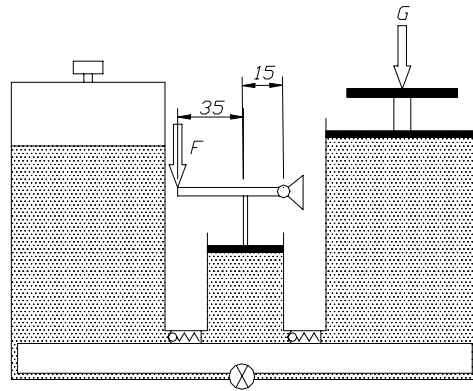


CONCEITOS BÁSICOS

SISTEMAS HIDRÁULICOS INDUSTRIAIS



1 Introdução

Existem apenas três métodos conhecidos de transmissão de potência na esfera comercial: (1) a mecânica, (2) a elétrica e (3) a fluídica.

Naturalmente, a transmissão mecânica é a mais velha delas, por conseguinte, a mais conhecida. Começou com a invenção da roda e utilizam hoje de muitos outros artificios mais apurados como engrenagens, cames, correias, molas, polias e outros.

A elétrica, que usa geradores, motores elétricos, condutores e uma gama muito grande de outros componentes, é um desenvolvimento dos tempos modernos. É o melhor meio de se transmitir energia a grandes distâncias.

A força fluida tem sua origem a milhares de anos antes de Cristo. O marco inicial, de que se tem conhecimento, foi o uso da potência fluida em uma roda d'água, que emprega a energia potencial da água armazenada a uma certa altura, para a geração de energia. Os romanos por sua vez, tinham um sistema de armazenamento de água e transmissão, através de canais ou dutos para as casas de banho ou fontes ornamentais.

O uso do fluido sob pressão, como meio de transmissão de potência, já é mais recente, sendo que o seu desenvolvimento ocorreu, mais precisamente, após a primeira grande guerra.

A grande vantagem da utilização da energia hidráulica consiste na facilidade de controle da velocidade e inversão, praticamente instantânea, do movimento. Além disso, os sistemas são auto lubrificados e compactos se comparados com as demais formas de transmissão de energia.

As desvantagens dos sistemas é que se comparados com a eletricidade, por exemplo, os sistemas têm um rendimento baixo, de modo geral em torno de 65%, principalmente devido a perdas de cargas e vazamentos internos nos componentes. A construção dos elementos necessita de tecnologia de precisão encarecendo os custos de produção.

2 FUNDAMENTAÇÃO DA HIDRÁULICA

A hidráulica é uma das partes mais antigas da física. Os primeiros trabalhos envolvendo esse ramo da física datam do tempo dos egípcios. O fluido utilizado, naturalmente, era a água. Para podermos entender os princípios fundamentais da hidráulica é necessário primeiro ver algumas definições básicas.

2.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

FLUIDO - Fluido é qualquer substância capaz de deformar-se continuamente e assumir a forma do recipiente que a contém. O fluido pode ser líquido ou gasoso. No caso de sistemas hidráulicos o fluido é líquido, já os sistemas pneumáticos utilizam fluido gasoso. A principal função do óleo hidráulico é a transmissão de força.

HIDRÁULICA – é uma ciência baseada nas características físicas dos líquidos em repouso e em movimento. Potência hidráulica é aquela fase da hidráulica que se refere ao uso dos líquidos para transferir potência de um local para outro. Portanto, é essencial para o estudo dos princípios de potência hidráulica, compreender o conceito de potência e fatores relacionados.

HIDROSTÁTICA – parte a hidráulica que estuda os fluidos em estado de repouso.

HIDRODINÂMICA – parte a hidráulica que estuda os fluidos em movimento.

FORÇA - é definida como qualquer causa que tende a produzir ou modificar movimentos.

Segundo Newton: $F=m.a$ (força é igual a massa vezes a aceleração). As unidades de medida de força e pressão são idênticas, apenas que no caso da força essa unidade não é relacionada a nenhuma unidade de área.

Devido à inércia, um corpo em repouso tende a permanecer em repouso, e um corpo em movimento tende a permanecer em movimento, até ser atuado por uma força externa. A resistência à mudança de velocidade

depende do peso do objeto e da fricção entre as superfícies de contato. Se quisermos movimentar um objeto, como a cabeça de uma máquina-ferramenta (torno), devemos aplicar-lhe uma força. A quantidade de força necessária dependerá da inércia do objeto. A força pode ser expressa em qualquer das unidades de medida de peso, mas comumente é expressa em quilos ou libras

Tabela de conversão das unidades de força:

N	dina	kgf	gf	mgf
1	105	0,10197	101,97	101,97.10³
10⁵	1	0,102.10⁻⁵	0,102.10⁻²	1,02
9,806 65	9,81.10⁵	1	103	106
9,81.10⁻³	9,81.10²	10/mar	1	103
9,81.10⁻⁶	9,81.10⁻¹	10/jun	10/mar	1
N = kg.m.s⁻²				

PRESSÃO – é uma quantidade de força aplicada numa unidade de área. $P=F/A$. Os sistemas hidráulicos e pneumáticos têm como medida de pressão o quilograma-força por centímetro quadrado (**kgf/cm²**), a libra-força por polegada quadrada (**PSI** = do inglês **Pounds per Square Inch**) e também **bar** (N/m² x 1000) do sistema francês ou ainda pascal (**Pa**) que é igual a força de 1 Newton por metro quadrado.

FATORES DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE PRESSÃO

TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES: PRESSÃO								
	atm	PSI(lbf/in ²)	Kgf/cm ²	Bar	mmHg(Torricelli)	mH2O	in. Hg	Pascal(Pa)
atm	1	14,6959	1,033	1,01325	760	10,33	29,92	101325
PSI(lbf/in ²)	0,0680	1	0,07031	0,06895	51,71	0,70307	2,04	6894,8
Kgf/cm ²	0,96778	14,2234	1	0,98	735,514	10	28,9572	98066,5
Bar	0,9869	14,5	1,02	1	750,061	10,195	29,53	10000
mmHg	0.00131579	0.01933677	0.00135951	0.001333 22	1	0,01360	0,03937	133,3224
mH2O	0,09678	1,42234	0,10	0,098087 2	73,5514	1	2,89572	9803,1176
in. Hg	0,03342	0,49119	0,03453	33900	25,4	0,34534	1	3386,5
Pascal(Pa)	0,000009869	0,0001450377	0,00001019716	0,00001	0,007500617	0,000102	0,0002952	1

TRABALHO – é a aplicação de uma força através de um deslocamento: $T = F \times d$, onde: T = trabalho - F = força - d = distância

Tabela de conversão das unidades de trabalho:

J	kWh	CVh	kgf-m	kcal
1	0,278.10⁻⁶	0,378.10⁻⁶	0,102	0,239.10⁻³
3,60.10⁶	1	1,36	0,367.10⁶	860
2,65.10⁶	0,736	1	0,270.10⁶	632
9,806 65	2,72.10⁻⁶	3,70.10⁻⁶	1	2,345.10⁻³
4186	1,16.10⁻³	1,58.10⁻³	426,9	1
1 J = 1 Nm = 1 Ws				

POTÊNCIA – é a velocidade com que o trabalho flui através de uma carga em um determinado período de tempo:

$$P = T/t \text{ onde } P = \text{potência} - T = \text{Trabalho} - t = \text{tempo}$$

Também pode ser expresso por:

$$P = F \times V, \text{ onde } P = \text{potência} - F = \text{força} - V = \text{velocidade de deslocamento}$$

Do ponto de vista prático poderíamos dizer que potência maior implica na capacidade de realizar um trabalho mais rapidamente. Ex: um carro que acelera mais rápido do que outro possui mais potência. Uma lâmpada que ilumina mais do que outra possui mais potência.

ENERGIA - é o tempo em que a potência é aplicada a uma carga. Note que a potência é uma característica de projeto do aparelho, enquanto que energia tem a ver com o tempo em que o aparelho é utilizado.

$$E = P \times t \text{ onde } E = \text{energia} - P = \text{potência} - t = \text{tempo.}$$

Ex: uma lâmpada que fica ligada durante 1 hora consome mais energia do que uma outra que fica ligada durante ½ hora.

RENDIMENTO – é uma medida adimensional que expressa a quantidade de energia recebida por um dispositivo que é transformada em energia útil. Pode ser expresso como um quociente entre a energia de saída e a energia de entrada.

$$\eta = P_{in}/P_{out}, \text{ onde } \eta = \text{rendimento} - P_{in} = \text{Potência de entrada} - P_{out} = \text{Potência de saída}$$

Os sistemas hidráulicos e pneumáticos são amplamente utilizados nas indústrias, seja para deslocamento de cargas ou para sistema de automação, onde o uso da eletricidade não é apropriado. A tabela abaixo faz um comparativo entre os dois tipos de sistemas:

Característica	Hidráulico	Pneumático
Transmissão de Potência	Alta	Media
Varição de Velocidade	Ampla	Ampla rapidez
Inércia	Baixa	Baixa
Peso	Médio	Baixo
Lubrificação	Utiliza próprio Fluido	Media
Manutenção	Fácil	Fácil
Automatização	Transmitem forças e Potência elevadas	Transmissão de força, potência, velocidade
Proteção contra sobrecarga	Baixa Sobrecarga	Baixa sobre
Padronização	Normas ISO/DIN	Normas ISO/DIN
Instalação	Fácil	Fácil
Preparação	Requer cuidado na geração da energia	Requer maior cuidado na geração de energia
Compressibilidade	Alta (+) movimento lentos	Limitação de Transmissão não uniformes
Forças de Aplicação	Motor Alta (+) desgaste, aquecimento.	Devido à pressão de trabalho
Escapes	Índice de vazamento e contaminação	Alto índice de ruído
Custos (\$)	Elevado	Elevado

2.2 GRANDEZAS FÍSICAS E UNIDADES

Grandeza física: São as propriedades de corpos ou estados que se possam medir.

Unidades: É o que define o método de medir uma grandeza física.

A Norma Brasileira (NBR10138) da ABHP (Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática) utiliza as unidades de medida do Sistema Internacional (SI), mas é comum o uso de outras unidades que não pertencem (SI) devido os fabricantes dos equipamentos utilizarem outros sistemas.

A seguir algumas grandezas físicas que são importantes no estudo da Pneumática

GRANDEZA	UNIDADES		
O que se deve medir	SI	MKS	CGS
(C) comprimento	Metro (m) Centímetro (cm) Milímetro (mm)	Metro (m)	Centímetro (cm)
(M) massa	Quilo grama (Kg)	Unidade de massa (utm)	Grama (G)
(F) força	Newton (N)	Quilo grama força (Kgf) ou kilopond (Kp)	Dina (dyn)
(t) tempo	Segundo (S)	Segundo (S)	Segundo (S)
(T) temperatura	Grau Kelvin (k) Grau Celsius (*C)	Grau Fahrenheit (*F) Grau Celsius (*C)	Grau Celsius (*C)
(A) área	Metro quadrado (m ²)	Metro quadrado (m ²)	Centímetro quadrado (cm ²)
(V) volume	Metro cúbico (m ³)	Metro cúbico (m ³)	Centímetro cúbico (cm ³)
(Q) vazão	Metro cúbico / segundo (m ³ / s)	Metro cúbico / segundo (m ³ / s)	Centímetro cúbico/ segundo (cm ³ / s)
(p) pressão	Pascal (Pa)	Atmosfera (atm)	Bar (bar)

2.3 LEI DE ARQUIMEDES

Considere um volume cubico de água. Estando este em repouso, o peso da água acima dele necessariamente estará contra-balançado pela pressão interna neste cubo. Para um cubo cujo volume tende para zero, ou seja um ponto, esta pressão pode ser exprimida por

$$P = \rho gh$$

em que, usando unidades no sistema SI,

P é a pressão hidro (em **pascais**);

ρ é a **massa específica** da água (em kilogramas por metro cúbico);

g é a **aceleração da gravidade** (em metros por segundo quadrado);

h é a altura do líquido por cima do ponto (em metros).

No caso de a pressão atmosférica não ser desprezível, é necessário acrescentar o valor da sua pressão, tomando a equação o seguinte aspecto

$$P = p_0 + \rho gh$$

Também chamado frequentemente de **Princípio de Arquimedes**:

Um corpo **sólido** imerso num fluido sofre a ação de uma força dirigida para cima igual ao peso do fluido deslocado.

$$F_E = W_{\text{fluido}} = \rho_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{deslocado}} \cdot g$$

Isto é devido à pressão hidrostática no fluido.

No caso de um navio, o seu peso é contra-balançado por uma força de impulsão igual ao volume de água que desloca, que corresponderá ao volume submerso do navio. Se lhe for acrescentada mais carga, esse volume submerso vai aumentar, e, com ele, a força de impulsão, permitindo ao barco flutuar. No Brasil, dá-se o nome de empuxo a esta força.

A descoberta do princípio da **impulsão** é atribuída a **Arquimedes**.

Exercícios:

1. Uma esfera oca, de raio interno igual a 8cm e raio externo igual a 9cm, flutua submersa pela metade em um líquido de densidade 800Kg/ m³ .
Qual a massa da esfera? b) Calcule a densidade do material da qual ela é feita.
(R.: 1,22 Kg, 1342,18Kg/ m³ .)

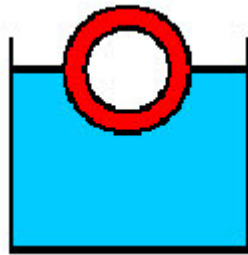


Figura 2.1: Esfera flutuando

2. Três crianças, cada uma pesando 356N, constroem uma jangada amarrando troncos de diâmetro de 0,30m e comprimento de 1,80m. Quantos troncos serão necessários para que a jangada as sustente? Considere a densidade da madeira como sendo 800Kg/ m³ .
(R.: No mínimo 5 troncos)
3. Explique como determinar a densidade de materiais utilizando o Princípio de Arquimedes.

2.4 LEI DE PASCAL

A Lei de Pascal pode ser enunciada da seguinte maneira:

Uma variação de pressão provocada num ponto de um fluido em equilíbrio transmite-se a todos os pontos do fluido e às paredes que o contêm.

Considerando a pressão num ponto A com uma altura h como p_A , se variarmos a sua pressão em Δp , a sua pressão passará a ser

$$p'_A = p_A + \Delta p$$

Como A é um ponto genérico, todos os pontos do fluido serão acrescidos de Δp

$$\text{Mas, } \Delta p = \frac{F}{A}$$

Então para dois pontos distintos no fluido, A e B

$$\Delta p_A = \Delta p_B$$

$$\text{Logo, } \frac{F_A}{A_A} = \frac{F_B}{A_B}$$

Uma aplicação prática é a prensa hidráulica. Para um êmbolo de 10m^2 e outro de 1m^2 , uma força equivalente a 70kg será suficiente para levantar um veículo que pese 700kg , no outro êmbolo.

Exercícios:

1. Encontre o aumento de pressão de um fluido em uma seringa quando uma enfermeira aplica uma força de 42N ao embolo da seringa de raio $1,1\text{cm}$.
(R.: $1,09\text{ atm}$)
2. Uma piscina, como da figura, tem dimensões $H=2,5\text{m}$, $L=9\text{m}$ e $C=24\text{m}$. Quando se enche de água esta piscina, qual será a força resultante (apenas da água) sobre:
 - a) o fundo,
 - b) sobre os lados menores e sobre
 - c) os lados maiores?
 - d) Seria apropriado considerar a pressão atmosférica? Por quê?(R.: $5,4 \times 10^6\text{ N}$; $5,6 \times 10^5\text{ N}$; $1,4 \times 10^6\text{ N}$; sim)

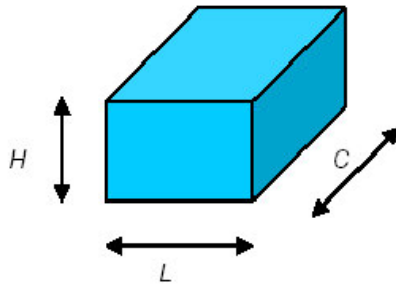


Figura 2.2: Piscina

3. Supondo que a massa específica da água do mar seja igual a $1,03\text{ g/cm}^3$, (a) determine o peso total da água na parte superior de um submarino nuclear a uma profundidade de 200m sendo a área (seção transversal horizontal) do seu casco for de 3000 m^2 . (b) Que pressão em atmosferas, um mergulhador sentiria a esta profundidade?
(R.: $6,05 \times 10^9\text{ N}$; $20,7\text{ atm}$).
4. Um pistão com uma pequena área de seção transversal a é usado em uma prensa hidráulica para exercer uma força f sobre o líquido confinado. Uma tubulação, como na figura, conduz a um pistão maior com área A . a) Qual a intensidade da força sobre o pistão menor para equilibrar uma força de $20,0\text{kN}$ sobre o pistão maior, sendo que o diâmetro do pistão menor é de $3,8\text{ cm}$ e do maior $53,0\text{ cm}$? b) Qual a distância que o pistão maior deve se mover para suspender o pistão menor de uma distância de $0,85\text{m}$?
(R.: $102,8\text{N}$; 4 mm)

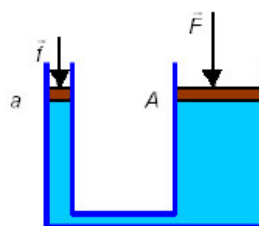


Figura 2.3: Pistão

2.5 LEI DE STEVIN

Consideremos um líquido homogêneo e em equilíbrio, sob a ação da gravidade. Consideremos ainda, dentro do líquido, dois pontos A e B cujo desnível é h .

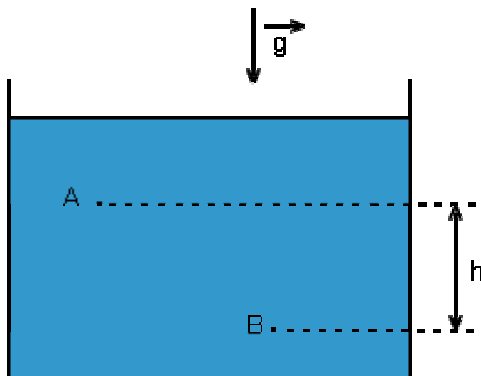


Figura 2.4: Tanque de água

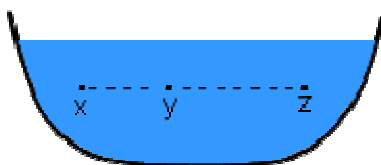
Seja p_a a pressão no ponto A e p_b a pressão no ponto B, verifica-se que:

$$p_b = p_a + dgh$$

Onde g é a aceleração da gravidade e d é a densidade do líquido. Esse fato foi estabelecido pela primeira vez pelo holandês Simon Stevin (1548 - 1620).

Considerando um ponto A na superfície livre da água, a pressão no ponto A é a pressão atmosférica:

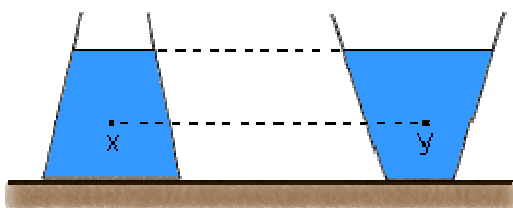
Como consequência da lei de Stevin, podemos afirmar que pontos de um líquido em equilíbrio, que estejam no mesmo nível, têm a mesma pressão. Assim, por exemplo, no caso da Figura, temos:



$$p_x = p_y = p_z$$

Figura 2.5: Tanque de água 1

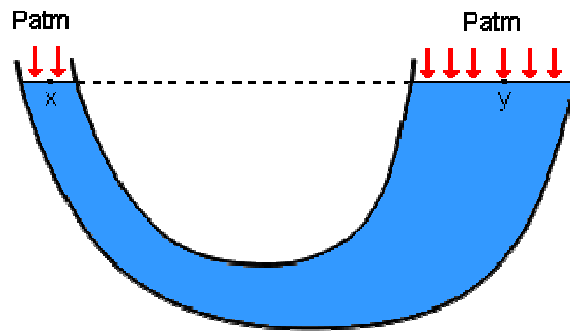
Uma outra consequência é que a pressão não depende da forma no caso do recipiente. Por exemplo, no caso da Figura seguinte, supondo que nos dois recipientes haja o mesmo líquido, temos:



$$p_x = p_y$$

Figura 2.6: Equivalência de pressão em tanques

Na situação representada na Figura, os dois lados do tubo estão submetidos à pressão atmosférica, isto é:



$$p_x = p_y$$

Figura 2.7: Equivalência e pressão em tubos

Portanto, de acordo com a lei de Stevin, os pontos X e Y devem estar no mesmo nível, isto é, nos dois lados do tubo, o líquido fica no mesmo nível.

Exercícios:

1. Qual a pressão da água nas seguintes profundidades: a)10m b)20m. Considere que a superfície da água está no nível do mar e que a massa específica da água é 1000kg/m^3 .
2. Sendo a massa específica relativa do Hg igual a 13,6 qual a profundidade que o mercúrio possui uma pressão igual a 5atm. Considere que a pressão superficial seja igual a pressão atmosférica.

2.6 LEI DE BERNOULLI (LEI DA VAZÃO)

A vazão de um fluido pode ser determinada de duas formas distintas. Como ela é dada por l/min (litros por minuto) ou g.p.m. (galões por minuto) ou no sistema internacional em $\text{m}^3/\text{seg.}$, etc., pode-se determiná-la pela razão do volume escoado do fluido por unidade de tempo ou ainda pelo produto da velocidade do fluido versus a área da seção transversal na qual o mesmo está escoando.

$$Q = \frac{V}{t} \qquad Q = v \cdot A$$

Onde:

Q = vazão

A = área

v = velocidade

V= volume

t = tempo

Para efeito de dimensionamento de tubulações considera-se como velocidades econômicas de escoamento de fluxo os seguintes valores: sucção de 0,5m/s a 1,5m/s, para pressão até 10MPa 2m/s a 12m/s, e para pressão de 10,0MPa a 31,5Mpa. 3m/s a 12m/s e para retorno de 2m/s a 4m/s.(REXROTH, 1985)

Em dinâmica dos fluidos, a equação de Bernoulli, atribuída a Daniel Bernoulli, descreve o comportamento de um fluido que se move ao longo de um tubo. Há basicamente duas formulações, uma para fluidos incompressíveis e outra para fluidos compressíveis.

A forma original, que é para um fluxo incompressível sob um campo gravitacional uniforme (como o encontrado na Terra), é:

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} = \text{constante} \quad \text{ou} \quad \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{constante}$$

ou

v = velocidade do fluido ao longo do conduto

g = aceleração da gravidade

h = altura com relação a um referencial

p = pressão ao longo do conduto

ρ = densidade do fluido

As seguintes convenções precisam ser satisfeitas para que a equação se aplique:

Escoamento sem viscosidade ("fricção" interna = 0)

Escoamento em estado estacionário

Escoamento incompressível (ρ constante em todo o escoamento)

Geralmente, a equação vale a um conduto como um todo. Para fluxos de potencial de densidade constante, ela se aplica a todo o campo de fluxo.

A redução na pressão que ocorre simultaneamente com um aumento na velocidade, como previsível pela equação, é frequentemente chamado de princípio de Bernoulli.

A equação é dedicada a Daniel Bernoulli, embora tenha sido apresentada pela primeira vez da forma como está aí por Leonhard Euler.

$$\frac{v^2}{2} + \phi + w = \text{constante}$$

Uma segunda forma, mais geral, da equação de Bernoulli pode ser escrita para fluidos compressíveis:

Aqui, ϕ é a energia potencial gravitacional por unidade de massa, que vale apenas $\phi = gh$ no caso de um campo gravitacional uniforme, e w é a entalpia do fluido por unidade de massa. Observe que

$$w = \epsilon + \frac{p}{\rho}$$

onde ϵ é a energia termodinâmica do fluido por unidade de massa, também conhecida como energia interna específica ou sie.

A constante no lado direito da equação é frequentemente chamada de constante de Bernoulli e indicada pela letra "b". Para o escoamento adiabático sem viscosidade e sem nenhuma fonte adicional de energia, "b" é constante ao longo de todo o escoamento. Mesmo nos casos em que "b" varia ao longo do conduto, a constante ainda prova-se bastante útil, porque está relacionada com a carga de pressão no fluido.

Quando um choque está presente, muitos dos parâmetros envolvidos na equação de Bernoulli sofrem grandes modificações ao passar pelo choque. A constante de Bernoulli, porém, não se altera. A única exceção à essa regra são os choques radioativos, que violam as convenções que levam à equação de Bernoulli, como a falta de vazões ou fontes de energia.

Vamos começar com a equação de Bernoulli para fluidos incompressíveis.

A equação pode ser obtida pela integração das equações de Euler, ou pela aplicação da lei da conservação da energia em duas seções ao longo da corrente, e desprezando a viscosidade, a compressibilidade e os efeitos térmicos. Pode-se dizer que

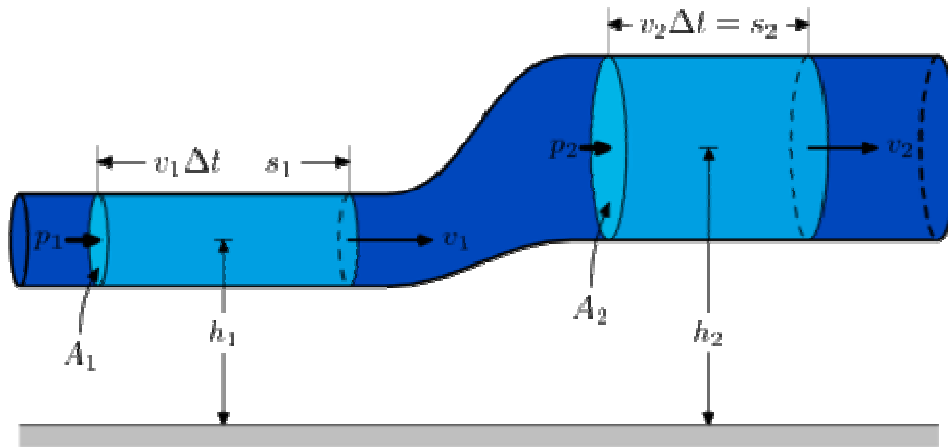


Figura 2.8: Lei de Bernoulli

o trabalho mecânico feito pelas forças no fluido + redução na energia potencial = aumento na energia cinética.

O trabalho feito pelas forças é

$$F_1 s_1 - F_2 s_2 = p_1 A_1 v_1 \Delta t - p_2 A_2 v_2 \Delta t.$$

A diminuição da energia potencial é

$$mgh_1 - mgh_2 = \rho g A_1 v_1 \Delta t h_1 - \rho g A_2 v_2 \Delta t h_2.$$

O aumento na energia cinética é

$$\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} \rho A_2 v_2 \Delta t v_2^2 - \frac{1}{2} \rho A_1 v_1 \Delta t v_1^2.$$

Juntando tudo, tem-se que

$$p_1 A_1 v_1 \Delta t - p_2 A_2 v_2 \Delta t + \rho g A_1 v_1 \Delta t h_1 - \rho g A_2 v_2 \Delta t h_2 = \frac{1}{2} \rho A_2 v_2 \Delta t v_2^2 - \frac{1}{2} \rho A_1 v_1 \Delta t v_1^2$$

ou

$$\frac{\rho A_1 v_1 \Delta t v_1^2}{2} + \rho g A_1 v_1 \Delta t h_1 + p_1 A_1 v_1 \Delta t = \frac{\rho A_2 v_2 \Delta t v_2^2}{2} + \rho g A_2 v_2 \Delta t h_2 + p_2 A_2 v_2 \Delta t.$$

Depois da divisão por Δt , ρ e $A_1 v_1$ (= vazão = $A_2 v_2$ já que o fluido é incompressível), encontra-se:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{p_2}{\rho}$$

$$\text{Ou } \frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} = C \quad (\text{como dito na Introdução}).$$

A divisão adicional por g implica em

$$\frac{v^2}{2g} + h + \frac{p}{\rho g} = C.$$

Uma massa em queda livre de uma altura h (no vácuo), alcançará uma velocidade

$$v = \sqrt{2gh}, \quad \text{ou} \quad h = \frac{v^2}{2g}.$$

O termo $\frac{v^2}{2g}$ é chamado de *altura de aceleração* ou *carga de aceleração*.

A pressão hidrostática, *carga estática* ou *altura estática* é definida como

$$p = \rho gh \quad \text{ou} \quad h = \frac{p}{\rho g}.$$

O termo $\frac{p}{\rho g}$ é também chamado de *altura de pressão* ou *carga de pressão*.

Uma maneira de ver como isto se relaciona com a conservação de energia diretamente é pela multiplicação pela densidade e volume unitário (que é permitido, já que ambos são constantes), resultando em:

$$v^2 \rho + P = \text{constante} \quad e$$

$$mV^2 + P \times \text{volume} = \text{constante}$$

A dedução para fluidos compressíveis é similar. Novamente, a dedução depende da (1) conservação da massa e (2) da conservação da energia.

A conservação da massa implica que no desenho acima, no intervalo de tempo Δt , a quantidade de massa que passa pela fronteira definida pela área A_1 é igual à quantidade de massa que passa por fora da fronteira definida pela área A_2 :

$$0 = \Delta M_1 - \Delta M_2 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t - \rho_2 A_2 v_2 \Delta t.$$

Aplica-se a conservação da energia de uma maneira similar: assume-se que a mudança na energia do volume do duto limitado por A_1 e A_2 é totalmente devida à energia que entra ou sai por quaisquer uma dessas duas fronteiras. Claramente, em uma situação mais complicada como uma vazão de fluido acompanhada de radiação, a conservação de energia não é satisfeita. De qualquer forma, assuma que seja este o caso e que o fluxo está em estado estacionário, de forma que a mudança líquida de energia é zero; temos que

$$0 = \Delta E_1 - \Delta E_2$$

onde ΔE_1 e ΔE_2 são a energia que entra através de A_1 e que sai por A_2 , respectivamente.

A energia entrando por A_1 é a soma da energia cinética afluyente, da energia afluyente na forma de energia potencial gravitacional, da energia termodinâmica do fluido afluyente e da energia afluyente na forma de trabalho mecânico $p dV$:

$$\Delta E_1 = \left[\frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \phi_1 \rho_1 + \epsilon_1 \rho_1 + p_1 \right] A_1 v_1 \Delta t$$

Uma expressão similar para ΔE_2 pode ser construída facilmente. Fazendo agora $0 = \Delta E_1 - \Delta E_2$, obtemos

$$0 = \left[\frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \phi_1 \rho_1 + \epsilon_1 \rho_1 + p_1 \right] A_1 v_1 \Delta t - \left[\frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \phi_2 \rho_2 + \epsilon_2 \rho_2 + p_2 \right] A_2 v_2 \Delta t$$

Reescrevendo:

$$0 = \left[\frac{1}{2} v_1^2 + \phi_1 + \epsilon_1 + \frac{p_1}{\rho_1} \right] \rho_1 A_1 v_1 \Delta t - \left[\frac{1}{2} v_2^2 + \phi_2 + \epsilon_2 + \frac{p_2}{\rho_2} \right] \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$$

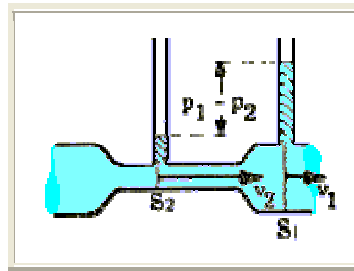
Agora, usando o resultado obtido anteriormente a partir da conservação da massa, isto pode ser simplificado de forma a se obter

$$\frac{1}{2} v^2 + \phi + \epsilon + \frac{p}{\rho} = \text{constante} \equiv b$$

que é a solução procurada.

Aplicações da equação de Bernoulli

1 — Tubo de Venturi



Quando o desnível é zero, o tubo é horizontal. Temos então, o denominado tubo de Venturi, cuja aplicação prática é a medida da velocidade do fluido em um tubo. O manômetro mede a diferença de pressão entre os dois ramos do tubo.

A equação da continuidade é escrita

$$v_1 S_1 = v_2 S_2$$

Que nos diz que a velocidade do fluido no ramo do tubo que tem menor secção é maior que a velocidade do fluido no ramo que tem maior secção. Se $S_1 > S_2$, concluímos que $v_1 < v_2$.

Na equação de Bernoulli com $y_1 = y_2$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Como a velocidade no ramo de menor secção é maior, a pressão neste ramo é menor.

Se $v_1 < v_2$ concluímos que $p_1 > p_2$. O líquido manométrico desce pelo lado esquerdo e sobe pelo direito.

Podemos obter as velocidades v_1 e v_2 em cada ramo do tubo a partir da leitura da diferença de pressão $p_1 - p_2$ no manômetro.

$$v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$$

Exemplo:

Suponha que introduzimos os seguintes dados no programa interativo:

- Raio do ramo esquerdo do tubo, 20 cm.
- Raio do ramo direito do tubo, está fixado no programa interativo e vale 5 cm.
- Velocidade do fluido no ramo esquerdo, 10 cm/s
- Desnível ente ambos os ramos, 0.0 cm

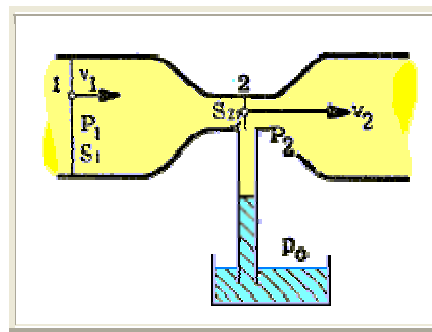
Se a medida da diferença de pressão no manômetro é de 1275 Pa, determinar a velocidade do fluido em ambos os ramos do tubo.

Os dados são:

$$S_1 = \pi (0.2)^2 \text{ m}^2, S_2 = \pi (0.05)^2 \text{ m}^2, \rho = 1000 \text{ kg/m}^3, \text{ e } p_1 - p_2 = 1275 \text{ Pa.}$$

Introduzindo estes dados na fórmula nos dá $v_2 = 1.6 \text{ m/s}$. Calculamos v_1 a partir da equação da continuidade $v_1 = 0.1 \text{ m/s}$ ou 10 cm/s que é o dado introduzido previamente no programa.

Este é o princípio de funcionamento dos sprays: o líquido é expelido devido a redução de pressão produzida pela velocidade do ar que passa pela boca do spray.



Seja, em particular, p_2 for menor que a pressão barométrica p_0 , de modo que o líquido é impulsionado para cima, mesmo se p_1 for maior que p_0 . Pode-se, também, pôr a secção transversal S_2 em comunicação com um recipiente, no qual se deseja obter o vácuo. O conteúdo fluido desse recipiente escoar, então, para o trecho onde reina a pequena pressão p_2 , até que a pressão, no interior do recipiente considerado, se iguale a p_2 . De acordo com Bernoulli, será:

$$p_2 = p_1 - \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2) \quad \text{e} \quad v_2 = v_1 \frac{S_1}{S_2}$$

$$p_2 = p_1 - \frac{\rho}{2} \left(\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1 \right) v_1^2$$

$$\text{Sendo } \frac{S_1}{S_2} > 1, \text{ teremos } p_2 < p_1$$

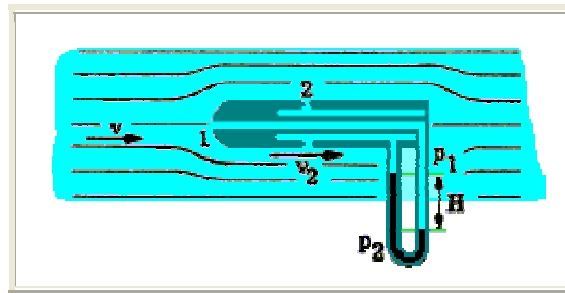
Com o aumento de v_1 , poder-se-ia conseguir que p_2 e, portanto, também a pressão no recipiente, se anulasse ou mesmo se tornasse negativa (sucção, $p_2 < p_0$). Por causa da vaporização da água, nunca se chega, entretanto, a uma pressão inferior à que corresponde à tensão de vapor d'água à temperatura ambiente. A 20°C essa tensão vale $17,5 \text{ mmHg}$.

Para obter-se um vácuo ainda melhor usa-se a bomba a jato de vapor de mercúrio ou a bomba de vapor de óleo, que operam segundo o mesmo princípio da bomba a jato d'água. Em lugar do jato d'água, usa-se neste caso, um jato de vapor de mercúrio ou de óleo.

Como o Hg e o óleo possuem tensões de vapor menores que a da água (10^{-3} a 10^{-6} mmHg), obtém-se, com essas bombas, um vácuo efetivamente melhor.

2 — **Tubo de Pitot**

O tubo de Pitot serve para as medidas da velocidade, por exemplo, de aviões.



No ponto 1 reina a velocidade $v = 0$ (ponto em que é barrado o fluido). A este ponto corresponde uma pressão $p = p_1$.

No ponto 2 reina a velocidade v_2 , que é aproximadamente igual à velocidade do líquido (ou ar) no espaço exterior. A esta velocidade corresponde a pressão $p = p_2$. Segundo Bernoulli será:

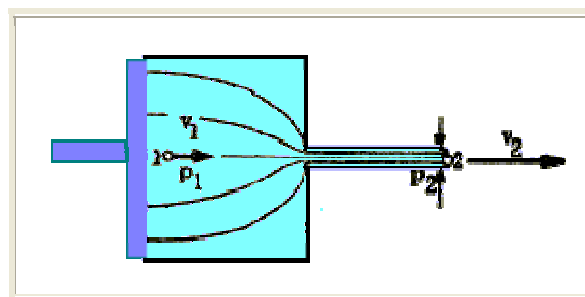
$$p_1 = p_2 + \frac{\rho_{\text{gás}}}{2} \cdot v_2^2 \quad \text{ou} \quad v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_{\text{gás}}}}$$

A medida da velocidade pode, portanto, ser reduzida à medida de uma pressão. A diferença de pressão ($p_1 - p_2$) é medida no dispositivo manométrico, por meio da diferença de altura H das colunas líquidas. Designando-se por $\rho_{\text{gás}}$ a densidade do gás em movimento e por $\rho_{\text{liq.}}$ a densidade do líquido manométrico, será:

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H \cdot \frac{\rho_{\text{liq.}}}{\rho_{\text{gás}}}}$$

3 — **Escoamento sob a influência de uma sobrepressão**

Para o dispositivo representado a seguir, vale, segundo Bernoulli:



$$p_1 + (\rho/2) \cdot v_1^2 = p_2 + (\rho/2) \cdot v_2^2$$

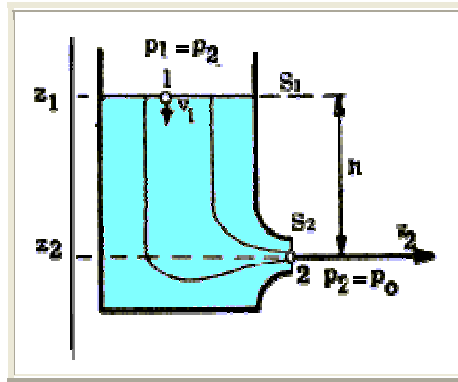
Se a abertura do orifício for pequena, em relação à seção do conduto, será então, como se deduz da equação da continuidade, v_1 pequena, de maneira que poderemos em primeira aproximação considerá-la nula. Decorre, então, para a velocidade de saída:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_{\text{liquido}}}}$$

É característico neste resultado ser a velocidade v_2 diretamente proporcional à raiz quadrada da diferença de pressão e inversamente à raiz quadrada da densidade absoluta do líquido.

4 — Escoamento sob a influência da gravidade

Para o ponto 1 vale: $z = z_1$; $v = v_1$; $p = p_1 = p_0 =$ pressão barométrica.
 Para o ponto 2 vale: $z = z_2 = z_1 - h$; $v = v_2$; $p = p_2 = p_0 =$ pressão barométrica.



Segundo a equação da continuidade será: $v_1 / v_2 = S_2 / S_1$.
 Se, porém, S_1 é muito maior que S_2 , podemos considerar nula v_1 , sendo então p_1 igual a p_2 . A equação de Bernoulli reduz-se agora a: $(\rho/2) \cdot v_2^2 = \rho \cdot g \cdot (z_1 - z_2)$

Decorre portanto, para a velocidade v_2 :

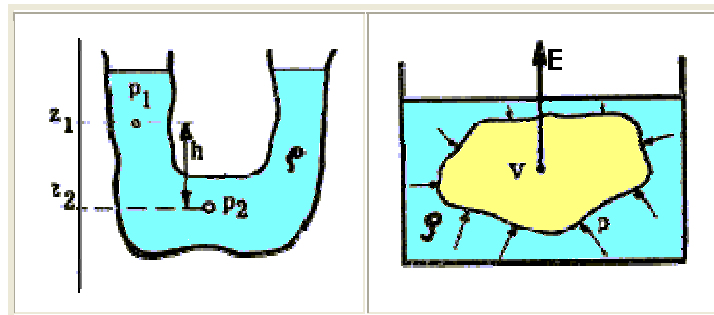
$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (z_1 - z_2)} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

O líquido tem no escoamento a mesma velocidade que atingiria em queda livre da altura h (Princípio da Energia).

5 — Empuxo

Para o caso de velocidades muito pequenas, a equação de Bernoulli transforma-se na equação fundamental da hidrostática. Ela se reduz a:

$$p_2 - p_1 = \rho \cdot g \cdot (z_1 - z_2) = \rho \cdot g \cdot h$$



O empuxo E que sofre um corpo mergulhado num fluido de densidade ρ obtém-se como a resultante de todas as forças (de pressão) elementares. Acha-se, pois, para o empuxo a expressão:

$$E = \rho \cdot g \cdot V_{\text{liq. deslocado}}$$

onde $V_{liq,desl.}$ representa o volume do fluido deslocado pelo corpo. O ponto de aplicação do empuxo é o centro de gravidade do volume anteriormente ocupado pelo fluido deslocado, e não o centro de gravidade do corpo mergulhado. Somente para corpos homogêneos coincidem esses dois pontos. O empuxo E pode ser utilizado para a avaliação cômoda da densidade r de gases, líquidos e sólidos.

Exercícios:

1. Uma caixa d'água de 10.000 litros está sendo enchida com uma mangueira. O tempo gasto para o enchimento da caixa é de 500 minutos. Qual a vazão da mangueira?
2. Calcular a vazão de um fluido que escoar por um tubo com uma velocidade média de 1,4 m/min, sabendo que a área da seção transversal do tubo é de 42cm².
3. Um tanque de água a céu aberto, foi atingido por uma bala criando um furo a uma distância h abaixo da superfície da água. Qual a velocidade v da água que sai pelo furo? Considere a área do furo muito menor que a área do tanque ($a \ll A$)
(R.: $(2gh)^{1/2}$)
4. Sobre a asa de um avião de área A , o ar escoar com uma velocidade V_C e sob a asa desse mesmo avião, a velocidade do ar é V_B . Mostre que nesta situação simplificada, a equação de Bernoulli prediz que a magnitude da força de sustentação na asa será:

$$\frac{1}{2}\rho A (V_C^2 - V_B^2)$$

onde ρ é a densidade do ar.

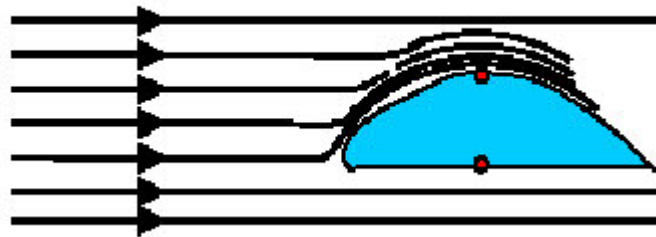
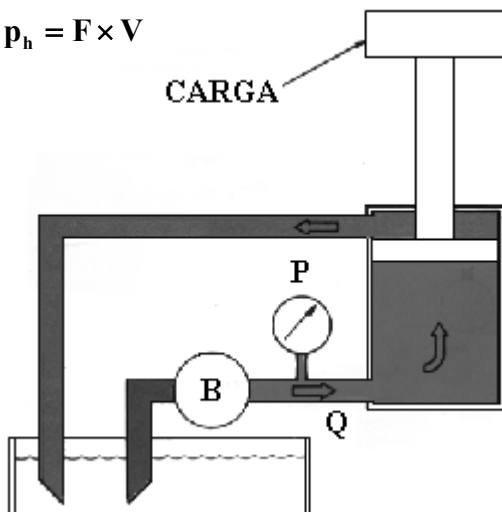


Figura 2.9: Asa de um avião

2.7 POTÊNCIA HIDRÁULICA E POTÊNCIA DE ACIONAMENTO

A potência de um circuito hidráulico normalmente é concebida a partir do atuador para o motor de acionamento e para cálculos rápidos considera-se o rendimento total do sistema em torno de 65%. Daí a potência hidráulica pode ser definida a partir da seguinte expressão:

$$P_h = F \times V$$



Onde;

P_h = Potência hidráulica (Watt)

F = Força desenvolvida considerando uma segurança de $\pm 10\%$ na carga (Newton)

V = Velocidade de movimentação da carga (m/s)

Considerando as grandezas envolvidas num circuito hidráulico a expressão para cálculo da potência hidráulica é:

$$P_h = P \times Q$$

Onde:

P_h = Potência hidráulica (Watt)

P = pressão de trabalho do circuito ($N/m^2 = Pa$)

Q = Vazão volumétrica (m^3/s)

A potência de acionamento do motor considerando o rendimento do circuito pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

Figura 2.10: Máquina hidráulica

$$P_{ac} = \frac{P_h}{\eta}$$

Onde o denominador da relação é o rendimento total do circuito

2.8 UNIDADE DE POTÊNCIA HIDRÁULICA

O quadro apresenta os componentes básicos de uma unidade de potência hidráulica representada na figura

COMPONENTES DE UMA UNIDADE DE POTÊNCIA HIDRÁULICA

1. Motor elétrico	2. Entrada de energia elétrica
3. Capacitor	4. Chave liga/desliga
5. Saída de pressão	6. Válvula de segurança
7. Manômetro	8. Retorno para o tanque
9. Visor de nível	10. Conexão para o tanque
11. Reservatório	12. Dreno
13. Flange de acoplamento	14. Bomba de deslocamento positivo
15. Tubulação de sucção	16. Filtro de retorno

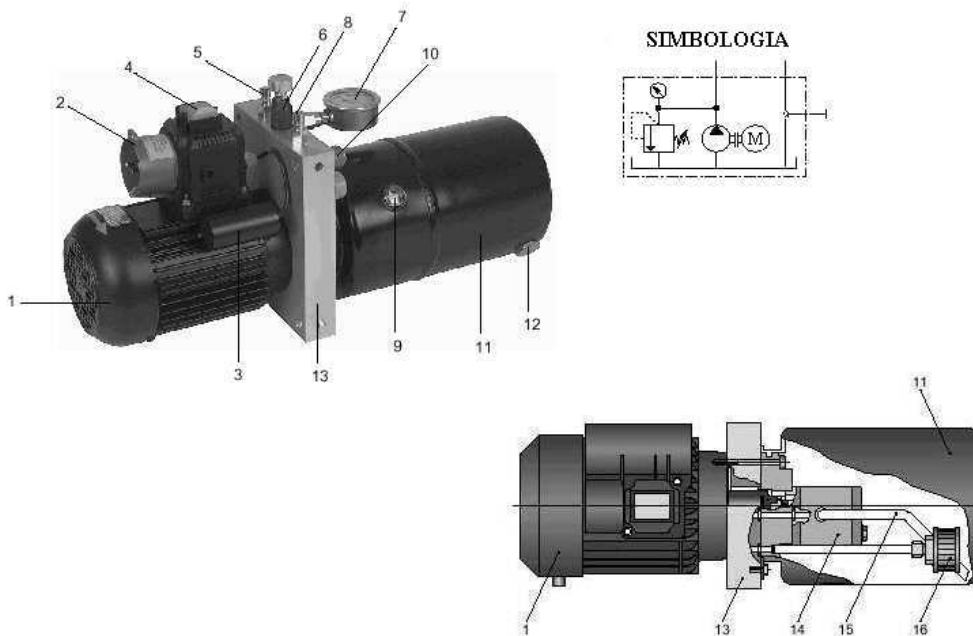


Figura 2.11: Unidade de potência hidráulica

2.9 TRANSMISSÃO DE ENERGIA HIDRÁULICA

A óleo-hidráulica pode ser definida como um meio de transmitir energia, através de um líquido confinado sob pressão. O componente de entrada de um circuito hidráulico denomina-se bomba, e o de saída, atuador. A maior parte das bombas incorporam vários elementos de bombeamento tais como pistões, palhetas, parafusos ou engrenagens,. Os atuadores, podem ser do tipo linear (cilindro), ou rotativo, no caso de motores hidráulicos.

O circuito hidráulico não é uma fonte de energia. A fonte de energia é o acionador, tal como, o motor que gira a bomba. O leitor poderia perguntar então, porque não esquecer a hidráulica e ligar a parte mecânica diretamente ao acionador principal? A resposta está na versatilidade de um circuito hidráulico, o qual oferece algumas vantagens sobre outros meios de transmissão de energia.

2.10 ÓLEOS UTILIZADOS COMO FLUIDOS HIDRÁULICOS

FUNÇÃO: **transmitir energia, lubrificar e refrigerar.** O óleo a ser usado nos sistemas hidráulicos deve ser especialmente fabricado para tal fim. Além dos poderes normalmente encontrados nos demais óleos (incompressibilidade, lubrificante, antioxidante), ele deverá conter o poder antiespumante e principalmente a viscosidade apropriada para transmissão de força num circuito fechado. Nos circuitos mais modernos encontramos também a proteção contra o fogo, quando o óleo poderá ser submetido a altas temperaturas até se volatilizar e nunca provocará a chama. Nota: Óleo limpo é um fator de grande importância para a operacionalidade dos equipamentos hidráulicos. Requisitos básicos para o óleo hidráulico:

- 1- prevenir a formação de goma e verniz;
- 2- ser incompressível;
- 3- lubrificante;
- 4- anticorrosivo;
- 5- baixo custo;
- 6- refrigerante;
- 7- alto índice de viscosidade (sofrer pouca alteração de fluidez com alteração de temperatura);
- 8- separar-se da água;
- 9- liberar o ar instantaneamente;
- 10- não ser tóxico, nem ter acidez;
- 11- não ser inflamável;
- 12- ser compatível com retentores e gaxetas;
- 13- diminuir a formação de espuma.

Principais fluidos hidráulicos utilizados : Água , Óleo mineral (derivado do petróleo) , Óleo vegetal (mamona) , Óleo sintético (mais modernos, alto lubrificante e resistente ao fogo), Óleo glicol (água + etileno ou propileno de glicol) e Óleo solúvel (emulsificador , que se mistura com água).

Parâmetros de controle dos óleos hidráulicos:

Viscosidade – Ela expressa a resistência que o óleo apresenta ao fluir. É, em princípio, a propriedade física mais importante. É a principal responsável por garantir a correta lubrificação, ou seja, produzir a ideal redução no atrito. Sua medição é obtida através de ensaios com instrumentos denominados por “Viscosímetro”.

Unidades de medidas: Dentre as unidades de medidas desta característica, podemos citar as mais utilizadas no mercado internacional para se especificar um óleo: Cinemática (centistokes – cSt); Saybolt (SSU); Redwood e Engler.

2.10.1 EXEMPLO DE UM VISCOÍSIMETRO “SAYBOLT”

A viscosidade é indicada pelo tempo, em segundos, necessário para que 60 cm³ de óleo escorra completamente através de um orifício com 1,765 mm de diâmetro, sob a ação da gravidade à uma determinada temperatura.

Obs: O valor de viscosidade depende diretamente

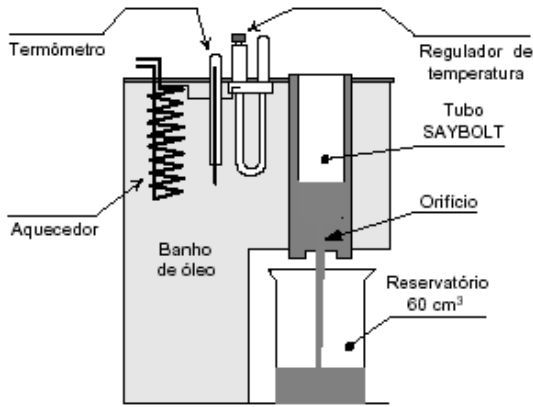


Figura 2.12: Viscosímetro Saybolt

Classificação ISO de Viscosidade:

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

Classes de Viscosidades SAE

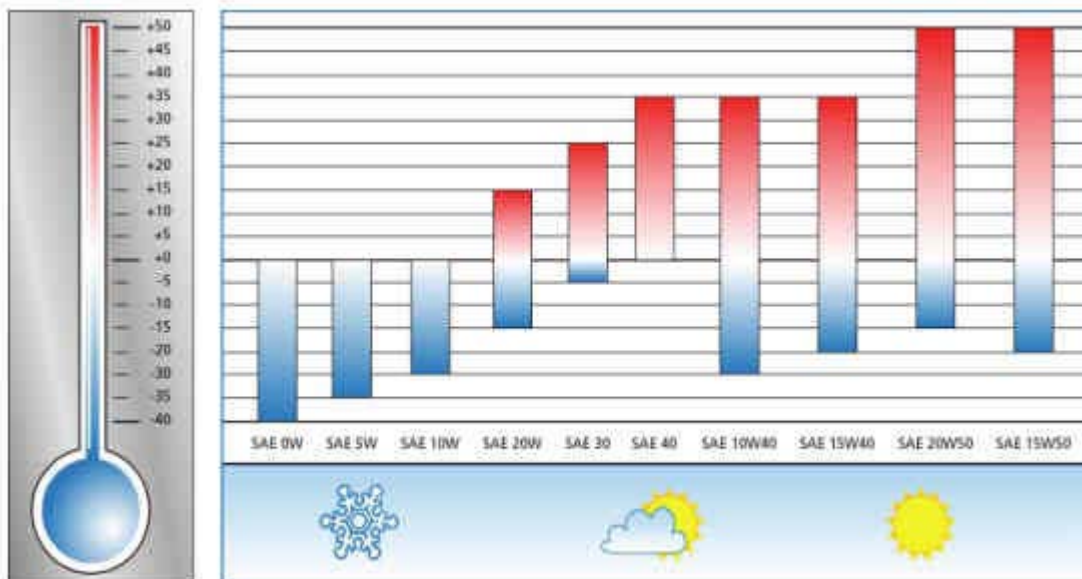


Figura 2.13: Viscosidade padrão SAE

A maioria dos óleos hidráulicos é formulado com viscosidades de ISO VG 32, 46 ou 68.

Índice de Viscosidade: Mede a intensidade com que varia a viscosidade em relação à temperatura. Existem óleos com IV alto (HVI), médio (MVI) ou baixo (LVI).

Ponto de Fluidez (Ponto de gota ou de congelção): É a temperatura mais baixa que o óleo consegue fluir normalmente através de um orifício padronizado pela ASTM.

Ponto de Fulgor ou Inflamação - É a menor temperatura na qual o vapor desprendido pelo óleo, em presença do ar, inflama-se momentaneamente (lampejo), ao se aplicar uma chama, caso o lubrificante desprenda um volume de vapor suficiente para manter a chama, alcançado o Ponto de Combustão.

Mistura de Óleos – Pode-se misturar diferentes óleos formando um terceiro com uma viscosidade diferente. Sua separação só pode ser feita por processos de destilação. Conhecendo-se a porcentagem de cada óleo na mistura e suas respectivas viscosidades, é possível, através de uma “Carta de Mistura”, conhecer a viscosidade da mistura final.

Agentes de Extrema Pressão (EP) – Os aditivos EP somente agem quando há condições de extrema pressão, com o rompimento da película lubrificante. Este fato gera um calor responsável pela reação química que liberta os compostos que agirão como lubrificantes.

2.10.2 O ÓLEO HIDRÁULICO:

Óleos Minerais: Provenientes do petróleo, são classificados em duas categorias que levam em conta sua origem e processo de refinação, ou seja, naftênicos e parafínicos.

Óleo mineral de base parafínico: O nome “Parafina”, de origem Latim, indica, que estas ligas químicas são relativamente estáveis e resistentes e não podem ser modificadas facilmente com influências químicas. Sendo assim as parafinas tendem a não oxidar em temperaturas ambientes ou levemente elevadas. Nos lubrificantes eles são partes resistentes e preciosos, que não “envelhecem” ou somente oxidam de forma lenta. Contém em sua composição química hidrocarbonetos de parafina em maior proporção, demonstra uma densidade menor e é menos sensível a alteração de viscosidade/temperatura. A grande desvantagem é seu comportamento em temperaturas baixas: as parafinas tendem a sedimentar-se. A fórmula química da parafina é $C_{16}H_{34}$ e possui formato de uma cadeia de hidrocarbonetos.

Fórmula química da parafina: $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

Óleo mineral de base naftênico:

Enquanto os hidrocarbonetos parafínicos formam em sua estrutura molecular correntes, os naftênicos formam em sua maioria ciclos (A naftalina possui fórmula química $C_{10}H_8$ e estrutura de dois anéis de benzeno). Os naftênicos em geral são usados, quando necessitamos produzir lubrificantes para baixas temperaturas. Desvantagem dos naftênicos é sua incompatibilidade com materiais sintéticos e elastômeros.

Fórmula química plana da naftalina:

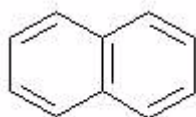


Figura 2.14: Cadeia naftalênica

Óleo mineral de base misto:

Para atender as características de lubrificantes conforme necessidade e campo de aplicação a maioria dos óleos minerais é misturada com base naftênico ou parafínico em quantidades variados.

Características Parafínicos Naftênicos

Características	Parafínicos	Naftênicos
Ponto de fluidez	Alto	Baixo
Índice de Viscosidade	Alto	Baixo
Resistência à oxidação	Grande	Pequena
Oleosidade	Pequena	Grande
Resíduo de Carbono	Grande	Pequeno
Emulsibilidade	Pequena	Grande

Óleos Compostos - São minerais com adição de produto orgânico (de 1 à 25 / 30%), objetivando maior oleosidade ou facilidade de emulsão com vapor d'água.

Óleos Sintéticos - Obtidos através de síntese química, suportam condições especiais.

São classificados em cinco grupos, com as seguintes características de aplicações:

Tipo	Principais Aplicações
Ésteres de Ácidos Dibásicos	Motores à jato, óleos hidráulicos e para instrumentos delicados
Ésteres de Organofosfatos	Óleos hidráulicos (para até 150° C) e lubrificantes de baixa temperatura.
Ésteres de Silicatos	Fluidos de transferência de calor, fluidos hidráulicos e componente para graxa de baixa volatilidade (até 200° C)
Silicones	Menor variação de viscosidade com a temperatura, baixa volatilidade, alta resistência à oxidação, ótima estabilidade térmica e hidrolítica – o que possui maior custo entre os sintéticos.
Compostos de Ésteres de Poliglicol	Excelente relação viscosidade-temperatura, volatilidade muito abaixo dos minerais, resistência à inflamação e bom poder de lubrificante, baixa resistência à oxidação mas não forma borra.

Os óleos hidráulicos, qualquer que seja o tipo utilizado, necessitam de filtrações periódicas a fim de evitar a disseminação de impurezas que possam danificar os componentes hidráulicos. Os processos de filtração utilizados são os mesmos utilizados em veículos: filtração por pressão contra telas porosas, com poros suficiente pequenos que impedem a passagem das impurezas.

3 SIMBOLOGIA HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA

Os circuitos hidráulicos são compostos de uma série de componentes cuja simbologia mais comum está colocada na seqüência. A simbologia é praticamente a mesma para hidráulica e pneumática. Havendo diferença, aparecem dois símbolos devidamente identificados.

Atuadores:

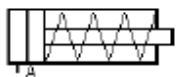

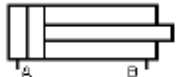
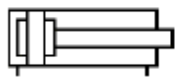
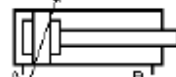

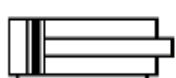
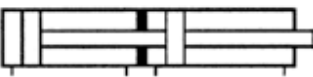





	Cilindro de simples ação (posição de repouso recuado).
	Cilindro de simples ação (posição de repouso avançado).
	Cilindro de dupla ação.
	Cilindro de dupla ação (com amortecimento de fim de curso, sem regulagem).
	Cilindro de dupla ação (com amortecimento de fim de curso regulável).
	Cilindro com haste passante.
	Cilindro de dupla ação com êmbolo magnético.
	Cilindro tipo Tandem.
	Cilindro duplo.
	Cilindro sem haste.
	Oscilador.
	Motor Pneumático.
	Motor Hidráulico.

Figura 3.1: Simbologia hidráulica 1

Válvulas


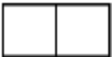





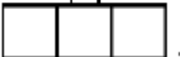


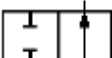
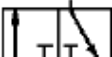
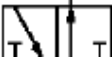



<ul style="list-style-type: none"> As válvulas são simbolizadas por meio de quadrados. 	
<ul style="list-style-type: none"> O número de quadrados representa quantas posições de comutação a válvula direcional possui (OBS.: o número mínimo de posições em uma válvula direcional é dois). 	 ; 
<ul style="list-style-type: none"> As setas indicam, em geral, o sentido do fluxo. 	 ; 
<ul style="list-style-type: none"> Os bloqueios (isto é, pontos por onde não há fluxo) são representados por um “T” apostro internamente ao símbolo. 	 ; 
<ul style="list-style-type: none"> As conexões (vias funcionais) são indicadas por traços na parte externa, na posição à direita da válvula (para válvulas com 2 posições de comando) ou ao centro (válvulas com 3 posições de comando). 	(válvula de 4 vias e 3 posições ou 4/3 vias):  ;
	(válvula de 5 vias e 2 posições ou 5/2 vias): 
<ul style="list-style-type: none"> Válvula direcional de 2 vias e 2 posições de comando, posição normal fechada (abrevia-se a designação para 2/2 vias NF, lê-se: “duas-duas vias ene-efe”). 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 2/2 vias NA (normalmente aberta). 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 3/2 vias NF. 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 3/2 vias NA. 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 3/3 vias CF (centro fechado). 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 4/2 vias. 	
<ul style="list-style-type: none"> Válvula 5/2 vias. 	

Figura 3.2: Simbologia hidráulica 2

AÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
MUSCULAR		Símbolo genérico, sem especificação do modo de operação.
		Botão.
		Botão com trava.
		Alavanca.
		Pedal.
MECÂNICA		Came ou apalpador.
		Mola (em geral, para retorno à posição de repouso).
		Rolete.
		Rolete escamoteável (“gatilho”).

Figura 3.3: Simbologia hidráulica 3





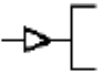
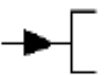
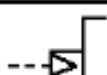





ELÉTRICO		Solenóide com uma bobina.
		Solenóide com bobina proporcional.
		Motor elétrico reversível.
		Motor elétrico de passos.
	PRESSÃO	
		Piloto hidráulico (por acréscimo de pressão).
		Servopiloto pneumático (piloto interno à válvula).
COMBINADO		Solenóide pilotado (pneumático).
		Solenóide pilotado (hidráulico).
		Roleta servopilotado (pneumático).
		Acionamento por ação muscular ou por solenóide servopilotado.
		Acionamento por solenóide ou muscular, servopilotados (pré-comando manual).

Figura 3.4: Simbologia hidráulica 4






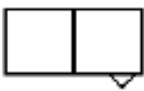
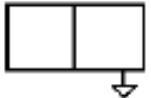

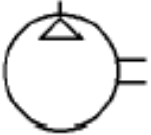
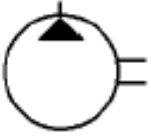
SIMBOLO	DESCRIÇÃO
	Indicador de pressão (manômetro).
	Indicação de possibilidade de regulagem ou de variação progressiva.
	Fluxo pneumático.
	Fluxo hidráulico.
	Fonte de pressão (genérico).
	Escape simples (não conectável); triângulo adjacente ao símbolo.
	Escape roscado para conexão; triângulo afastado do símbolo.
	Fluxo de óleo para o tanque.
	Compressor.
	Bomba hidráulica.

Figura 3.5: Simbologia hidráulica 5

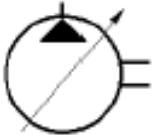
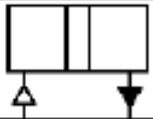



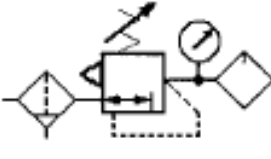

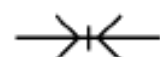
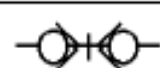
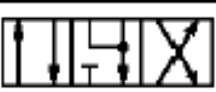
	Bomba hidráulica com deslocamento variável.
	Conversor do meio de pressão (no exemplo, de pneumático para hidráulico).
	Silenciador.
	Acumulador (genérico).
	Unidade condicionadora (simplificado).
	Unidade condicionadora (detalhado, constando de filtro com dreno; válvula reguladora de pressão; manômetro e lubrificador, da esquerda para a direita).
	Engate rápido (desconectado).
	Engate rápido (conectado).
	Engate rápido com válvula de retenção (conectado).
	A união de vias dentro de uma válvula é simbolizada por um ponto.
POSIÇÃO EM REPOUSO	Condição na qual os elementos móveis da válvula são posicionados enquanto a mesma não está acionada.
POSIÇÃO INICIAL	Condição na qual a válvula se posiciona após a montagem e ligação da rede. Nesta posição começa a seqüência de operações prevista (após o <i>RESET</i> e comando de partida).
VIA DE EXAUSTÃO	Via pela qual o ar comprimido sai da válvula.

Figura 3.6: Simbologia hidráulica 6

Além dos símbolos dos componentes há também a simbologia dos condutores de fluídos:






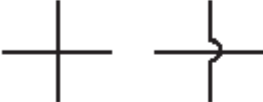






LINHAS DE FLUXO	
	Linha de trabalho e retorno
	Linha de pilotagem (x)
	Linha de dreno (y)
	Mangueira Flexível
	União de linhas
SIMBOLOS FUNCIONAIS	
	Linhas cruzadas e não conectadas
	Possibilidade de regulagem (inclinação 45°)
	Direção do fluxo
	Fluxo hidráulico
	Sentido de rotação
	Acoplamento
	Acoplamento com proteção

Figura 3.7: Simbologia hidráulica 7

4 CIRCUITO HIDRÁULICO

Para expressar os comando e os controles necessários para determinado funcionamento de uma máquina com acionamento hidráulico é usado um esquema ou circuito hidráulico. É preciso conhecer a simbologia

hidráulica (forma de representação gráfica que expressa o funcionamento do componente hidráulico) para ler e interpretar determinado circuito hidráulico.

A representação correta dos circuitos hidráulicos é uma necessidade para o projetista, para as pessoas que precisam fabricar a máquina e para aqueles que tiverem que fazer sua manutenção. O esquema mostra como será a interação dos componentes. Mostra aos responsáveis pela fabricação e ao montador como conectá-los entre si. Mostra ao mecânico de manutenção como o sistema funciona, o que cada componente deve fazer e para onde o óleo deve ir, de modo que ele possa diagnosticar os eventuais problemas e solucioná-los.

O esquema de um circuito hidráulico é um desenho completo, que inclui sua descrição, seqüência de operações, notas, lista de componentes, etc. Essa representação gráfica não mostra nada sobre a construção ou posição relativa dos componentes; sua finalidade é mostrar funções, conexões e caminhos de fluxo.

Há vários sistemas de símbolos, especificados por normas. Essas normas podem ter diferentes procedências, mas todas elas têm razoável semelhança entre si. O conhecimento de uma dessas normas é plenamente suficiente para a compreensão de qualquer outro. Os símbolos estão em anexo com as devidas explicações para o bom entendimento dos esquemas.

De uma maneira geral, classifica-se os circuitos hidráulicos em abertos, fechados e semi-fechados.

Circuito aberto: a bomba succiona o óleo do reservatório e o recalca (descarrega) através das tubulações para o atuador hidráulico. Nesse atuador o óleo transfere sua energia de pressão e retorna ao reservatório.

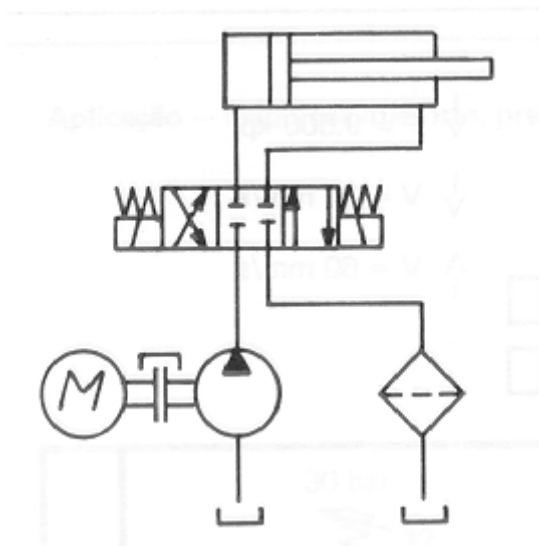


Figura 4.1: Circuito hidráulico aberto

Circuito fechado: a alimentação do motor hidráulico é do tipo fechado, de maneira que é assegurada uma resposta satisfatória dos motores hidráulicos, nas condições de desaceleração ou movimento em vazio:

Circuitos desse tipo tem como vantagem:

- suprir as deficiências de sucção
- fazer reversíveis as funções da bomba e do motor hidráulico, especialmente para os efeitos de restituição de energia (frenagem)
- efetuar a manobra de inversão de movimentos nos consumidores com especial suavidade e continuidade

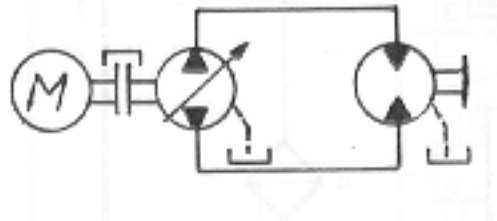


Figura 4.2: Circuito hidráulico fechado

Circuito semi-fechado: com as mesmas características e vantagens do circuito fechado, montagens desse tipo são utilizadas quando há necessidade de complementação ou descarga de excesso de óleo num dos ramos do sistema. É o que acontece quando emprega-se um cilindro hidráulico diferencial, cujos volumes de óleo de saída são diferentes nos movimentos de avanço e retorno do cilindro.

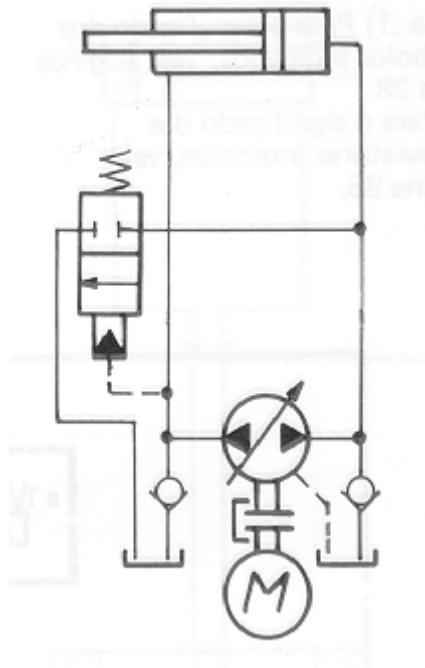
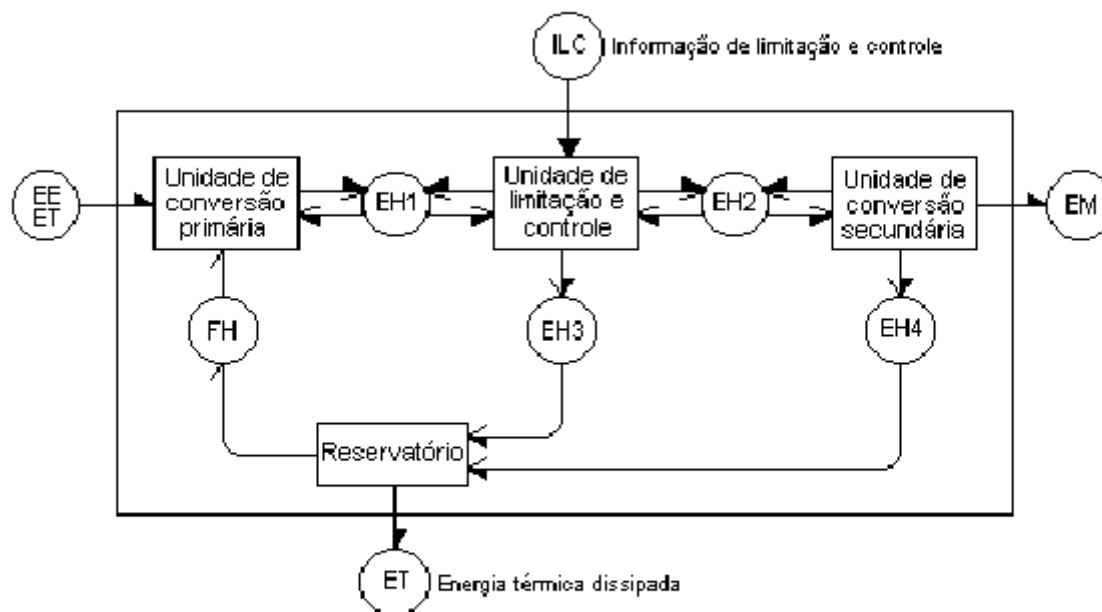


Figura 4.3: Circuito hidráulico semi-fechado

5.1. CIRCUITO HIDRÁULICO GENÉRICO

O esquema seguinte mostra um sistema hidráulico típico:



EE / ET = energia elétrica / energia térmica EH = energia hidráulica [pressão(p); vazão (Q)]
 EM = energia mecânica [força (F); velocidade (v) e/ou torque (T); rotação (n)]

Figura 5.1: Circuito hidráulico típico

O sistema recebe como entrada energia mecânica (na forma de torque, rotação) convertida de energia elétrica ou térmica através de um motor elétrico ou de combustão interna. Em seguida, esta energia mecânica é convertida em energia hidráulica (potência hidráulica) pela unidade de conversão primária. A energia hidráulica transferida ao fluido hidráulico passa pela unidade de limitação e controle, onde é condicionada por válvulas, sendo em seguida transmitida à unidade de conversão secundária. O condicionamento da energia hidráulica na unidade de limitação e controle é feito através das informações de limitação e controle, obtidas externamente ou por sinais de realimentação do próprio sistema. Na unidade de conversão secundária, a energia hidráulica devidamente condicionada é convertida em energia mecânica, expressas em termos de força e velocidade (ou deslocamento) ou torque e rotação (ou deslocamento angular). Esta energia é a saída do sistema, e é utilizada em acionamentos mecânicos para diversos fins.

5 COMPONENTES DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS

5.1. RESERVATÓRIO DE FLUÍDO

São recipientes onde o óleo é armazenado. Suas principais funções são:

- Armazenar o fluido até que seja succionado pela bomba;
- Auxiliar na dissipação do calor;
- Permitir o assentamento das impurezas insolúveis.

Como regra geral o reservatório deve conter de duas a três vezes a vazão da bomba, isto é, deve garantir o fornecimento de óleo para a bomba por mais dois a três minutos mesmo que ocorra o rompimento da tubulação de saída da mesma.

Os reservatórios podem ser:

Aberto: quando a pressão no interior do mesmo for igual a pressão atmosférica;

Pressurizado: quando a pressão no interior do mesmo for maior que a pressão atmosférica.

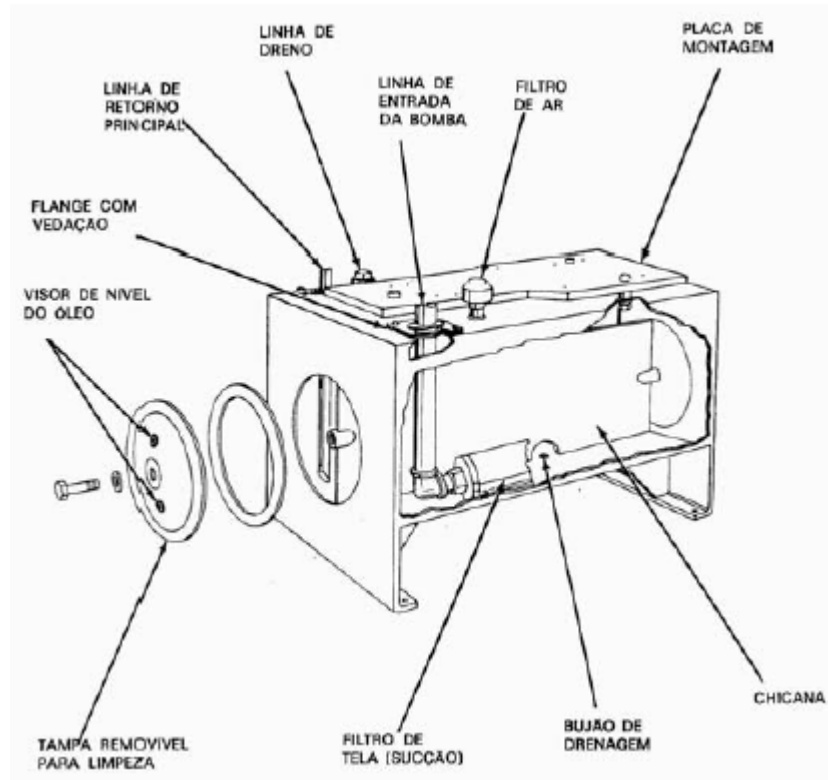


Figura 5.2: Reservatório de óleo

5.2. BOMBAS

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).

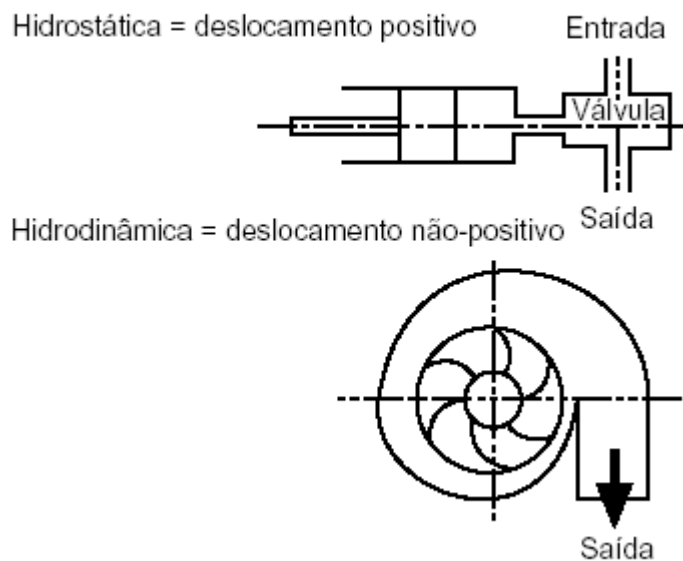


Figura 5.3: Tipos de bombas hidráulicas

5.2.1 BOMBAS HIDRODINÂMICAS (DESLOCAMENTO NÃO-POSITIVO)

Nestas bombas não existe vedação entre a entrada e a saída; um pequeno aumento da pressão reduz a vazão na saída. Exemplo: Bombas centrífugas que possuem fluxo radial. Existe também as que possuem fluxo axial, são constituídas por uma hélice rotativa.

São 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.

5.2.2. BOMBAS HIDROSTÁTICAS (DESLOCAMENTO POSITIVO)

São bombas cuja entrada e saída são isoladas entre si, evitando assim que a pressão da saída interfira na entrada.

Neste tipo de bomba a saída do fluido independe da pressão, com exceção de existência de perdas e vazamentos, por isso são as bombas mais apropriadas para transmitir força hidráulica em equipamento industrial, em maquinaria de construção, em aviação e demais aplicações. 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.

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 70kgf/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 engrenagens, de palhetas ou de pistões.

5.2.3. O PROBLEMA DA CAVITAÇÃO

Entende-se por cavitação a formação temporária de espaços vazios ou bolhas, devido a quedas de pressão no fluido, chegando a ponto de vaporização do próprio fluido.

No lado de sucção da bomba, as bolhas se formam por todo o líquido. Isso resulta num grau reduzido de lubrificação e num conseqüente aumento de desgaste.

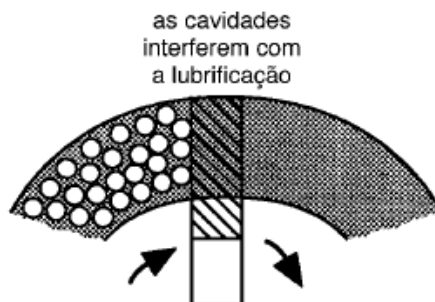


Figura 5.4: Cavitação do óleo

Conforme essas cavidades são expostas à alta pressão na saída da bomba, as paredes das cavidades se rompem e geram toneladas de força por centímetro quadrado. O desprendimento da energia gerada pelo colapso das cavidades desgasta as superfícies do metal.

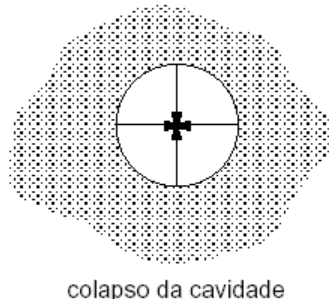


Figura 5.5: Colapso da cavitação do óleo

Se a cavitação continuar, a vida da bomba será bastante reduzida e os cavacos desta migrarão para as outras áreas do sistema, prejudicando os outros componentes.

A melhor indicação de que a cavitação está ocorrendo é o ruído. O colapso simultâneo das cavidades causa vibrações de alta amplitude, que são transmitidas por todo o sistema e provocam ruídos estridentes gerados na bomba. Durante a cavitação, ocorre também uma diminuição na taxa de fluxo da bomba, porque as câmaras da bomba não ficam completamente cheias de líquido e a pressão do sistema se desequilibra.

Quando há cavitação, as medidas a serem tomadas são:

- Verificar filtros e respiro do reservatório, se não estão entupidos.
- Verificar se a viscosidade é a recomenda pelo fabricante;
- Verificar se as dimensões das linhas estão corretas;
- Escorvar (preencher) a bomba com óleo no princípio do funcionamento;
- Se a pressão barométrica está conforme especificação do fabricante.

5.2.4. PROBLEMA DA AERAÇÃO

A aeração é a entrada de ar no sistema através da sucção da bomba. O ar retido é aquele que está presente no líquido, sem estar dissolvido no mesmo. O ar está em forma de bolhas. Se ocorrer de a bomba arrastar fluido com ar retido, as bolhas de ar terão, mais ou menos, o mesmo efeito da cavitação sobre a bomba. Contudo, como isso não está associado com a pressão de vapor, vamos nos referir a esta ação como sendo uma pseudocavitação.

Muitas vezes, o ar retido está presente no sistema devido a um vazamento na linha de sucção. Uma vez que a pressão do lado da sucção da bomba é menor que a pressão atmosférica. Qualquer abertura nesta região

resulta na sucção do ar externo para o fluido e conseqüentemente para a bomba. Qualquer bolha de ar retida que não puder escapar enquanto o fluido está no tanque irá certamente para a bomba. A aeração

5.3. VÁLVULAS

Válvulas são elementos destinados a controlar o fluxo de ar comprimido com a finalidade de se obter um determinado resultado. Observar atentamente as figuras seguintes onde são mostradas a simbologia e a forma interna de válvulas típicas.

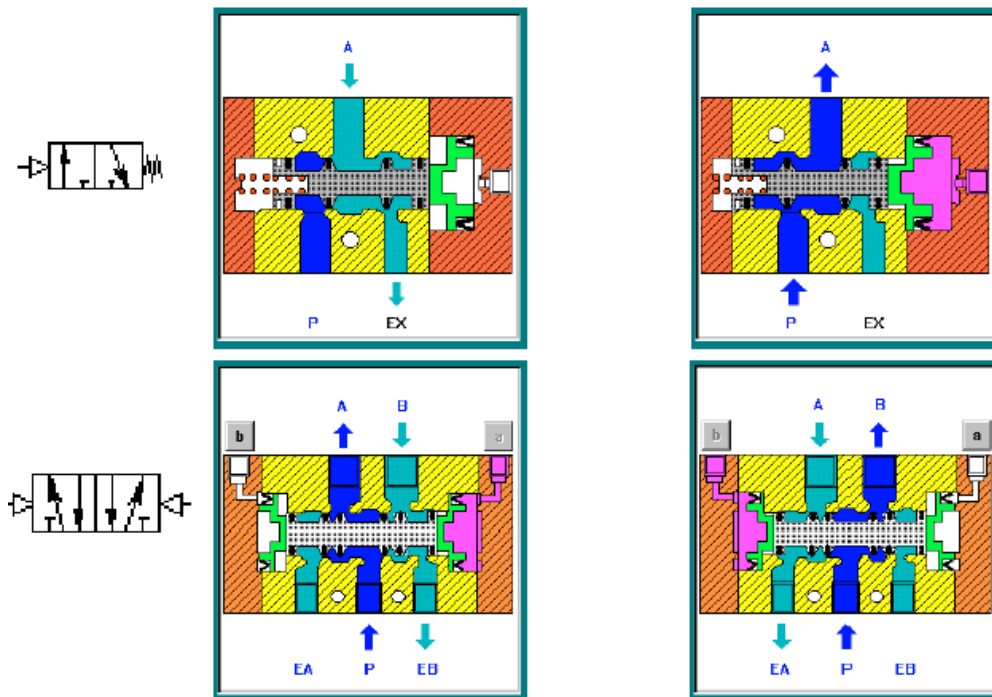
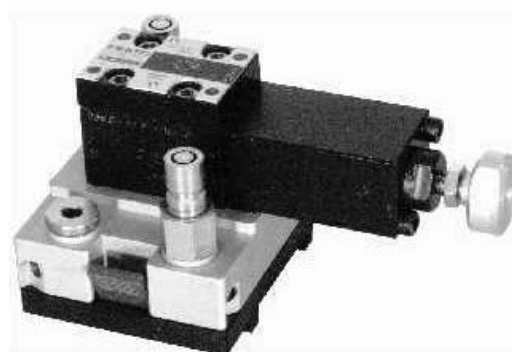


Figura 5.6: Esquemas de válvulas hidráulicas

Existem vários tipos de válvulas. As principais e mais utilizadas são:

5.3.1. VÁLVULAS LIMITADORAS DE PRESSÃO, DE ALÍVIO OU DE SEGURANÇA



SIMBOLOGIA

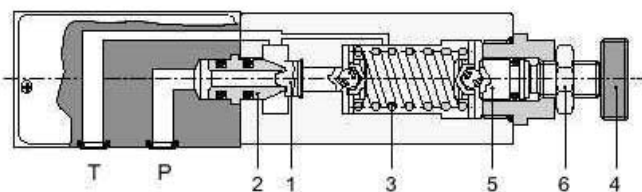
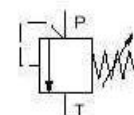


Figura 5.7: Válvula hidráulica e simbologia

A pressão máxima do circuito hidráulico pode se controlada com o uso de uma válvula limitadora de pressão normalmente fechada. Com a via primária da válvula conectada à pressão do sistema, e a via secundária conectada ao tanque, o carretel no corpo da válvula é acionado por um nível predeterminado de pressão, e neste ponto as vias primária e secundária são conectadas, e o fluxo é desviado para o tanque.

COMPONENTES DA VÁLVULA LIMITADORA DE PRESSÃO

1. Cone de vedação	2. Sede da válvula
3. Mola	4. Botão de ajuste
5. Encaixe do parafuso	6. Porca de trava

5.3.2. VÁLVULAS DE RETENÇÃO (OU DE BLOQUEIO)

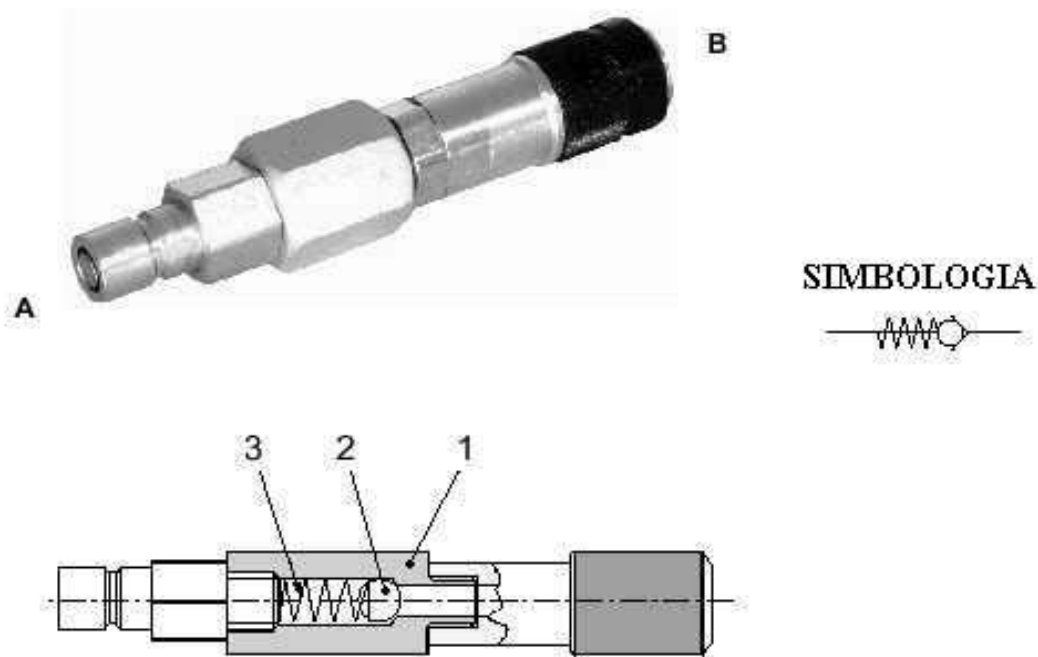


Figura 5.8: Válvula de retenção e simbologia

As válvulas de retenção são aparentemente pequenas quando comparadas aos outros componentes hidráulicos, mas elas são componentes que servem à funções importantes e muito variadas.

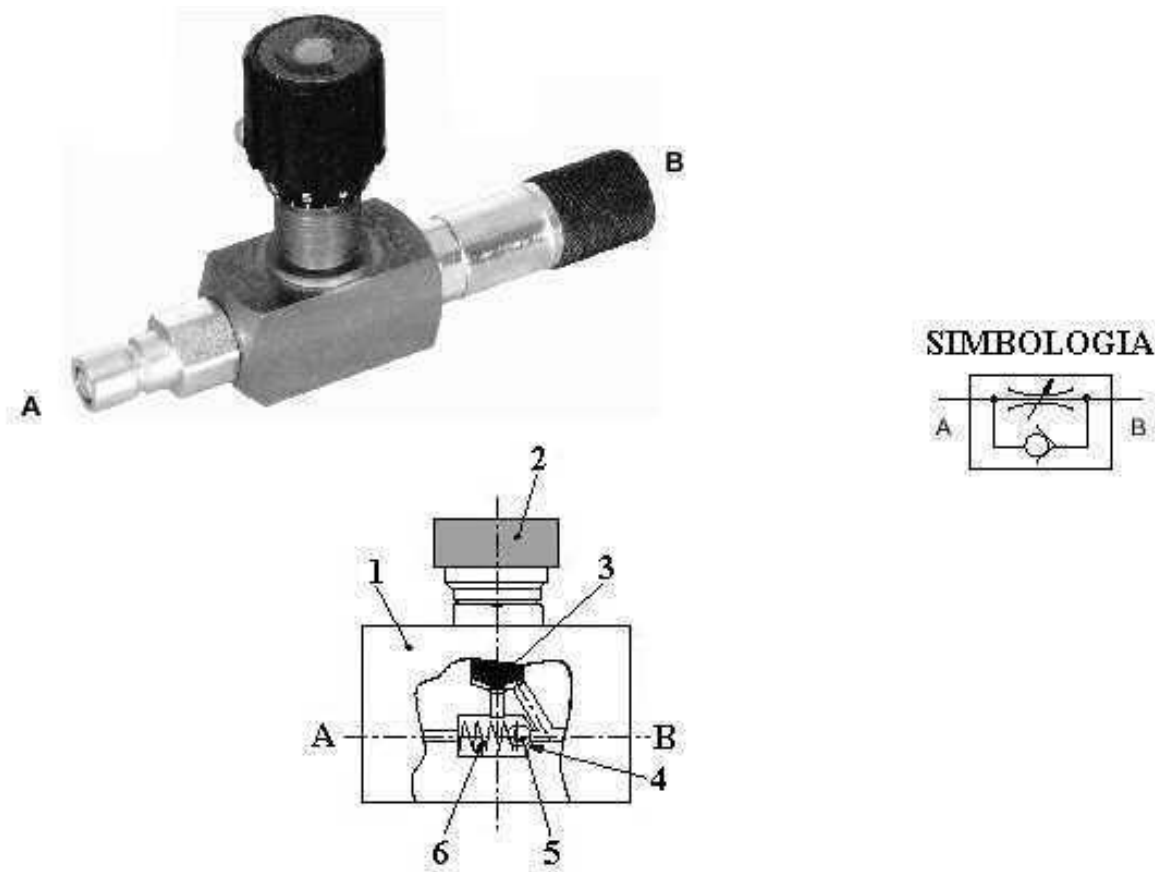
Uma válvula de retenção consiste basicamente de corpo da válvula, vias de entrada e saída e de um assento móvel que é preso por uma mola de pressão. Essa montagem faz com que o fluido atravesse a válvula em um sentido mas não no outro.

COMPONENTES DA VÁLVULA RETENÇÃO

Corpo da válvula	Esfera de vedação
Mola	A- Engate macho
B- Engate rápido (fêmea)	

5.3.3. VÁLVULAS DE CONTROLE DE FLUXO

A função da válvula controladora de fluxo é a de reduzir a vazão em uma linha do circuito. Ela desempenha a sua função por ser uma restrição maior que a normal do sistema. Para vencer a restrição é necessário uma pressão maior provocando o desvio do fluxo para outra parte do circuito, ou promovendo a abertura da válvula limitadora de pressão deslocando o fluxo para o reservatório. São utilizadas quando se deseja controlar a velocidade em determinados atuadores.



COMPONENTES DA VÁLVULA CONTROLADORA DE FLUXO

1. Corpo da válvula	2. Botão de ajuste
3. Válvula estranguladora	4. Sede da válvula
5. Esfera de vedação	6. Mola
A- União macho	B- Engate rápido(fêmea)

- VÁLVULAS DIRECIONAIS

Em sua grande maioria, os circuitos hidráulicos necessitam de meios para se controlar a direção e o sentido do fluxo de fluido. Através desse controle, pode-se obter movimentos desejados dos atuadores (cilindros, motores e osciladores hidráulicos, etc.), de tal forma que, seja possível se efetuar o trabalho exigido.

O processo mais utilizado para se controlar a direção e sentido do fluxo de fluido em um circuito, é a utilização de válvulas de controle direcional, comumente denominadas apenas de válvulas direcionais. Esses tipos de válvulas podem ser de múltiplas vias que, com o movimento rápido de um só elemento, controla a direção ou sentido de um ou mais fluxos diversos de fluido que vão ter à válvula.

IDENTIFICAÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE DIRECIONAL

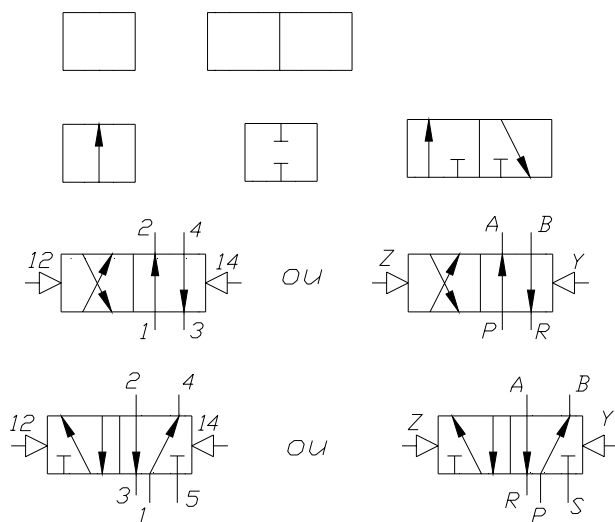
Para identificação da simbologia das válvulas direcionais (ISO – ABNT) deve-se considerar:

- Número de posições
- Número de vias
- Posição normal
- Tipo de Acionamento

Os quadrados da figura unidos representam o número de posições ou manobras distintas que uma válvula pode assumir. Deve-se saber que uma válvula direcional possui no mínimo dois quadrados, ou seja realiza pelo menos duas manobras.

O número de vias corresponde ao número de conexões úteis que uma válvula pode possuir, podem ser vias de passagem ou vias de bloqueio ou a combinação de ambas.

A posição normal de uma válvula de controle direcional é a posição em que se encontram os elementos internos quando a mesma não foi acionada, geralmente é mantida por força de uma mola.



VIAS	ISO 5599	ISO 1219
Pressão	1	P
Utilização	2,4,6	A,B,C
Escape	3,5,7	R,S,T
Pilotagem	12,14,16	X,Y,Z (E_A,E_B,E_C)

Figura 5.10: Nomenclatura das válvulas hidráulicas

TIPOS DE VÁLVULAS DIRECIONAIS

SIMBOLOGIA

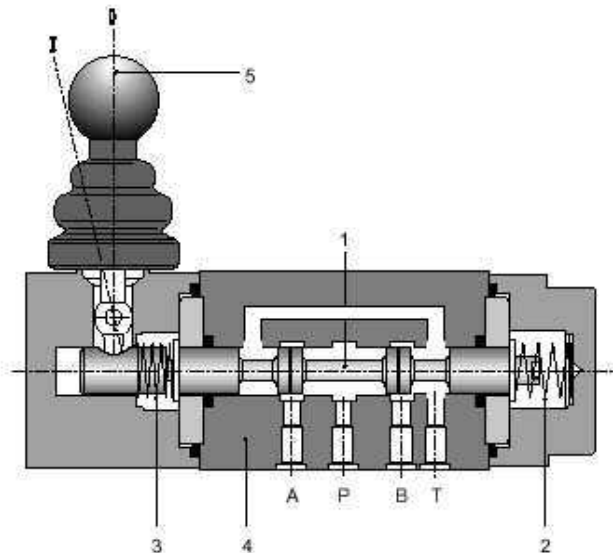
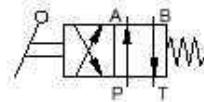


Figura 5.11: Válvula hidráulica direcional 4/2

Válvula direcional principal 4/2vias acionada por alavanca e retorno por mola

COMPONENTES DA VÁLVULA DIRECIONAL 4/2 VIAS

Carretel	Mola
Mola	Sede
Alavanca	P – Via de pressão
A – Via de utilização	B – Via de utilização
T – Via de retorno	

COMPONENTES DA VÁLVULA DIRECIONAL 4/3 VIAS, CENTRO ABERTO

1. Carretel	2. Sede
3. Mola	4. Mola
5. Alavanca	6. Mecanismo de encosto
P – Via de pressão	A – Via de utilização
B – Via de Utilização	T – Via de retorno



SIMBOLOGIA

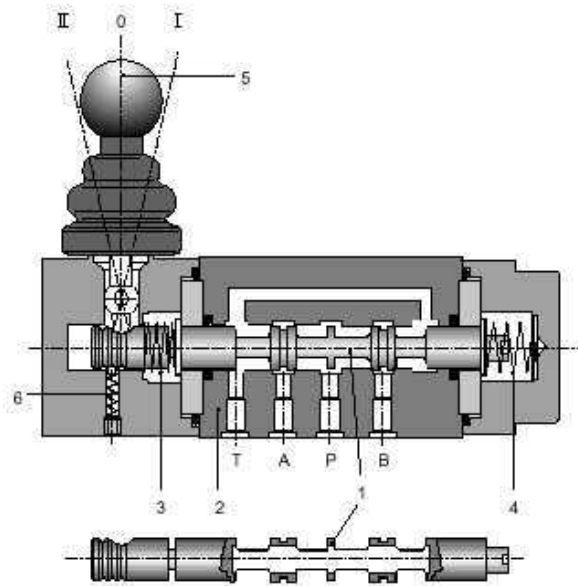
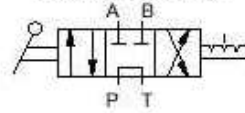


Figura 5.12: Válvula hidráulica direcional 4/3 – centro aberto

Válvula de controle direcional 4/3 vias, centro aberto, alavanca e centrada por mola



SIMBOLOGIA

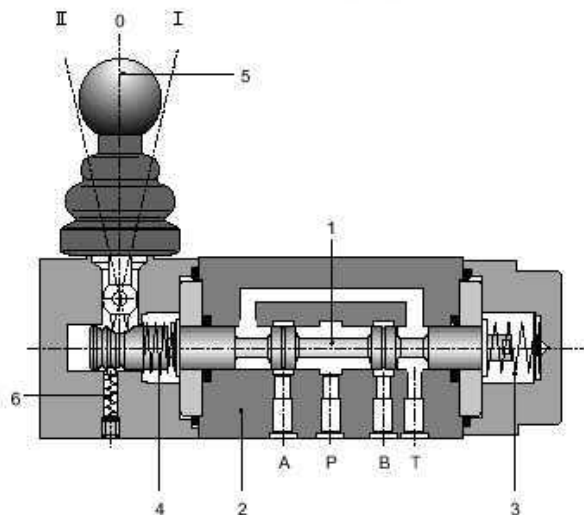
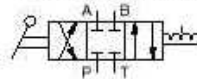


Figura 5.13: Válvula hidráulica direcional 4/3 – centro fechado

Válvula de controle direcional 4/3 vias, centro fechado, acionada por alavanca e centrada por mola

COMPONENTES DA VÁLVULA DIRECIONAL 4/3 VIAS, CENTRO FECHADO

Carretel	Sede
Mola	Mola
Alavanca	Mecanismo de encosto
P – Via de pressão	A – Via de utilização
B – Via de Utilização	T – Via de retorno

5.4 ATUADORES HIDRÁULICOS

5.4.1 ATUADORES LINEARES



SIMBOLOGIA

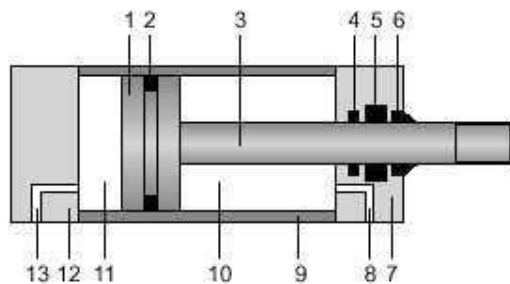
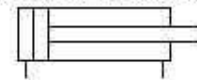


Figura 5.14: Atuador linear

Por se tratar de um atuador, a função básica de um cilindro hidráulico é transformar força, potência ou energia hidráulica em força, potência ou energia mecânica.

O cilindro hidráulico é composto de diversas partes. A figura define bem os diferentes elementos que, unidos, compõe esse equipamento.

COMPONENTES DO ATUADOR LINEAR

1. Êmbolo	2. Vedação do êmbolo
3. Haste	4. Guia da haste
5. Vedação da haste	6. Anel raspador
7. Flange dianteiro	8. Conexão

9. Cilindro	10. Câmara da haste
11. Câmara do êmbolo	12. Conexão
13. Entrada ou saída do óleo	14.

5.4.2. ATUADORES ROTATIVOS

A energia hidráulica fornecida para um motor hidráulico é convertida em mecânica sob a forma de torque e rotação.

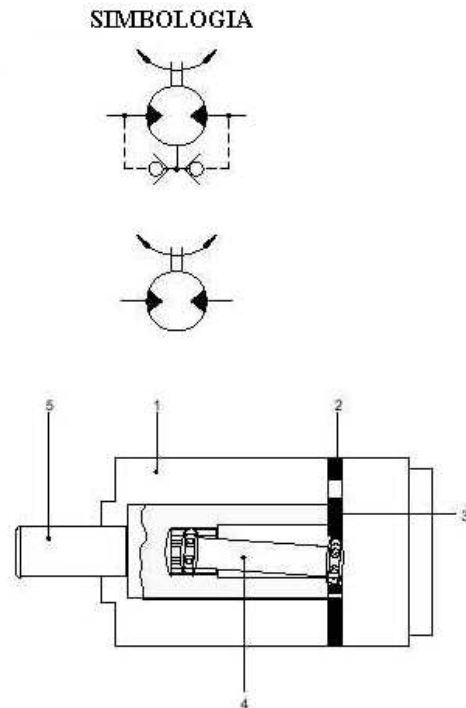
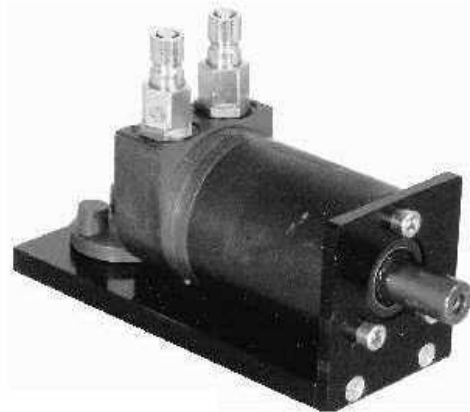


Figura 5.15: Atuador rotativo

COMPONENTES DO ATUADOR ROTATIVO

Sede com dutos de ligação	Engrenagem interna fixa
Engrenagem externa	União universal
Eixo de saída	

Construtivamente, o motor assemelha-se a uma bomba, excetuando-se, evidentemente, a aplicação que é inversa uma da outra. Existem casos, inclusive, em que o equipamento pode trabalhar ora como bomba, ora como motor hidráulico.

5.5. MANGUEIRAS E TUBULAÇÕES

Geralmente os sistemas hidráulicos utilizam mangueiras flexíveis como elementos para movimentação do fluido, isto devido ao fato das mangueiras absorverem vibrações e facilitarem a mudança de direção de transmissão da força. Existe uma grande quantidade de diferentes tipos de mangueiras, classificadas de acordo com a sua pressão máxima que suporta, diâmetro, etc. A seguir uma tabela de correias hidráulicas fabricadas pela Good Year.

SAE 100R5

GOOD YEAR SAE 100 R5 -4 3/16" WP 207 BAR 3002 PSI



DIÂMETRO INTERNO DIÁMETRO INTERNO NOM. ID			DIÂMETRO EXTERNO DIÁMETRO EXTERNO NOM. OD		PRESSÃO DE TRABALHO PRESIÓN DE TRABAJO WORK PRESSURE		PRESSÃO DE RUPTURA PRESIÓN DE RUPTURA BURST PRESSURE		PESO PESO WEIGHT		RAIO DE CURVATURA RADIO DE CURVATURA BEND RADIUS
Tamanho Tamaño Size	Pol Pulg Inch	mm	Pol Pulg Inch	mm	Bar	PSI	Bar	PSI	g/m	lb/ft	mm
					SAE	SAE	SAE	SAE			
-4	3/16"	4,8	0,52	13,2	207	3002	828	12006	263	177	76
-5	1/4"	6,4	0,58	14,8	207	3002	828	12006	296	199	86
-6	5/16"	7,9	0,68	17,2	155	2248	620	8990	363	244	102
-8	13/32"	10,3	0,77	19,5	138	2001	552	8004	408	274	117
-10	1/2"	12,7	0,92	23,4	121	1755	484	7018	567	381	140
-12	5/8"	15,9	1,08	27,4	103	1494	412	5974	698	469	165
-16	7/8"	22,2	1,24	31,4	55	798	220	3190	741	498	187
-20	1.1/8"	28,6	1,50	38,1	43	624	172	2494	975	655	229
-24	1.3/8"	34,9	1,75	44,5	34	493	136	1972	1134	762	267
-32	1.13/16"	46	2,22	56,4	24	348	96	1392	1351	908	337

CONSTRUÇÃO:

TUBO: Composto de borracha sintética preta, resistente a óleo e calor.

REFORÇO: Um trançado têxtil mais um trançado de arame de aço.

COBERTURA: Um trançado têxtil impregnado com um cimento que lhe dá resistência ao óleo, umidade, e ozônio.

TEMPERATURA: -40°C a +100°C / -40°F a +212°F.

CONSTRUCCIÓN:

TUBO: Compuesto de goma sintética negra resistente al aceite y al calor.

REFUERZO: Un trenzado textil más un trenzado de alambre de acero.

CUBIERTA: Un trenzado textil impregnado con un cemento que le da resistencia al aceite a la humedad y al ozono.

TEMPERATURA: -40°C a +100°C / -40°F a +212°F.

CONSTRUCTIONS:

TUBE: Synthetic black rubber resistant to oil and heat.

REINFORCEMENT: One braided synthetic yarn, braided steel wire.

COVER: Black impregnated textile braid, oil, mildew and ozone resistant.

TEMPERATURE: -40°C to +100° / -40°F to +212°F.

Figura 5.16: Especificações técnicas de mangueiras hidráulicas

ANEXO: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE MATERIAIS HIDRÁULICOS

Industrial
Hydraulics

Electric Drives
and Controls

Linear Motion and
Assembly Technologies

Pneumatics

Service
Automation

Mobile
Hydraulics

Rexroth
Bosch Group

RP 18 037-10.01D/05.02

substitui: 11.00

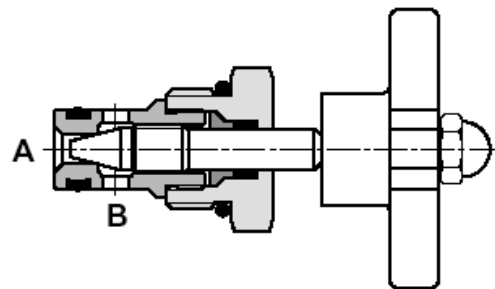
Válvula Estranguladora de Vazão

Tipo RC1F8

Tamanho Nominal 8

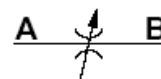
Características

- A válvula é uma estranguladora ajustável não compensada. A válvula também poderá ser utilizada como registro. O ajuste é válido para vazões de A para B e de B para A
- Vazão: 26 L/min (7GPM)
- Pressão de operação máxima 210 bar (3000 PSI)
- Dreno da válvula à 80% da pressão de operação: aproximadamente 0,5 cm³/min
- A válvula cartucho consiste em aço com sede usinada com precisão, componentes temperados. Eles garantem função segura e alta durabilidade.
- Carcaça de liga de alumínio de alta resistência para máxima flexibilidade.
- Vedações NBR são padrão. Vedações FKM são opcionais (outras vedações sob consulta).
- A válvula foi projetada para os fluidos normais MIL-H-5606, SAE 10 e óleo mineral (HL, HLP) conforme DIN 51 524.
- Peso da válvula cartucho: 0,07 kg
- Peso da carcaça: 0,17 kg



Tipo: RC1F8K10

- Válvula cartucho para o alojamento RC8-2 (vide página 2)
- Faixa de temperatura do fluido : - 40 até + 100 °C
- Faixa de viscosidade: 11 até 431 mm²/s
- Grau máximo de contaminação permitido do fluido conforme NAS 1638 classe 9. Para isto recomendamos um filtro com grau mínimo de retenção $\beta_{10} \geq 100$.



Dados para pedido

	RC	1	F	8		M	10		*	
Execução	Entrada em A ou B (até 26L/min) =1									outras indicações em texto complementar
Valvula Estranguladora de vazão	=F									Tipo de vedação (NBR) para óleo mineral (FKM) para Éster-fosfato
Tamanho Nominal	=8									Série (Série 10 até 19; medidas de conexão e montagem inalteradas)
Valvula tipo cartucho, rosca 3/4-16UNF-2A	= K									Manopla
Valvula com carcaça, roscas G1/4	=GA									
Valvula com carcaça, roscas G3/8	=GB									
	M=									10=

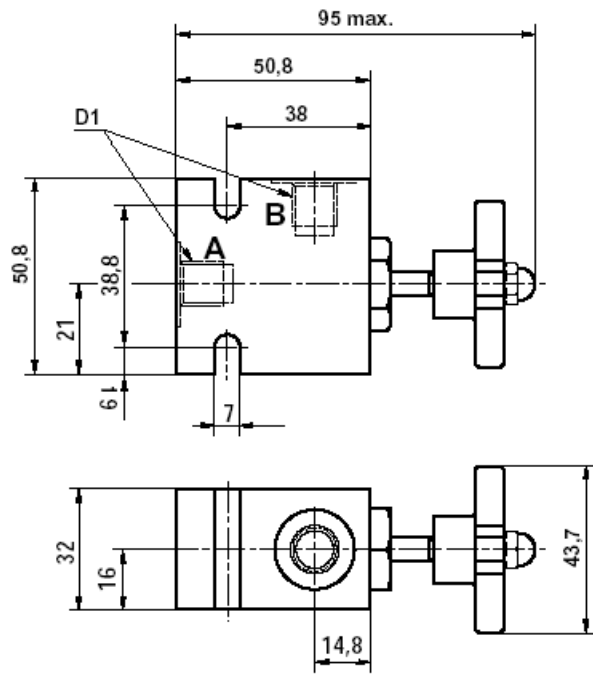
RC1F8

1/2

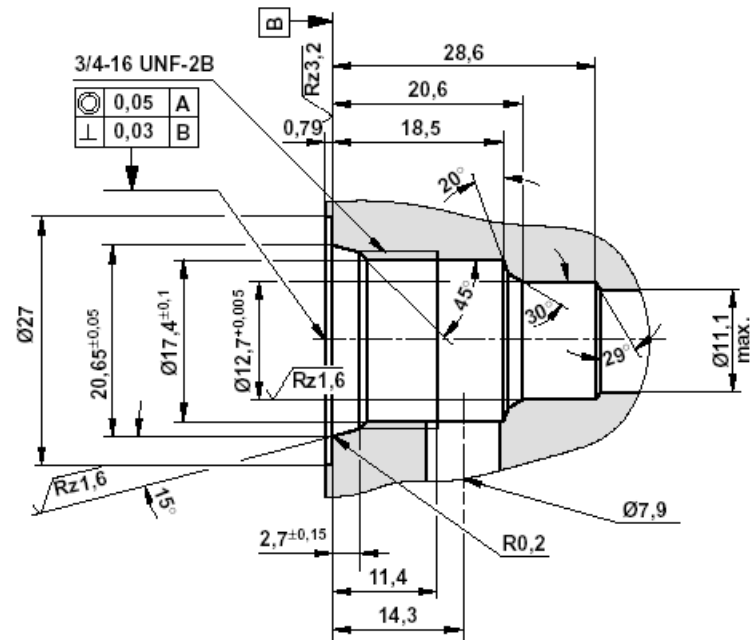
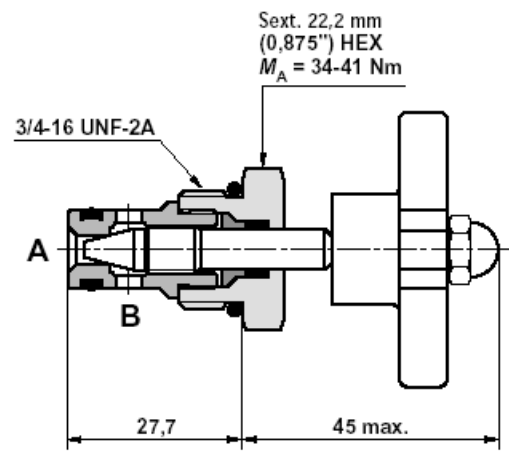
RP 18 037-10.01D/05.02

Curvas Características (medidas à $v = 41 \text{ mm}^2/\text{s}$; $\vartheta = 50^\circ\text{C}$)





D1 = G1/4 = GA
G3/8 = GB



RP 91 401/09.00

substitui: 01.97

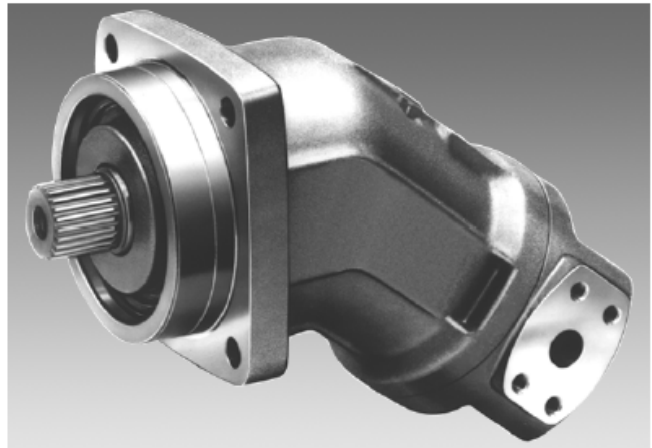
**Bomba Constante
de Pistões Axiais A2FO**
para circuito aberto

Tamanhos 5...1000 cm³

Série 6

Pressão nominal até 400 bar

Pressão de pico até 450 bar



A2FO

Dados técnicos

Tabela de valores (valores teóricos, sem considerar η_{mh} e η_{lv} ; valores arredondados)

Tamanho Nominal	TN		5	10	12	16	23	28	32	45	56	63	80
Volume de deslocamento	V_n	cm ³	4,93	10,3	12,0	16,0	22,9	28,1	32	45,6	56,1	63	80,4
Rotação máxima ¹⁾	n_{max}	rpm	5600	3150	3150	3150	2500	2500	2500	2240	2000	2000	1800
Rotação máxima permitida no aumento da pressão de entrada p_{abs}	$n_{max\ permit.}$	rpm	8000	6000	6000	6000	4750	4750	4750	4250	3750	3750	3350
Vazão máx. permitida com n_{max} ²⁾	$q_{v/max}$	L/min	27	32	37	49	56	68	78	99	109	122	140
Potência máxima com $q_{v/max}$	$\Delta p = 350\ bar$	P_{max}	14,5 ³⁾	19	22	29	33	41	47	60	65	74	84
		P_{max}	–	22	25	34	38	47	53	68	75	84	96
Constante de torque	T_k	Nm/bar	0,076	0,164	0,19	0,25	0,36	0,445	0,509	0,725	0,89	1,0	1,27
Torque permitido	$\Delta p = 350\ bar$	T	24,7 ³⁾	57	67	88	126	156	178	254	312	350	445
		T	–	65	76	100	144	178	204	290	356	400	508
Volume de preenchimento	L			0,17	0,17	0,17	0,20	0,20	0,20	0,33	0,45	0,45	0,55
Momento de inércia de massa sobre eixo de acionamento	J	kgm ²	0,00008	0,0004	0,0004	0,0004	0,0012	0,0012	0,0012	0,0024	0,0042	0,0042	0,00
Massa (aprox.)	m	kg	2,5	5,4	5,4	5,4	9,5	9,5	9,5	13,5	18	18	23

Tamanho Nominal	TN		90	107	1 25	160	180	200	250	355	500	710	1000
Volume de deslocamento	V_n	cm ³	90	106,7	125	160,4	180	200	250	355	500	710	1000
Rotação máxima ¹⁾	n_{max}	rpm	1800	1600	1600	1450	1450	1550	1500	1320	1200	1200	950
Rotação máxima permitida no aumento da pressão de entrada p_{abs}	$n_{max\ perm.}$	rpm	3350	3000	3000	2650	2650	2750	1800	1600	1500	1500	1200
Vazão máx. permitida com n_{max} ²⁾	$q_{v/max}$	L/min	158	167	196	228	255	304	364	455	582	826	922
Potência máxima com $q_{v/max}$	$\Delta p = 350\ bar$	P_{max}	95	100	117	135	152	181	219	273	350	497	554
		P_{max}	108	114	133	155	174	207	–	–	–	–	–
Constante de torque	T_k	Nm/bar	1,43	1,70	1,99	2,55	2,86	3,18	3,99	5,65	7,96	11,3	15,9
Torque permitido	$\Delta p = 350\ bar$	T	501	595	697	889	1001	1114	1393	1978	2785	3955	5570
		T	572	680	796	1016	1144	1272	–	–	–	–	–
Volume de preenchimento	L		0,55	0,8	0,8	1,1	1,1		2,5	3,5			7,8
Momento de inércia de massa sobre eixo de acionamento	J	kgm ²	0,0072	0,0116	0,0116	0,0220	0,0220	0,0378	0,061	0,102	0,178	0,55	0,55
Massa (aprox.)	m	kg	23	32	32	45	45	66	73	110	155	322	336

¹⁾ Os valores são válidos (p_{abs}) de 1 bar na conexão de sucção S e operação com óleo mineral.

Através do aumento da pressão na entrada ($p_{abs} > 1\ bar$), as rotações poderão ser maiores que as rotações máx. admissíveis.

²⁾ Considerada perda de volume de 3% ³⁾ $\Delta p = 315\ bar$

BIBLIOGRAFIA:

CHRISPIN, MARCELO R., **Apostila pneumática, eletropneumática e hidráulica geral**, 1 Ed. Organização Einsten, 2002

DRAPINSK, J., **Hidráulica e pneumática industrial e móvel**, São Paulo, SP, MacGraw Hill do Brasil, 1977, 287p.

FIALHO, Arivelto Bustamente, **Automação hidráulica – Projetos, dimensionamento e análise de circuitos**, 5ª Ed., Ed. Erica, 2007

GOOD YEAR, **Catálogo técnico de mangueiras hidráulicas**

PALMIERI, A.C., **Manual de hidráulica básica**, Albarus,

PARKER HANNIFIN CO., **Tecnologia hidráulica industrial**, Centro Didático de Automação Parker Hannifin – Divisão Schrader Bellows

PARKER HANNIFIN CO., **Tecnologia pneumática industrial**, Centro Didático de Automação Parker Hannifin – Divisão Schrader Bellows

PARKER HANNIFIN CO., **Tecnologia eletropneumática industrial**, Centro Didático de Automação Parker Hannifin – Divisão Schrader Bellows

REXROTH, **Treinamento hidráulico – curso thr**, Rexroth Hidráulica Ltda, 1985

SENAI FLORIANÓPOLIS, **Hidráulica e técnicas de comando**, Florianópolis, 2004

ZIMMERMANN, Marco Aurélio, **Sistema especialista protótipo para auxílio na seleção de bombas hidrostáticas**; UFSC, 2003; Florianópolis