As válvulas são atuadas pela pressão de saída, que tende a fechá-las quando atingido o ajuste efetuado, evitando assim um aumento indesejável de pressão. As válvulas redutoras podem ser de ação direta ou operadas por piloto.

Válvula redutora de pressão de ação direta

Esta válvula usa um carretel acionado por uma mola, que controla a pressão de saída.

Se a pressão na entrada for menor que o ajuste da mola, o líquido fluirá livremente da entrada para a saída. Uma passagem interna, ligada à saída da válvula, transmite a pressão de saída do carretel contra a mola.

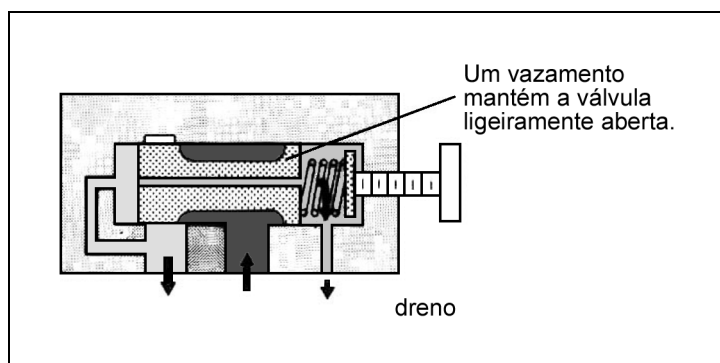


Quando a pressão na saída se eleva ao ajuste da válvula, o carretel se move bloqueando parcialmente o pórtico da saída.

Apenas um fluxo, suficiente para manter o ajuste prefixado, passa para a saída.

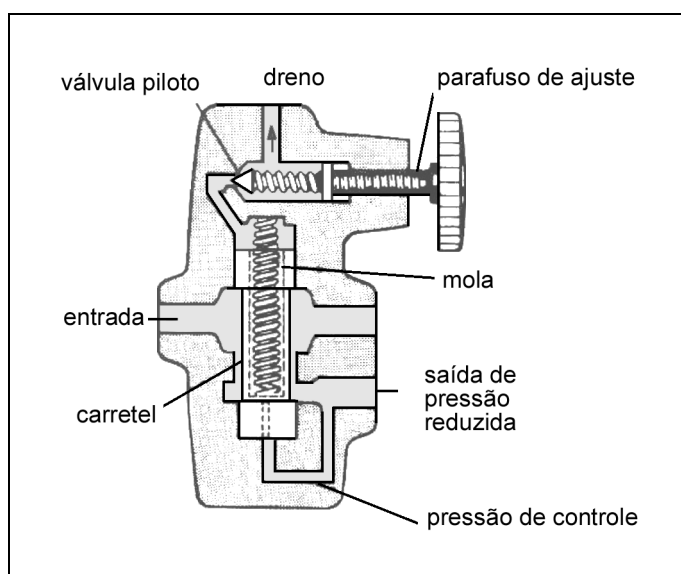
Se a válvula se fechar completamente, o vazamento através do carretel poderá aumentar a pressão no circuito principal.

Entretanto, uma sangria contínua ao tanque faz com que a válvula se mantenha ligeiramente aberta evitando um aumento de pressão além do ajuste da válvula. A válvula contém, igualmente, uma passagem separada para drenar esta sangria ao tanque.



Válvulas redutoras de pressão pilotadas

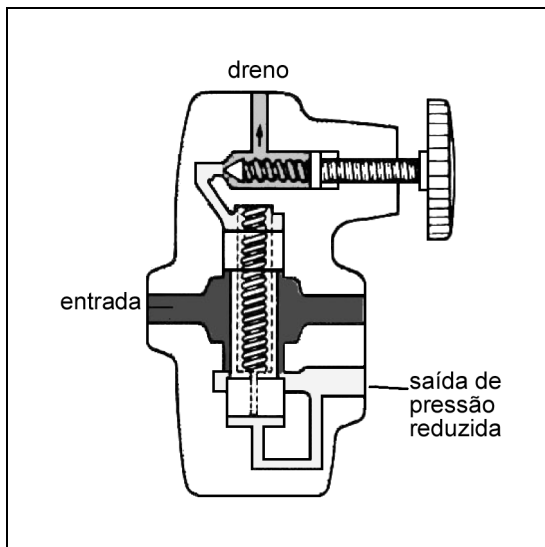
Estas válvulas têm uma larga faixa de ajuste e, geralmente, fornecem um controle mais preciso. A pressão de operação é ajustada por um pistão e uma mola regulável, localizados no corpo superior (estágio piloto). A pressão do sistema é inferior ao ajuste da válvula.



A figura seguinte mostra a condição em que a pressão atingiu o ajuste da mola.

Quando a elevação de pressão conseguir abrir o pistão piloto, o fluxo será drenado; haverá um desequilíbrio de pressão entre as partes superior e inferior do carretel.

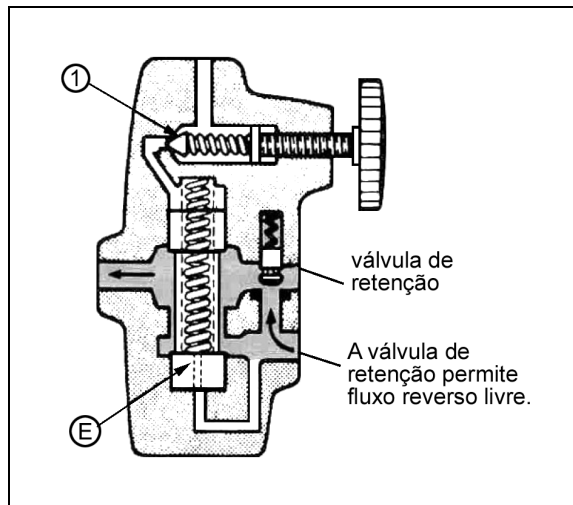
Quando esse equilíbrio de pressão for suficiente para cumprir a mola, o carretel se elevará e irá fechar gradativamente a válvula, até encontrar um ponto em que a pressão de saída (reduzida) seja aquela determinada pelo ajuste.



Mesmo que não haja fluxo no sistema secundário, haverá sempre um dreno contínuo de um ou dois litros por minuto através do orifício do carretel e do piloto ao tanque.

Com essa condição, o carretel é colocado na posição, como mostra a figura acima. Entretanto, a vazão inversa livre não será possível se a pressão na abertura de saída exceder o ajuste da válvula. Mesmo com pressões maiores que o ajuste da válvula, a vazão inversa livre será possível, bastando para isso que se incorpore ao sistema uma válvula de retenção integral. Entretanto, a mesma ação de redução de pressão não é prevista para esta direção de vazão.

A figura abaixo ilustra esquematicamente a construção interna desta válvula.



Manutenção

Embora a operação destas válvulas geralmente seja de muita confiança, devem, assim como outras válvulas, ser revisadas a intervalos regulares para um bom processo de manutenção.

Sujeiras ou substâncias estranhas no óleo poderão provocar a operação irregular destas válvulas, fazendo com que o carretel grande fique preso no corpo da válvula ou bloqueando a passagem restrita E.

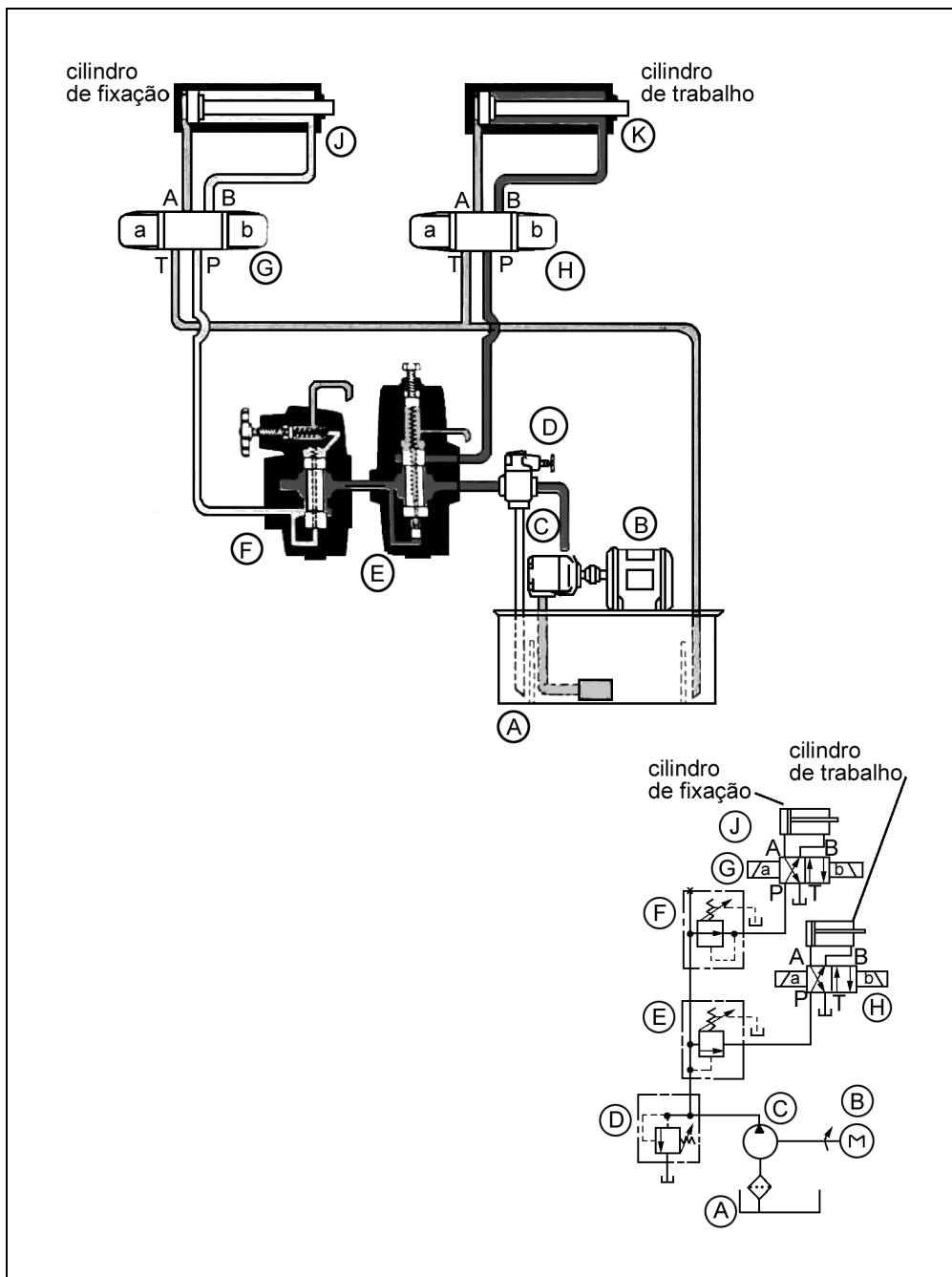
A sujeira também pode impedir o assentamento adequado do pistão piloto (1) sobre seu assento.

Limpe todas as peças, com exceção dos vedadores e gaxetas, com um solvente compatível. Os vedadores e gaxetas devem ser substituídos por peças novas em cada revisão. Todos os vedadores e gaxetas novos devem ser embebidos em fluido hidráulico limpo antes da montagem.

Inspecione todas as peças em busca de danos ou desgaste excessivo e substitua por novas quaisquer peças defeituosas. Geralmente, a desmontagem e limpeza perfeita de uma destas válvulas fará com que volte a sua condição de operação normal.

Entretanto, se o pistão piloto ou o assento na tampa superior mostrarem um desgaste apreciável, devem ser postos fora de uso e devem ser instaladas peças novas. Cubra todas as peças com uma camada de fluido hidráulico limpo antes de remontar a válvula.

O esquema abaixo mostra um circuito de fixação com pressão controlada.



Ativando os solenóides b das válvulas G e H, o óleo proveniente da bomba C será dirigido ao cilindro J através das válvulas D, E e F.

Quando a peça estiver fixa, a pressão se elevará até vencer a ajuste da válvula E e o fluxo do óleo atingirá o cilindro K após passar por E e H. A válvula E assegurará uma pressão mínima de fixação de J durante a operação de K.

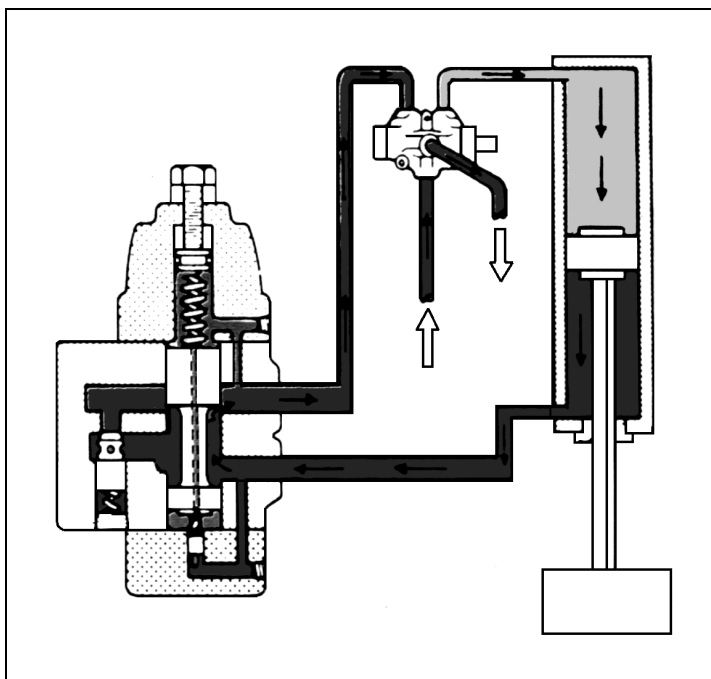
A válvula E assegurará uma pressão em F e limitará a pressão máxima desejável em J. Desativando o solenóide b e ativando o solenóide a de H, o óleo da bomba fará com que K se retraia após vencer as válvulas E e H.

Quando K completar seu curso de retração, o solenóide b de G será desativado e o solenóide a será ativado para que haja a retração do cilindro J.

Válvula de contrabalanço de ação direta

Uma válvula de contrabalanço é utilizada para controlar um cilindro vertical de modo que seja evitada a sua descida livre pela força da gravidade.

O pórtico primário da válvula está ligado ao pórtico inferior do cilindro, enquanto o pórtico secundário está ligado à válvula direcional.



Quando a vazão da bomba é dirigida para o lado superior do cilindro, o pistão é forçado a descer causando um aumento de pressão no pórtico de entrada da válvula, levantando o carretel e abrindo uma passagem para a descarga através do pórtico secundário da válvula direcional e daí para o tanque.

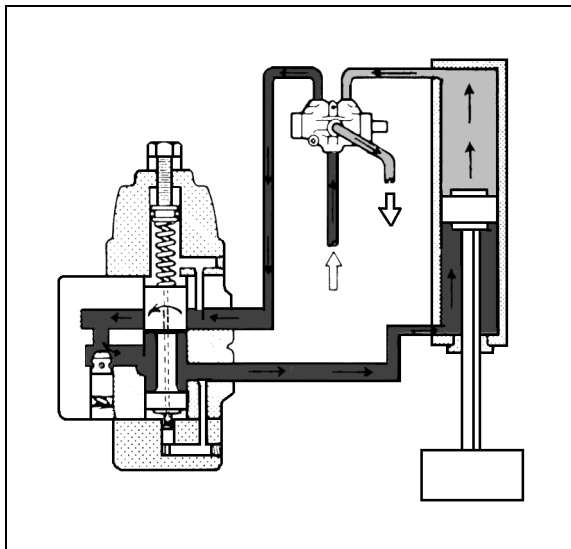
A regulagem desta válvula tem que ser um pouco superior à pressão necessária para se manter a carga.

Pórtico primário ligado ao cilindro

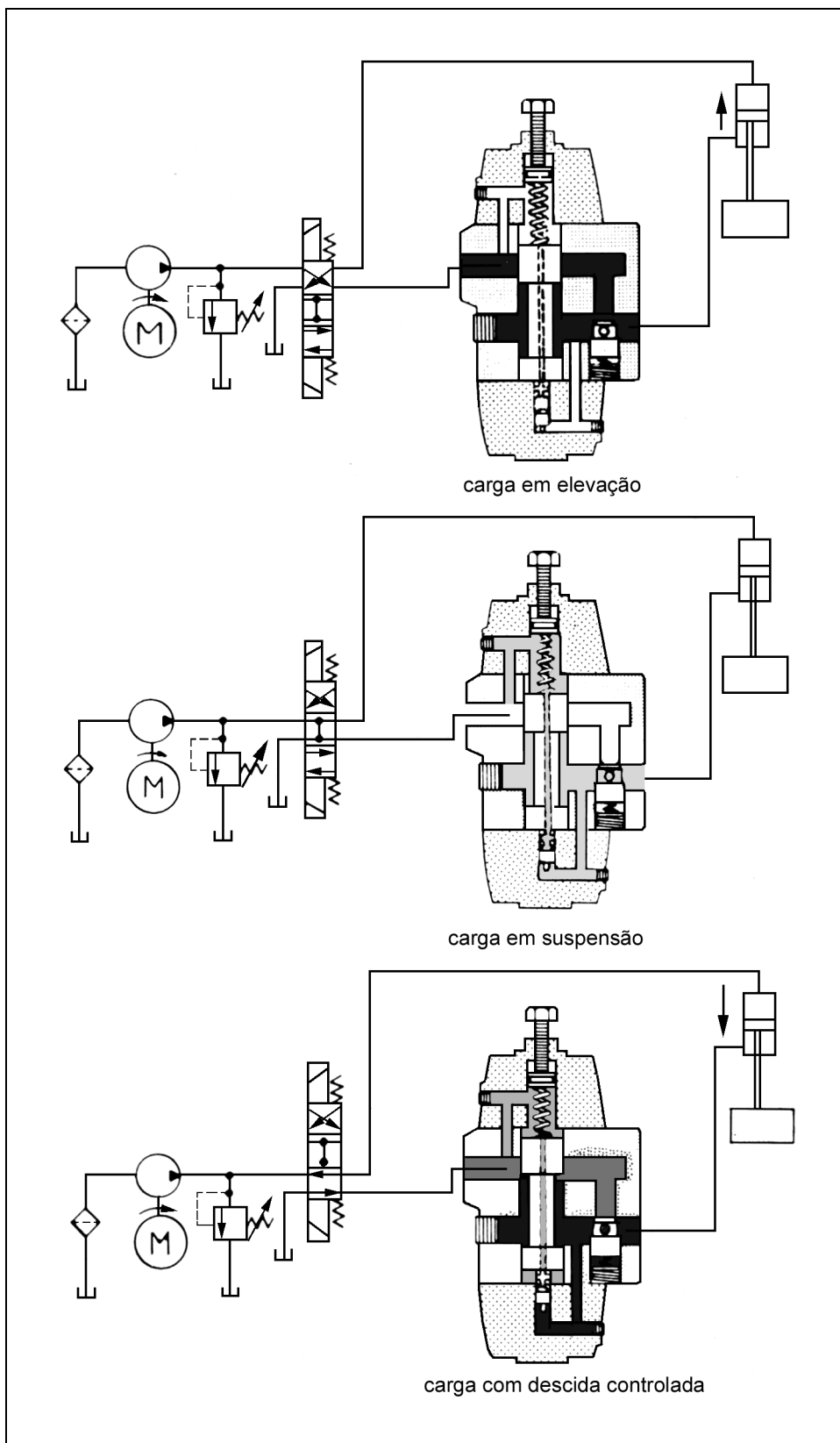
A válvula pode ser drenada internamente.

Quando se abaixa o pistão para prensar, a válvula está aberta e o pórtico secundário está ligado ao tanque.

Quando o pistão está sendo levantado, a válvula de retenção integrada se abre permitindo fluxo livre para o retorno do pistão.



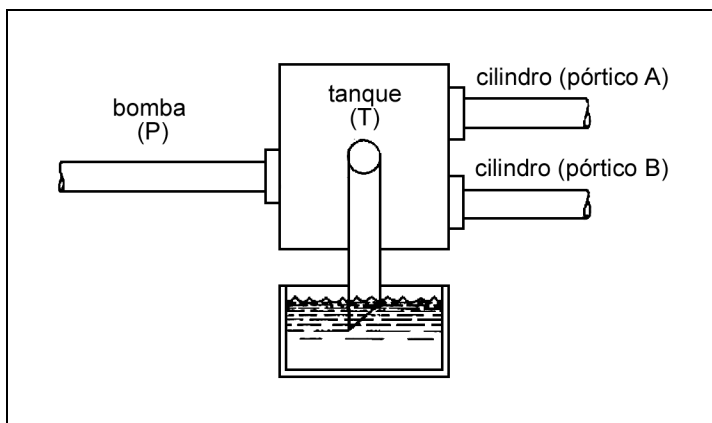
Nos casos onde é desejável remover a contrapressão do cilindro e aumentar a força no final do curso, esta válvula pode ser operada remotamente.



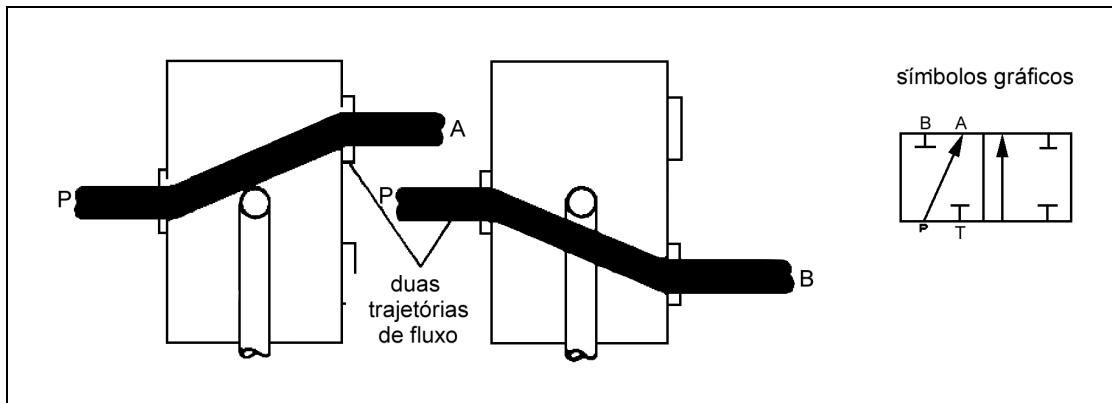
Válvulas direcionais

Válvulas de duas e de quatro vias

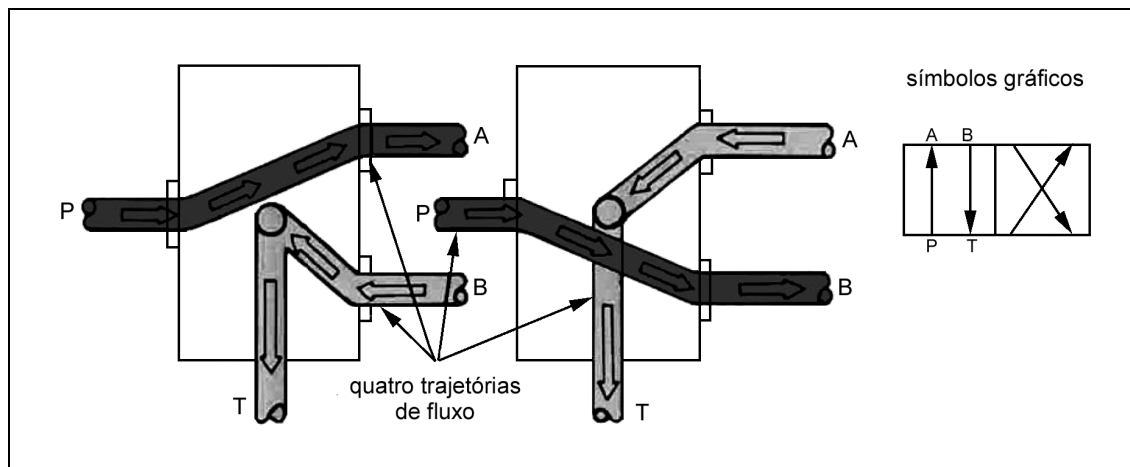
A função dessas válvulas é direcionar um fluxo de entrada para qualquer um dos pórticos de saída. O fluxo do pórtico P pode ser dirigido a qualquer dos pórticos A ou B. na válvula de quatro vias, o pórtico alterado está aberto ao tanque, permitindo ao fluxo retornar ao reservatório.



A figura abaixo mostra as trajetórias seguidas pelo fluxo nas válvulas de duas vias.



A figura abaixo indica as trajetórias seguidas pelo fluxo nas válvulas de quatro vias.



Nas válvulas de duas vias, o pórtico alternado está bloqueado e o pórtico do tanque serve somente para drenar o vazamento interno da válvula.

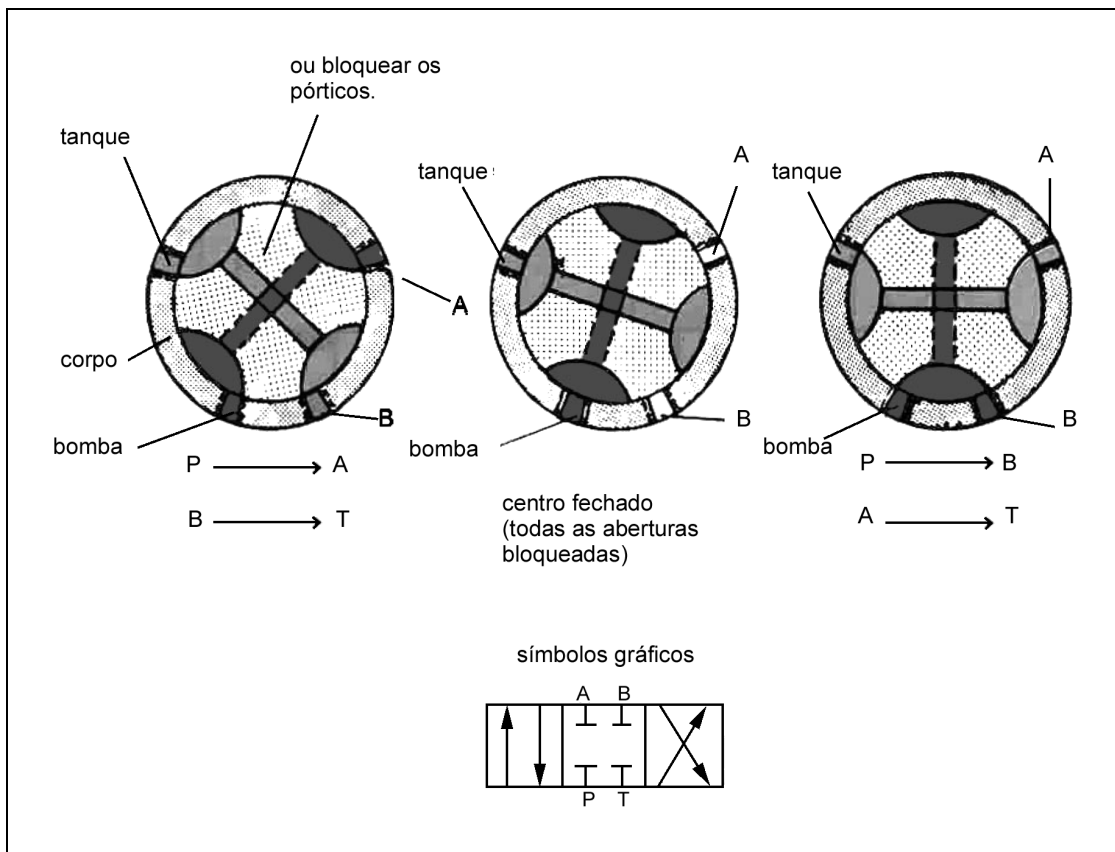
A maioria dessas válvulas é do tipo carretel deslizante, apesar de existirem válvulas rotativas, usadas principalmente para controle do piloto. São construídas para duas ou três posições, sendo que as de três posições têm posição central (neutra).

Válvulas rotativa de quatro vias

Essa válvula consiste simplesmente de um rotor que trabalha com uma mínima folga no corpo. As passagens no rotor ligam ou bloqueiam os pórticos do corpo da válvula fornecendo as quatro vias de fluxo. Se necessário, uma terceira posição pode ser incorporada.

As válvulas rotativas são atuadas manual ou mecanicamente. São capazes de inverter as direções de movimento de cilindros e de motores; entretanto, são usadas mais como válvulas-piloto para controlar outra válvulas.

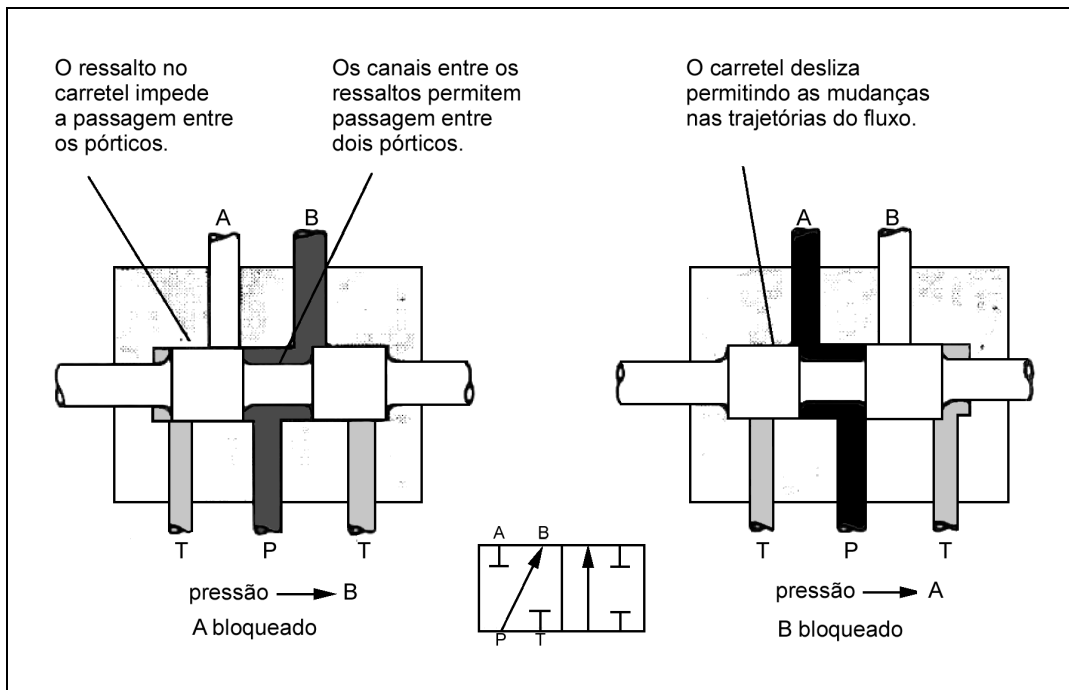
Exemplo: fornecer movimento recíprocos dos cabeçotes de retífica.



Válvulas de duas vias tipo carretel

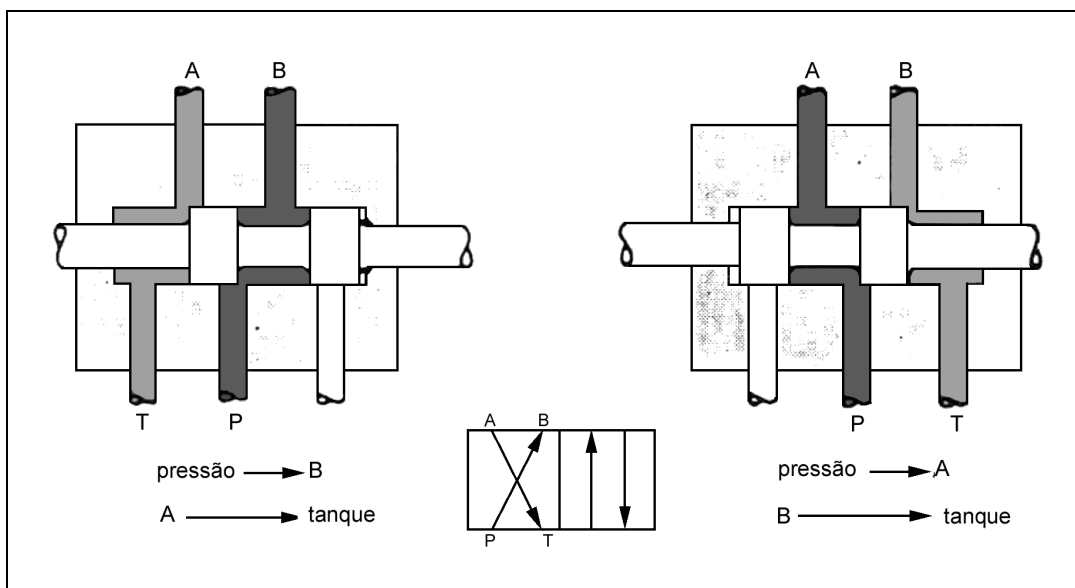
Na válvula direcional tipo carretel, um carretel cilíndrico desliza num furo no corpo da válvula. Os pórticos, através de passagens fundidas ou usinadas no corpo da válvula, são interligados através de canais (rebaixos) no carretel ou bloqueados pela parte “cheia” cilíndrica do mesmo.

A válvula de duas vias permite a seleção de duas vias de fluxo. Numa posição, o fluxo é livre do pósito P para A; na outra posição, de P para B. Os outros pósitos e passagens estão bloqueados.

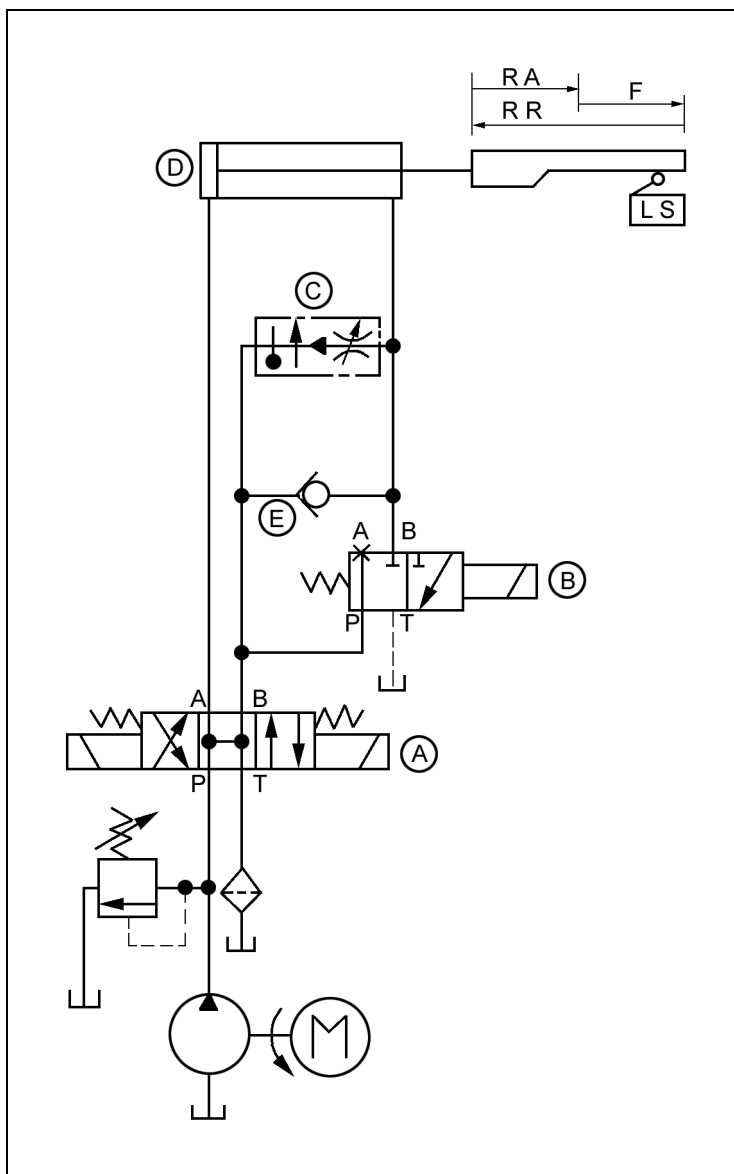


Válvula de quatro vias tipo carretel

Essa válvula é idêntica àquela de duas vias, exceto pelo desenho do carretel, que é dimensionado com áreas de bloqueio menores para permitir o retorno de fluxo ao tanque T.



A seguir, há um exemplo de aplicação de válvula direcional em um circuito de avanço rápido, lento e retorno rápido.



A válvula direcional A é posicionada de modo a dirigir o fluxo da bomba ao lado da cabeça do cilindro D. A bobina da válvula B é ativada para permitir que o óleo, proveniente do lado da haste de D, se dirija ao tanque da válvula A.

No final do avanço rápido, um came de D desativa o solenóide de B bloqueando a passagem do óleo pela válvula B; o óleo é, então, controlado pela válvula C, que fornece o ajuste preciso de avanço lento. Para retornar o cilindro D, a válvula A é invertida de modo a permitir que o óleo passe pela válvula de retenção E até o lado da haste do cilindro, propiciando um retorno rápido.

Montar circuito pneumático com um cilindro de ação simples

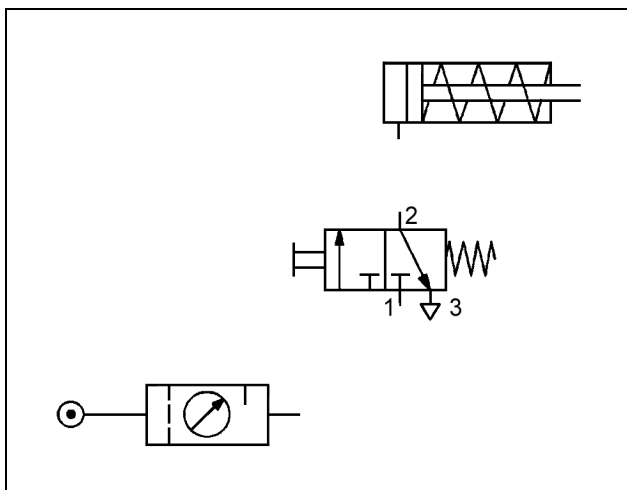
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático com um cilindro de ação simples através de um comando direto.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

A haste de um cilindro de ação simples deve avançar ao se acionar um botão. Ao soltar o botão, a haste do cilindro deverá voltar a sua posição inicial.



Montar circuito pneumático com um cilindro de ação dupla

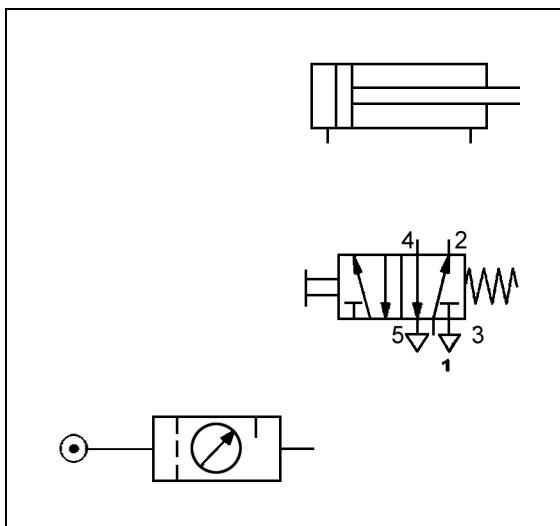
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático com um cilindro de ação dupla através de um comando direto.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

A haste de um cilindro de ação dupla deve avançar ao se acionar um botão. Ao soltar o botão, a haste deverá retornar a sua posição inicial.



Montar circuito pneumático com válvula alternadora (elemento “ou”)

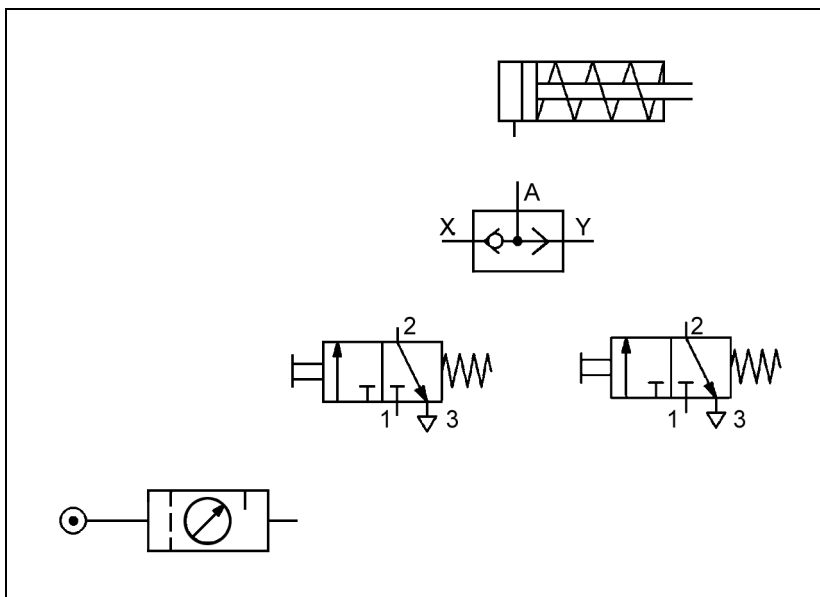
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático utilizando uma válvula alternadora (elemento “ou”).

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Um cilindro de ação simples deve poder realizar seu movimento de avanço de dois pontos diferentes.



Montar circuito pneumático com regulagem de velocidade em cilindro de ação simples

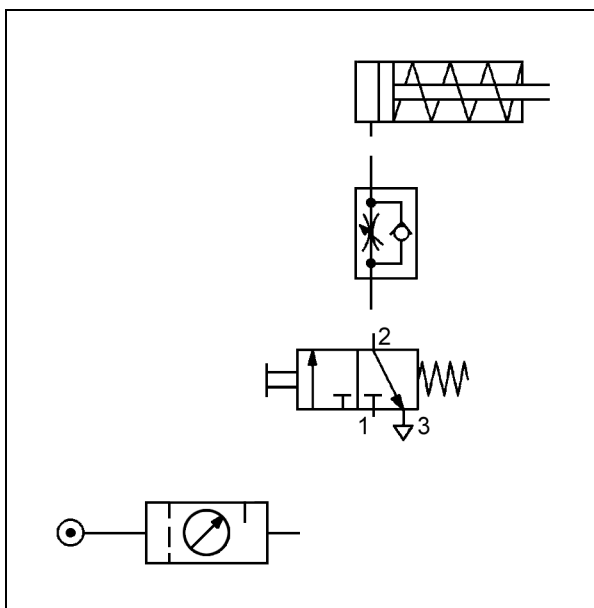
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático com regulagem de velocidade em cilindro de ação simples através de um comando direto.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

A haste de um cilindro de ação simples deve avançar, controlando sua velocidade ao se acionar um botão. Ao soltar o botão, a haste do cilindro deverá voltar a sua posição inicial.



Montar circuito pneumático com regulagem de velocidade em cilindro de ação dupla

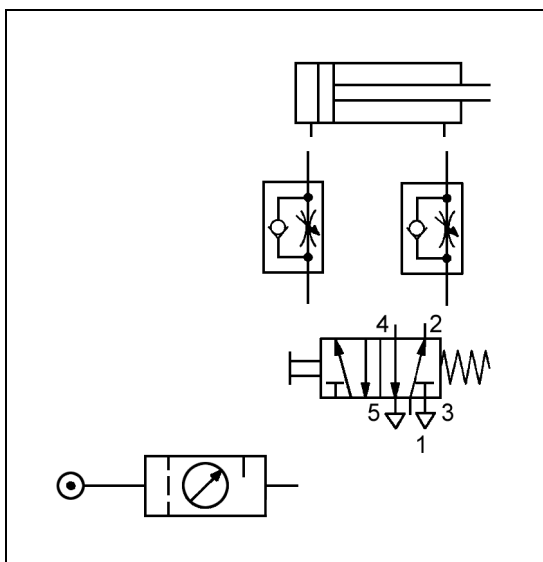
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático com regulagem das velocidades de avanço e retorno em cilindro de ação dupla através de um comando indireto.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

A haste de um cilindro de ação dupla, ao se acionar um botão, deve avançar e retornar com velocidades controladas.



Montar circuito pneumático utilizando válvula de escape rápido

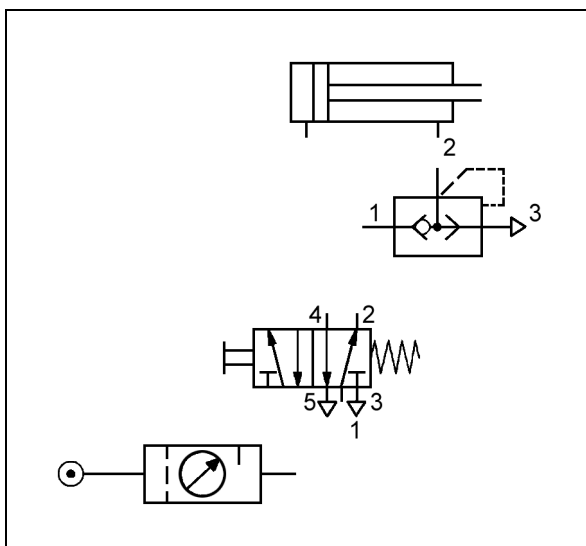
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático utilizando uma válvula de escape rápido.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

A haste de um cilindro de ação dupla, ao se acionar um botão, deve-se aumentar a velocidade de avanço. Ao soltar o botão, a haste do cilindro deverá voltar a sua posição inicial com velocidade normal.



Montar circuito pneumático utilizando válvula de simultaneidade (elemento “e”)

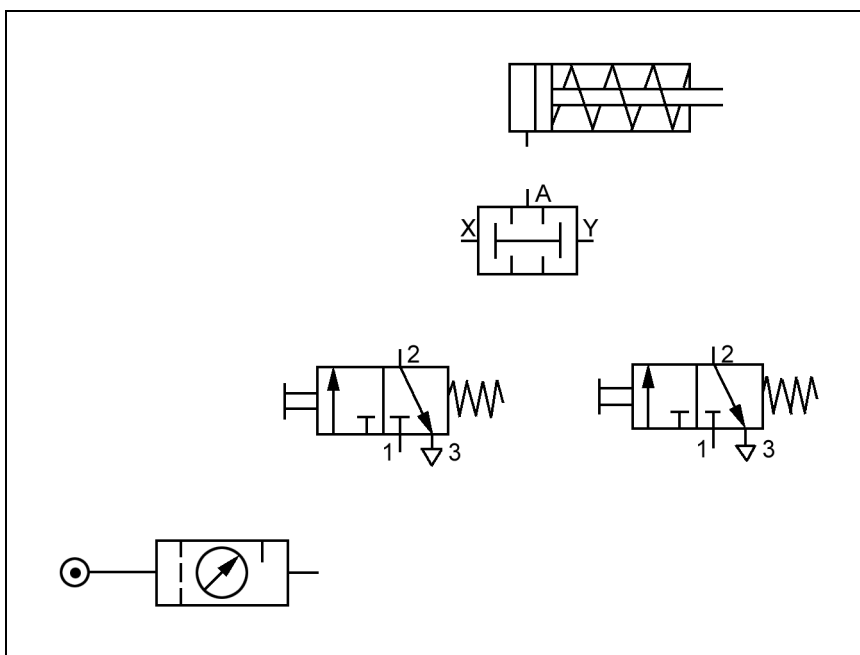
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático utilizando uma válvula de simultaneidade (elemento “e”).

Procedimentos

1. Completar o circuito abaixo;
2. Montar o circuito na bancada;
3. Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

A haste de um cilindro de ação simples deve avançar somente quando se acionam as duas válvulas direcionais de 3/2 vias simultaneamente.



Montar circuito pneumático utilizando comando para acionar um cilindro de ação simples

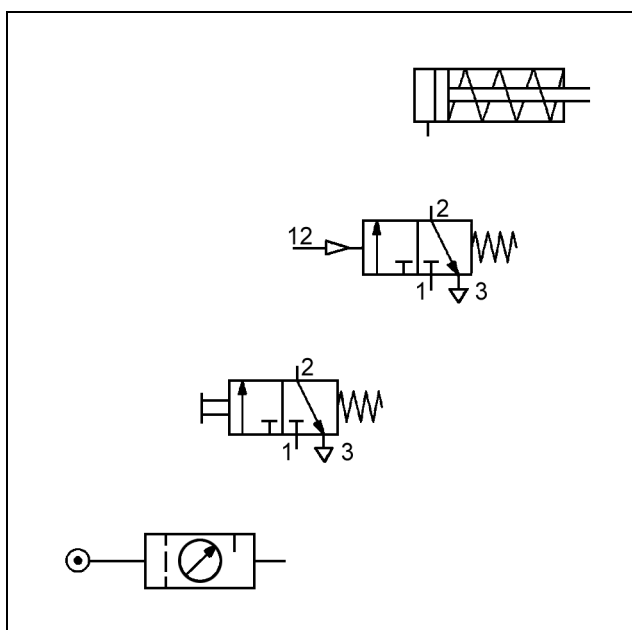
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático utilizando comando para acionar um cilindro de ação simples.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

A haste de um cilindro de ação simples de grande volume, comandado a longa distância, deve avançar após o acionamento de uma válvula e, depois, retornar à posição.



Montar circuito pneumático utilizando comando em função de pressão

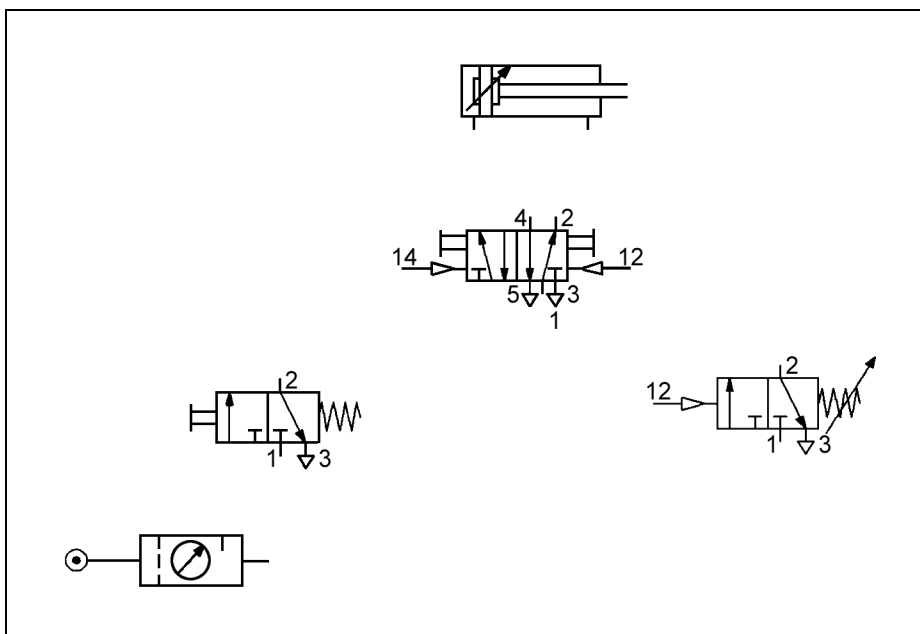
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático utilizando comando em função de pressão.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Após o avanço da haste do cilindro de ação dupla, tão logo na câmara traseira se tenha acumulado uma determinada pressão, pré-ajustada, o cilindro deverá retornar a sua posição inicial.



Montar circuito pneumático utilizando comando em função de pressão com fim de curso

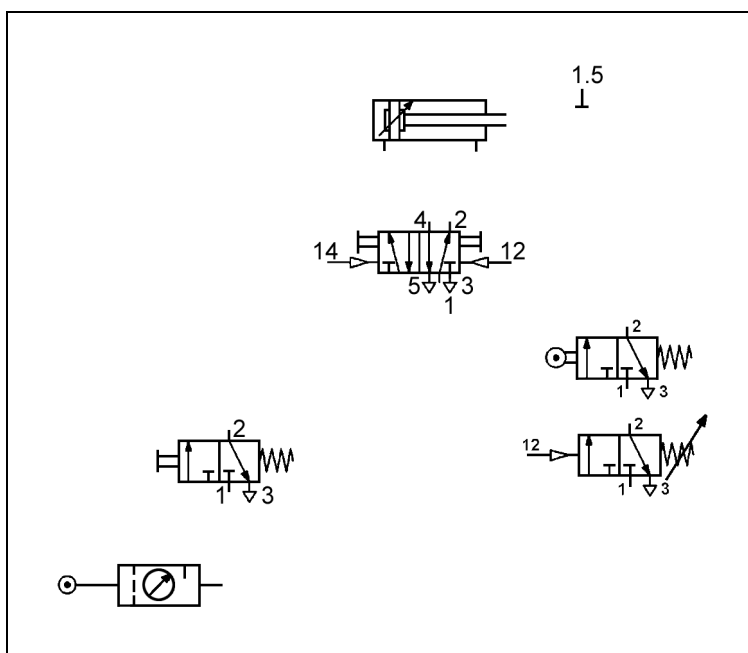
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático utilizando comando em função de pressão com fim de curso.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

A haste de um cilindro de ação dupla deve avançar após o acionamento do botão de partida. O retorno deverá ocorrer quando a haste estiver totalmente avançada e for atingida a pressão preestabelecida na câmara traseira do cilindro.



Montar circuito pneumático utilizando comando em função de tempo

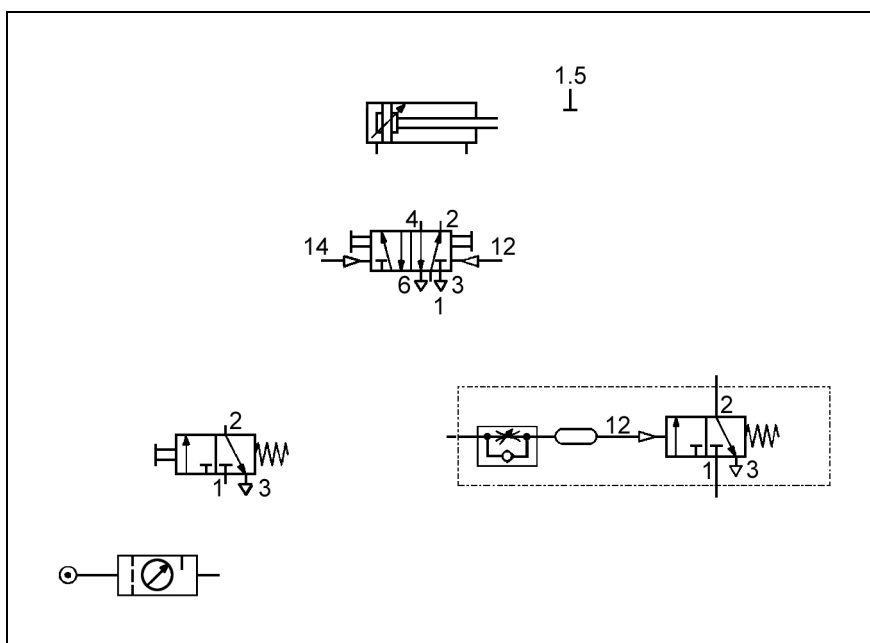
Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático utilizando comando em função de tempo.

Procedimentos

- Completar o circuito abaixo;
- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Após o acionamento do botão de partida, a haste do cilindro deve avançar, voltando a sua posição inicial após um tempo preestabelecido.



Montar circuito hidráulico básico (linear)

Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito hidráulico básico (linear).

Procedimentos

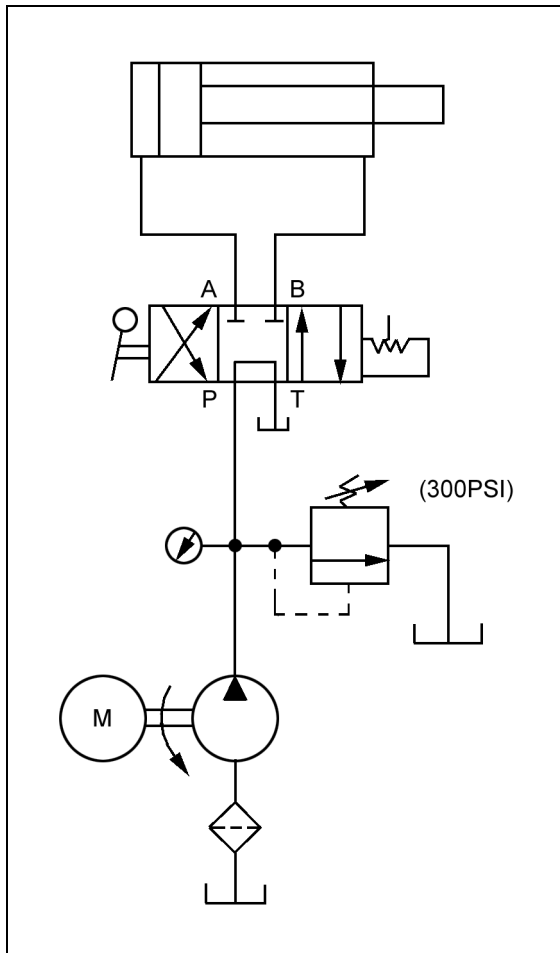
- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Com a válvula direcional centrada, o óleo da bomba flui para o reservatório através do centro tandem da válvula e o cilindro permanece parado, pois os pórticos de trabalho A e B da válvula estão bloqueados.

Acionando-se a válvula direcional para a posição paralela, o óleo flui de P para A, fazendo com que a haste do cilindro avance, o óleo da câmara de retorno do cilindro volta ao reservatório de B para T.

Acionando-se a válvula direcional para a posição cruzada, o óleo flui de P para B, fazendo com que a haste do cilindro retorne. O óleo da câmara de avanço do cilindro volta ao reservatório de A para T.



Montar circuito hidráulico básico (rotativo)

Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito hidráulico básico (rotativo).

Procedimentos

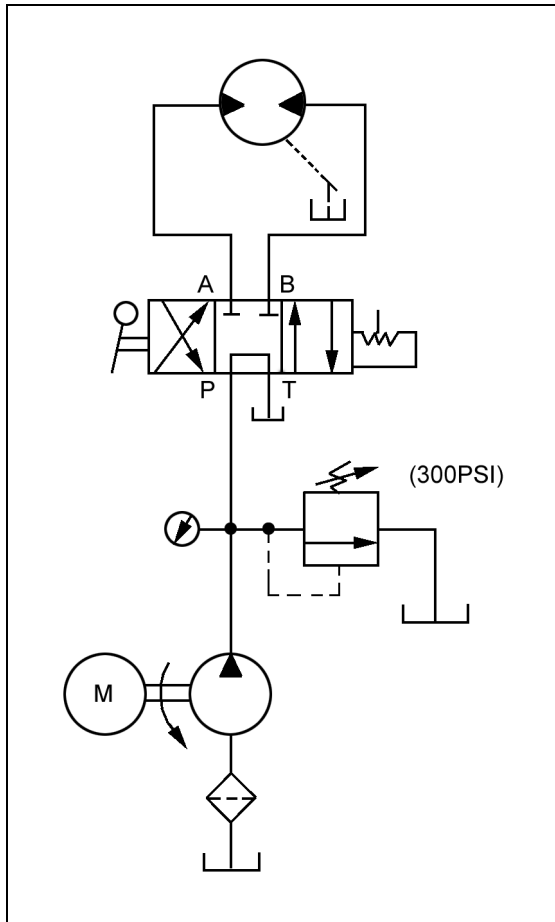
- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Com a válvula direcional centrada, o óleo da bomba flui para o reservatório através do centro tandem da válvula e o eixo do motor hidráulico permanece parado, pois os pórticos de trabalho A e B da válvula estão bloqueados.

Acionando-se a válvula direcional para a posição paralela, o óleo flui de P para A, fazendo com que o eixo do motor hidráulico gire no sentido horário. O óleo que aciona o motor hidráulico sai pelo outro pórtico de trabalho do mesmo, fluindo de volta ao reservatório de B para T.

Acionando-se a válvula direcional para posição cruzada, o óleo flui de P para B, fazendo com que o eixo do motor hidráulico passe a girar no sentido anti-horário por ser um motor reversível. O óleo que aciona o motor hidráulico sai pelo outro pórtico de trabalho do mesmo, fluindo de volta ao reservatório de A para T.



Montar circuito hidráulico regenerativo

Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito hidráulico regenerativo.

Procedimentos

- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Com a válvula direcional centrada, o óleo da bomba teria dois caminhos para fluir: para a câmara de retorno do cilindro ou para o reservatório.

Como o cilindro não pode retornar porque o pórtico de trabalho A da válvula está bloqueando a saída do óleo da câmara de avanço, o óleo flui, então, ao reservatório através do centro tandem da direcional e o cilindro permanece parado.

Acionando-se a válvula direcional para a posição paralela, o óleo novamente teria dois caminhos para fluir: para a câmara de avanço ou para a câmara de retorno do cilindro. Como a área de avanço do cilindro é o dobro da de retorno, a haste do cilindro avança fazendo com que o óleo que sai da câmara de retorno se junte à vazão da bomba para proporcionar uma velocidade de avanço dobrada em relação a um cilindro convencional.

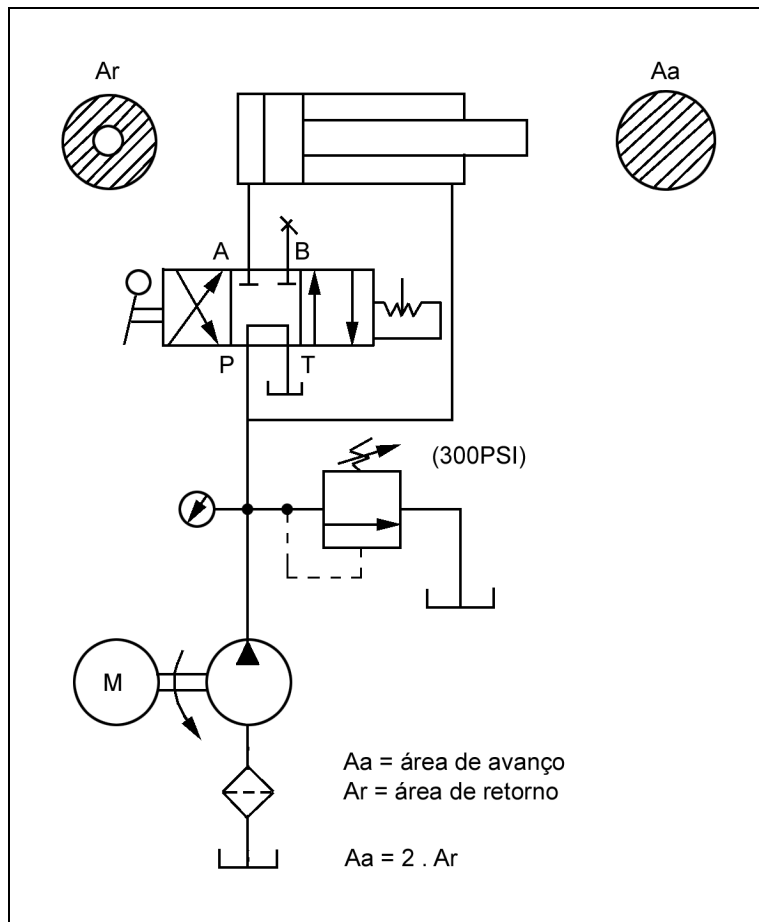
Porém, a força de avanço do cilindro no circuito regenerativo é a metade da normal uma vez que a pressão, agindo na área de retorno, gera uma força contrária ao avanço.

Acionando-se a válvula direcional para a posição cruzada, o óleo flui para a câmara de retorno, uma vez que o pórtico B bloqueia a passagem do óleo através da direcional.

Com isso, a haste do cilindro retorna com força e velocidade normais, já que o óleo da câmara de avanço flui livremente ao reservatório de A para T.

Observação

O circuito regenerativo difere no convencional exatamente por fornecer forças e velocidades iguais nos dois sentidos de movimento, desde que se use um cilindro com diferencial de área de 2 para 1, isto é, a área de avanço deve ser o dobro da de retorno.



Montar circuito hidráulico com controle de velocidade

Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito hidráulico com controle de velocidade.

Procedimentos

- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Com a válvula direcional centrada, o óleo da bomba flui para o reservatório através do centro tandem da direcional e o cilindro permanece parado, pois os pórticos de trabalho A e B da válvula estão bloqueados.

Acionando-se a válvula direcional para a posição paralela, o óleo flui de P para A, fazendo com que a haste do cilindro avance.

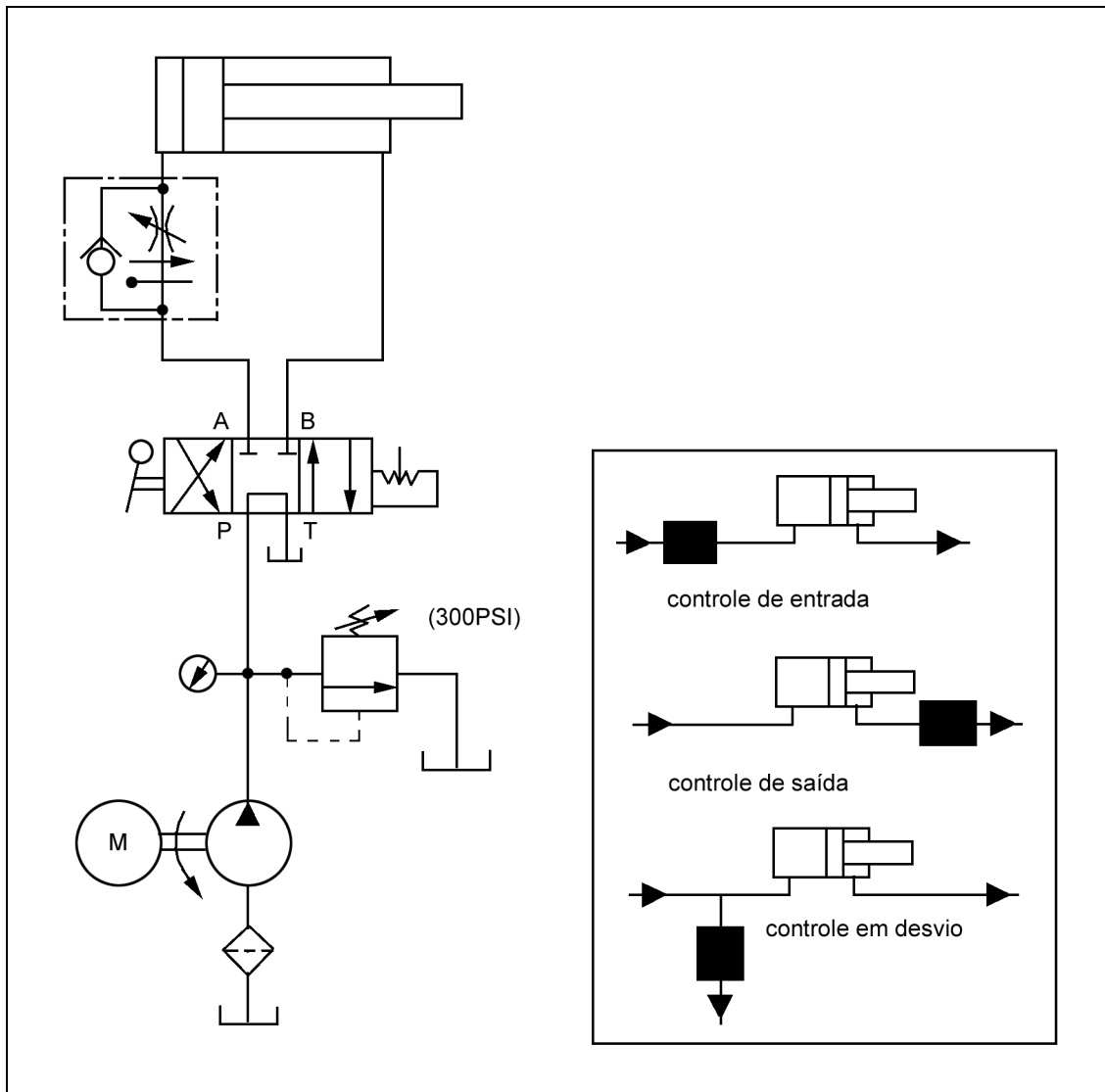
A válvula reguladora de fluxo controla a quantidade de óleo que vai entrar na câmara de avanço do cilindro, controlando assim sua velocidade.

O óleo da câmara de retorna flui livremente ao reservatório de B para T.

Acionando-se a válvula direcional para a posição cruzada, o óleo que flui de P para B, fazendo com que a haste do cilindro retorne.

O óleo que as da câmara de avanço passa livremente pela retenção da válvula reguladora de fluxo e flui para o reservatório de A para T.

A velocidade de retorno do cilindro não é controlada.



Montar circuito hidráulico com aproximação rápida, avanço controlado e retorno rápido

Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito hidráulico com aproximação rápida, avanço controlado e retorno rápido.

Procedimentos

- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Com a válvula direcional centrada, o óleo da bomba flui ao reservatório através do centro tandem da válvula direcional e o cilindro permanece parado, pois os pórticos de trabalho A e B estão bloqueados.

Acionando-se a válvula direcional para a posição paralela, o óleo flui de P para A fazendo com que a haste do cilindro avance com velocidade normal, pois o óleo que sai da câmara de retorno passa livremente pela válvula desaceleradora e flui para o reservatório de B para T.

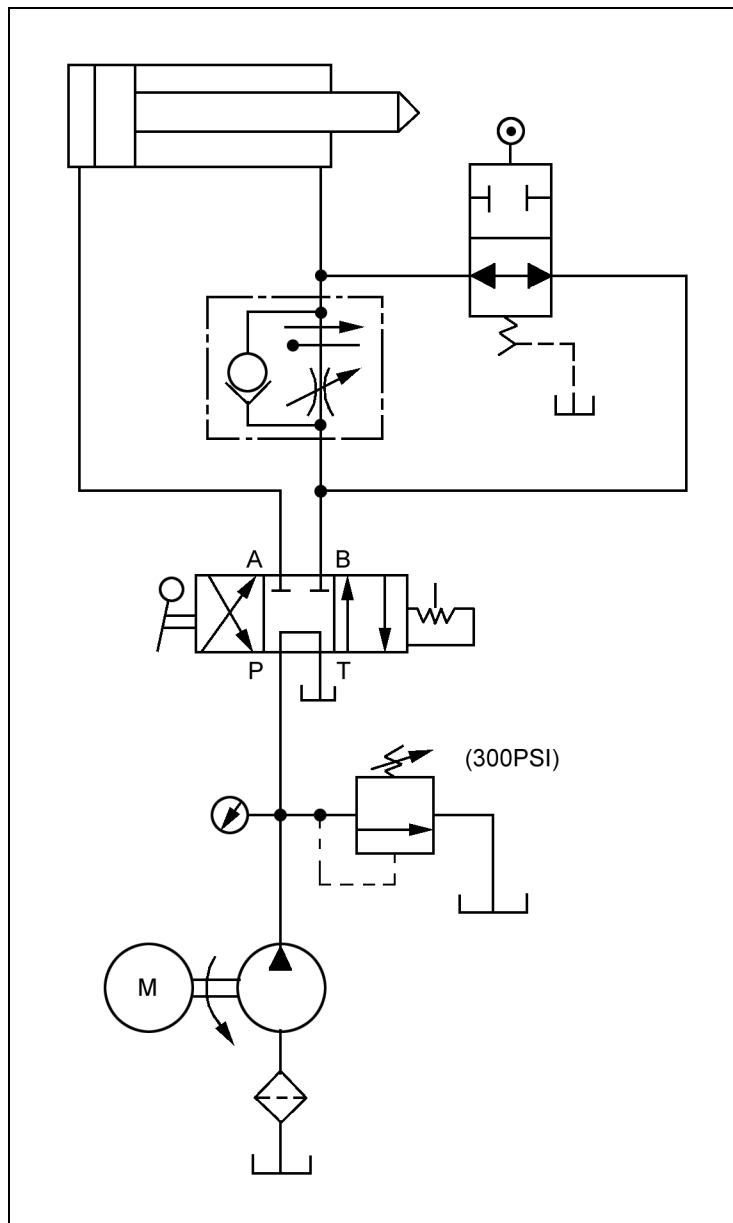
Antes do cilindro alcançar o sinal do curso de avanço, ele aciona o rolete da válvula desaceleradora que bloqueia a passagem do óleo.

Este bloqueio vai fazer com que o óleo que sai da câmara de retorno do cilindro passe controlado na válvula reguladora de fluxo, a qual vai ajustar a velocidade de avanço da haste do cilindro, controlando o óleo que sai para o reservatório.

Da válvula desaceleradora até o final do curso de avanço o cilindro terá sua velocidade regulada por meio de um controle de saída.

Acionando-se a válvula direcional para a posição cruzada, o óleo flui de P para B, fazendo com que a haste do cilindro retorne com velocidade normal durante todo curso pois, mesmo que a válvula desaceleradora esteja acionada, o óleo entra livremente na câmara de retorno do cilindro através da retenção integrada da válvula reguladora de fluxo.

O óleo que sai da câmara de avanço flui livremente para o reservatório de A para T.



Montar circuito hidráulico: circuito em seqüência

Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito hidráulico: circuito em seqüência.

Procedimentos

- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Com a válvula direcional centrada, o óleo da bomba flui ao reservatório através do centro tandem da direcional.

Os dois cilindros permanecem parados pois os pórticos de trabalho A e B estão bloqueados.

Acionando-se a válvula direcional para a posição paralela, o óleo flui de P para A e, a partir daí, passa ter dois caminhos para percorrer: ou ele avança a haste do cilindro A ou tenta abrir a válvula de seqüência para avançar a haste do cilindro B.

Desde que a válvula de seqüência esteja regulada com pressão maior que a necessária para avançar o cilindro A e menor que a pressão da válvula de segurança, o cilindro A avança.

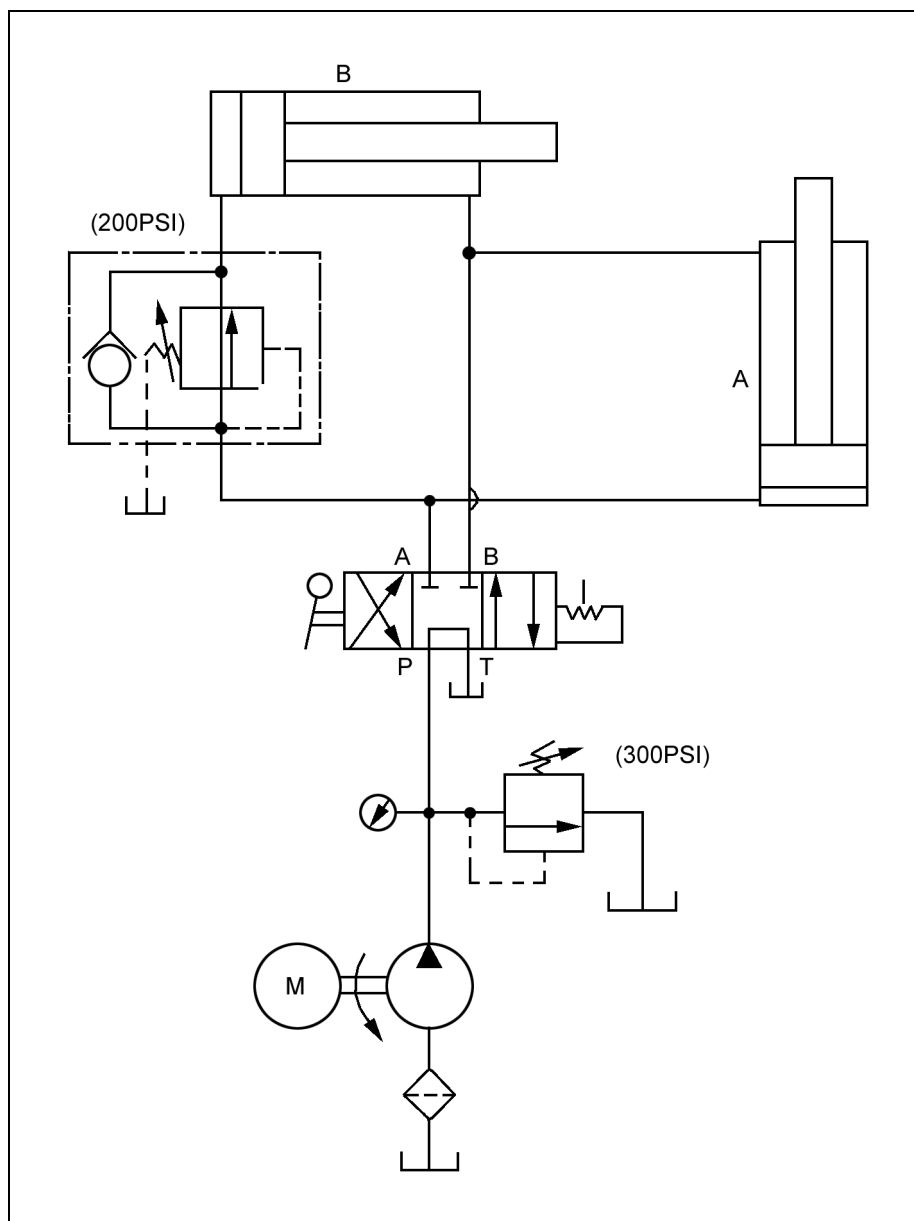
Quando o cilindro A alcança o final do curso, o óleo abre a válvula de seqüência e somente então o cilindro B passa a avançar.

O óleo que sai das câmaras de retorno dos dois cilindros flui ao reservatório de B para T.

Acionando-se a válvula direcional para a posição cruzada, o óleo flui de P para B, fazendo com que, teoricamente, os cilindros retornem juntos.

O óleo que sai da câmara de avanço do cilindro B passa livremente pela retenção integrada na válvula de seqüência, une-se ao óleo que sai da câmara de avanço do cilindro A e flui ao reservatório de A para T.

Seqüência de movimento: A + B + (AB) -.



Montar circuito hidráulico: circuito com contrabalanço

Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito pneumático com um cilindro de ação simples através de um comando direto.

Procedimentos

- Montar o circuito na bancada, e;
- Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Com a válvula direcional centrada, o óleo da bomba flui ao reservatório através do centro tandem da direcional e o cilindro permanece parado, pois os pórticos A e B estão bloqueados.

Acionando-se a válvula direcional para a posição paralela, o óleo flui de P para A, fazendo com que a haste do cilindro desça com a carga.

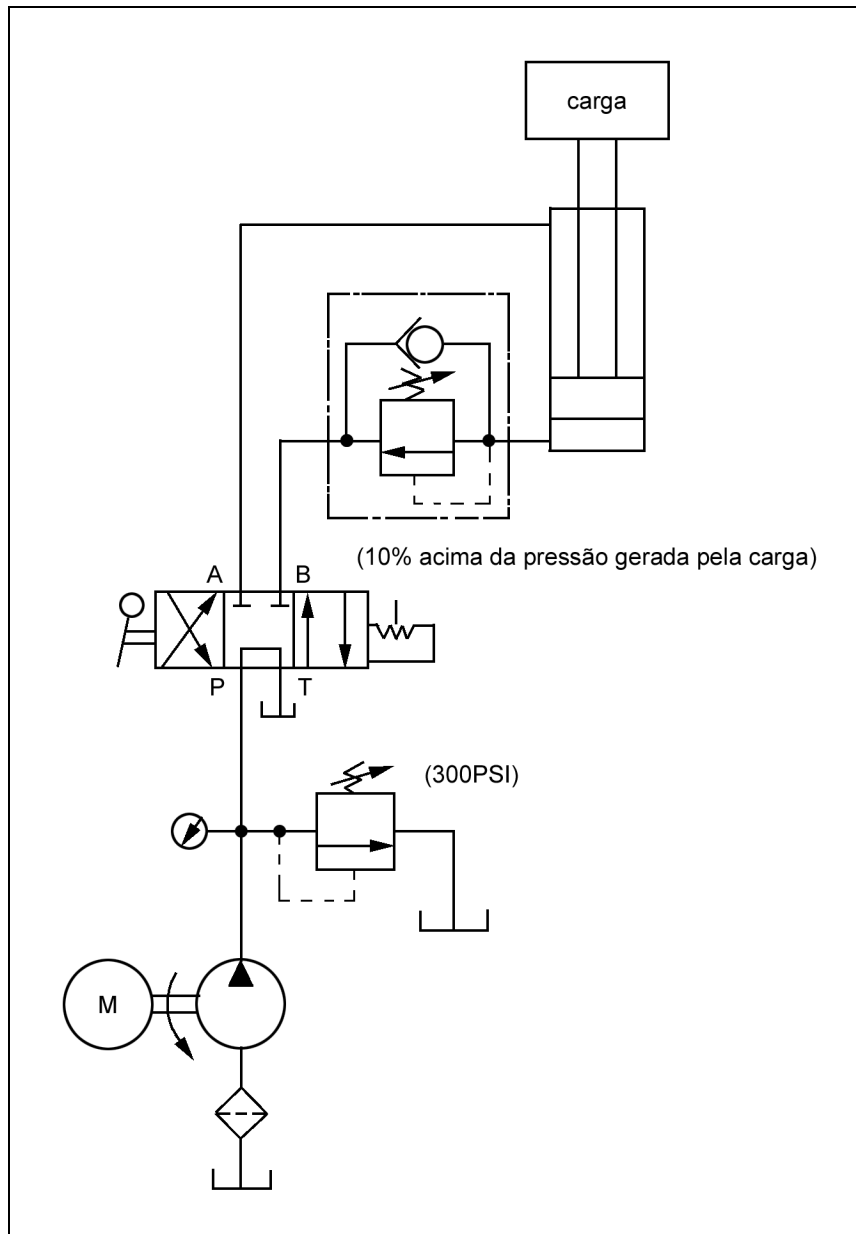
O óleo que sai da câmara de avanço do cilindro tem que abrir a válvula de contrabalanço para poder fluir ao reservatório de B para T, uma vez que a retenção integrada na válvula de contrabalanço impede a passagem do óleo.

Com isso, a válvula de contrabalanço impede a queda livre do cilindro evitando a queda livre da carga.

Acionando-se a válvula direcional para a posição cruzada, o óleo flui de P para B, fazendo com que a haste do cilindro suba com a carga, passando livre na retenção integrada na válvula de contrabalanço.

O óleo que sai da câmara de retorno do cilindro flui de volta ao reservatório de A para T.

A válvula de contrabalanço deve ser sempre ajustada com uma pressão ligeiramente superior à pressão criada pela carga (10%) e inferior à pressão calibrada na válvula de segurança para poder evitar a descida livre de um cilindro vertical que esteja sustentando uma carga.



Montar circuito hidráulico: circuito em seqüência com pressão reduzida para a primeira operação

Esse ensaio tem como objetivo a montagem de um circuito hidráulico: circuito em seqüência com pressão reduzida para a primeira operação.

Procedimentos

- Montar o circuito na bancada, e;
Testar o funcionamento do circuito.

Funcionamento

Com a válvula direcional centrada, o óleo da bomba flui ao reservatório através do centro tandem da direcional.

Os dois cilindros permanecem parados pois os pórticos de trabalho A e B estão bloqueados.

Acionando-se a válvula direcional para a posição paralela, o óleo flui de P para A e, a partir daí, passa a ter dois caminhos para percorrer: ou ele tem sua pressão reduzida para poder avançar o cilindro A ou tenta abrir a válvula de seqüência para poder avançar o cilindro B.

A válvula redutora de pressão calibra a pressão reduzida desejada para o avanço do cilindro A.

Desde que a válvula de seqüência esteja calibrada com uma pressão intermediária, isto é, maior que a pressão ajustada na válvula redutora e menor que a pressão principal ajustada na válvula de segurança, o cilindro A avança.

Quando o cilindro A alcança o final do curso, o óleo abre a válvula de seqüência e, somente então, o cilindro B passa a avançar.

O óleo que sai das câmaras de retorno dos dois cilindros flui ao reservatório de B para T.

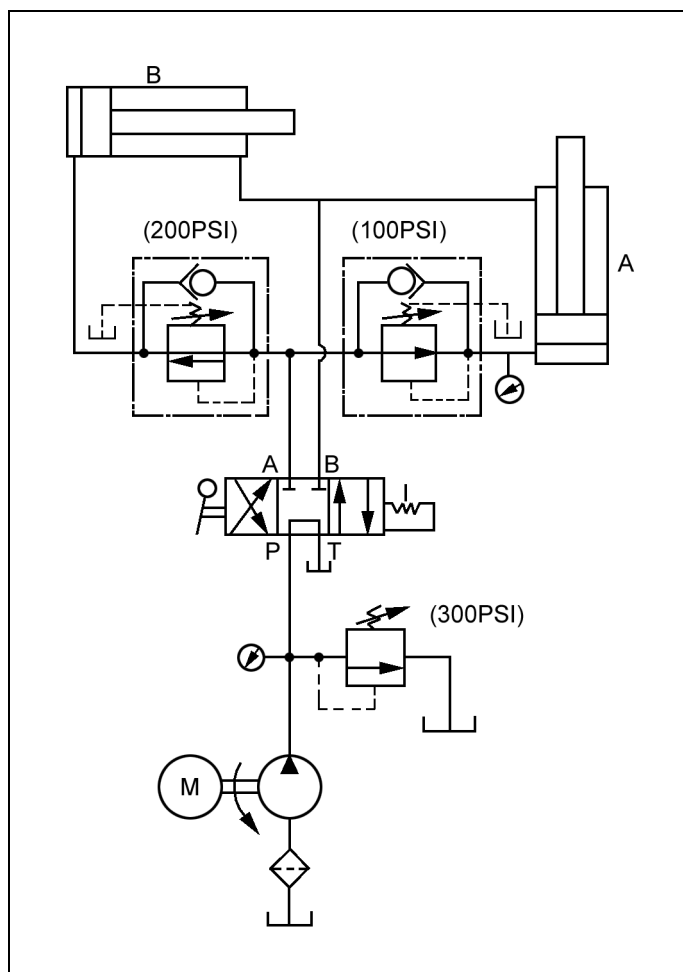
Acionando-se a válvula direcional para a posição cruzada, o óleo flui de P para B, fazendo com que, teoricamente, os cilindros retornem juntos.

O óleo que sai da câmara de avanço do cilindro A passa livremente pela retenção integrada na válvula redutora de pressão e une-se ao óleo que sai da câmara de avanço do cilindro B que, por sua vez, também passa livremente pela retenção integrada na válvula de seqüência.

Os dois fluem ao reservatório de A para T.

No avanço, o cilindro funciona com duas pressões diferentes: uma reduzida no cilindro A e uma normal no cilindro B.

No retorno, o circuito funciona com uma única pressão normal para os dois cilindros.



Referências bibliográficas

SENAI-SP. **Comandos hidráulicos: informações tecnológicas.** (Mantenedor reparador de circuitos hidráulicos). Por Sérgio Nobre Franco. São Paulo, 1987.

SENAI-SP. **Movimentos e esquemas de comandos pneumáticos.** Por Keiji Terahata e Sérgio Nobre Franco. São Paulo, 1985.

SENAI-SP. **Compressores - instalação, funcionamento e manutenção.** Por Ilo da Silva Moreira. São Paulo, 1991. (Série Tecnologia Industrial 2).

FESTO DIDATIC. **Introdução à Pneumática (P11),** 1977.

