

2299650

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

Trabalho de Formatura

Compressores - tipos e aplicações em sistemas hidropneumáticos

Mauro Kakizaki

Orientador: Prof. José Carlos Lisboa

1981

FICHA CATALOGRÁFICA

621.51 Kakizaki, Mauro

K123c Compressores, tipos e aplicações em sistemas hi-
dropneumáticos; orientador Prof. José Carlos Lisboa.

São Paulo, EPUSP, 1981.

59 p. illus. graf. 32 cm.

Bibliografia: p. IV.1

Compressores 621.51

t

Agradecimentos

Ao Prof. José Carlos Lisboa, pelas sugestões para a realização do trabalho.

A minha família e a todos que sempre me incentivaram.

O trabalho, embora tratando-se de uma aplicação específica de / compressores apresenta também em linhas gerais, a parte referente / aos reservatórios e distribuição do ar comprimido. Isto porque na / ocasião da seleção do compressor é necessário considerar todos estes fatores, pois os mesmos influenciarão na capacidade do compressor, / ou melhor, na capacidade que o compressor deverá fornecer.

Inicialmente apresentou-se as características de cada tipo de compressor mais utilizado, a regulagem de sua capacidade, os siste-/ mas de refrigeração, os fatores para a determinação do volume do re-/ servatório, os condutos para a distribuição do ar comprimido, a pre-/ paração do ar comprimido que é de real importância para o bom funcio-/ namento do sistema e a simbologia utilizada em alguns esquemas. Esta simbologia é normalizada e segue a norma DIN 24.300.

Na segunda parte foram apresentadas os diversos tipos de siste-/ mas hidropneumáticos considerados de maior importância, embora a com-/ binação da pneumática com a hidráulica possa oferecer uma solução / específica para cada caso.

É importante notar que os sistemas hidropneumáticos são circui-/ tos pneumáticos que utilizam a hidráulica como meio auxiliar nos / seus elementos de trabalho, principalmente os pistões tanto de sim-/ ples efeito quanto os de duplo efeito.

ÍNDICE

=====

Sumário.....	iv
I. Compressores.....	1
1. Introdução.....	1
2. Classificação dos compressores.....	2
3. Regulagem dos compressores.....	11
4. Refrigeração.....	16
5. Reservatório de ar comprimido.....	17
6. Distribuição de ar comprimido.....	18
7. Preparação do ar comprimido.....	24
8. Simbologia para representação de elementos e equipamentos pneumáticos.....	36
II. Sistemas Hidropneumáticos.....	1
1. Introdução.....	1
2. Conversor do meio de pressão.....	1
3. Variador de pressão (intensificador).....	2
4. Unidade de avanço hidropneumática.....	4
5. Unidade de avanço hidropneumática (movimento rotativo)...	7
6. Unidade de avanço com comando para remoção de aparas.....	7
7. Elementos sensores.....	8
III. Conclusão.....	1
IV. Bibliografia.....	IV.1

I. COMPRESSORES

=====

1. INTRODUÇÃO

Os compressores de ar desenvolveram-se nas últimas décadas, / principalmente em decorrência da larga utilização dos mesmos. O ar comprimido como meio auxiliar de trabalho é empregado há muitos séculos, mas a sua utilização generalizada nas indústrias começou com a necessidade, cada vez maior, de automatização e racionalização dos processos industriais.

Durante muitos anos os compressores utilizados eram na maioria os de pistão. Atualmente os compressores de palhetas e os compressores de hélices atingiram um grau de desenvolvimento capaz de competir com os tradicionais compressores de pistão, e ocupam uma posição relevante no mercado.

O ar comprimido, produzido pelos compressores apresenta importantes características:

- quantidade: o ar, para ser comprimido, é encontrado abundantemente em todos os lugares;
- armazenável: o ar pode ser armazenado em um reservatório e ser utilizado posteriormente, não sendo necessário um funcionamento ininterrupto do compressor;
- transportável: o ar comprimido é facilmente transportável através/ de tubulações, mesmo em distâncias consideráveis, além da possibilidade de transporte em botijões;
- segurança: em casos de vazamento não existe o perigo de incêndios/ ou explosões;
- limpeza: o ar comprimido não é nocivo. Mesmo havendo vazamento / eventual de ar das tubulações, juntas ou outros elementos, não há perigo de contaminação do ambiente;

- construção: os elementos de trabalho, além dos compressores, são de construção relativamente simples, com utilização de matéria-prima disponível normalmente, não elevando assim demasiadamente o custo;
- velocidade: pode-se conseguir velocidades bastante elevadas (1 - 2 m/s) com a utilização do ar comprimido;
- regulagem: as velocidades e forças dos mecanismos a ar comprimido/ permitem o controle dos mesmos numa escala contínua.

Ao lado das vantagens citadas acima, o ar comprimido apresenta alguns pontos desfavoráveis, tais como:

- preparação: as impurezas e umidade devem ser eliminadas para reduzir o desgaste dos elementos pneumáticos;
- movimento uniforme: é difícil manter a velocidade do pistão constante e uniforme, principalmente em baixas velocidades;
- forças: o limite fixado está entre 2.000 e 3.000 kp, em aplicação/ direta a 7 bar, para uma faixa econômica de trabalho;
- descarga: a descarga de ar comprimido é ruidosa, necessitando a / utilização de silenciadores.

Assim, a utilização do ar comprimido é bastante positiva, pois os pontos negativos podem ser contornados. Sua utilização está concentrada principalmente nos trabalhos repetitivos e monótonos se realizados pelo homem, e também nas atividades em que há um certo risco.

2. Classificação dos Compressores

Em função da pressão de trabalho e do volume requerido empregam-se compressores de diversos tipos de construção. Nos compressores volumétricos há aumento de pressão por redução de volume, e nos turbo-compressores eleva-se a velocidade do gás e transforma-se essa

velocidade em pressão.

Pode-se classificar os compressores da seguinte forma:

- . compressor de êmbolo - curso linear
 - compressor de pistão (êmbolo)
 - compressor de membrana
- . compressor rotativo
 - compressor multicelular de palhetas
 - compressor de pêndulo
 - compressor de anel líquido
 - compressor roots
- . turbo-compressor
 - turbo-compressor radial
 - turbo-compressor axial

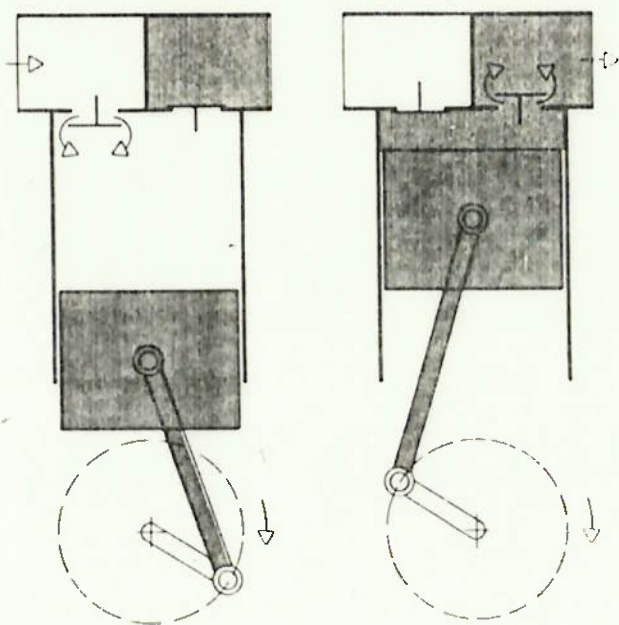
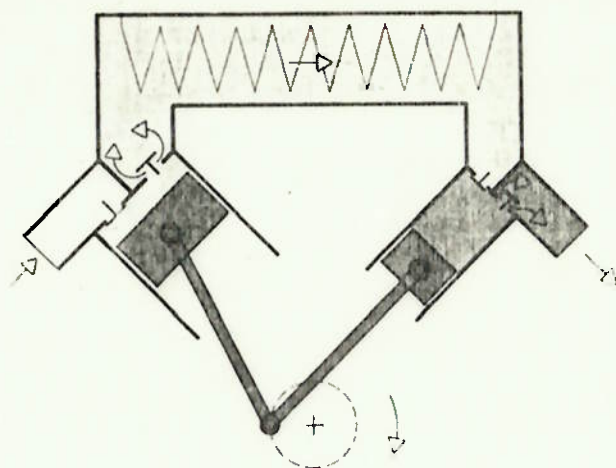
a. compressor de êmbolo

a.1. compressor de pistão

É um dos compressores mais utilizados, ainda, para pressões baixas, médias e altas.

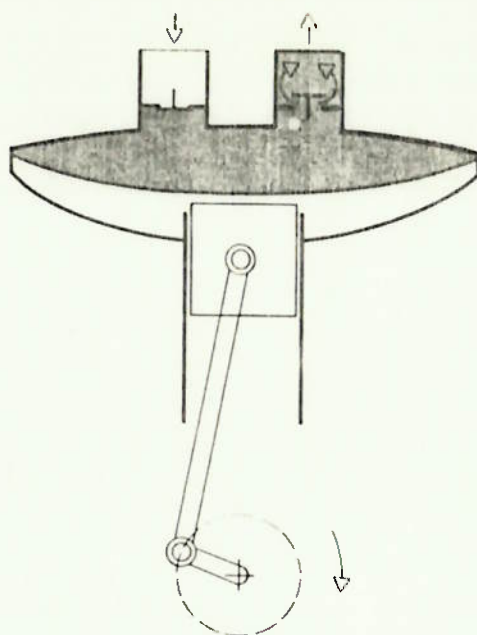
Para a compressão a pressões elevadas, os compressores possuem vários estágios. O ar aspirado é comprimido pelo primeiro pistão, / resfriado intermediariamente e comprimido novamente pelo segundo pistão, resfriado e comprimido pelo terceiro, e assim sucessivamente. O número de estágios é função da pressão que se deseja obter, e numa / faixa econômica de trabalho temos: até 4 bar, um estágio; até 15 bar dois estágios; acima de 15 bar, três estágios ou mais.

Compressor de dois estágios com refrigeração intermediária.



-a.2. compressor de diafragma (membrana)

Também pertence ao grupo dos compressores de êmbolo. Uma membrana separa o pistão da câmara de sucção e compressão, evitando assim a contaminação do ar com óleo lubrificante. Estes compressores são os mais empregados na indústria alimentícia, química e farmacêutica.



b. compressor rotativo

Estes compressores podem realizar a compressão de duas formas:

- compressão progressiva

O ar contido num espaço fechado é comprimido gradualmente com a diminuição do volume. O seu ciclo de funcionamento é semelhante ao de um compressor de êmbolo e seu rendimento isotérmico é da mesma ordem de grandeza.

- compressão instantânea

O ar contido num recipiente de baixa pressão é transportado / para outro de alta pressão abrupta e instantaneamente. O seu ciclo é diferente do ciclo do compressor de êmbolo, e seu rendimento isotérmico é menor do que nos compressores de êmbolo.

Os compressores rotativos volumétricos são usados principalmente como:

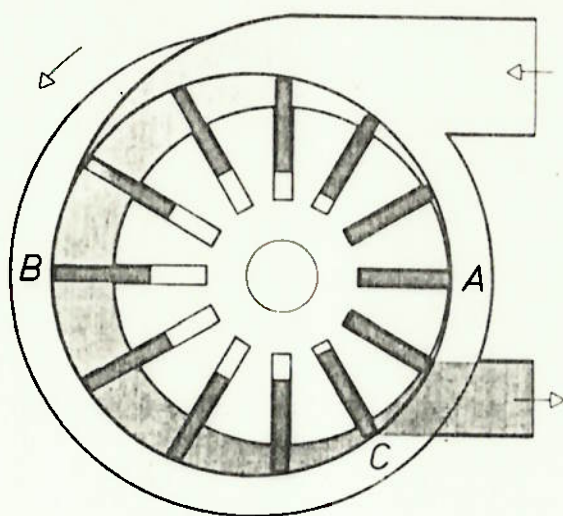
. soprantes, para pressão efetiva de 0,5 a 1,0 kp/cm^2 , caso em que os compressores de êmbolo resultariam em máquinas muito grandes;

. bomba de vácuo, pois devido ao espaço nócivo praticamente nulo permitem obter facilmente um vácuo elevado.

b.1. compressor rotativo multicelular

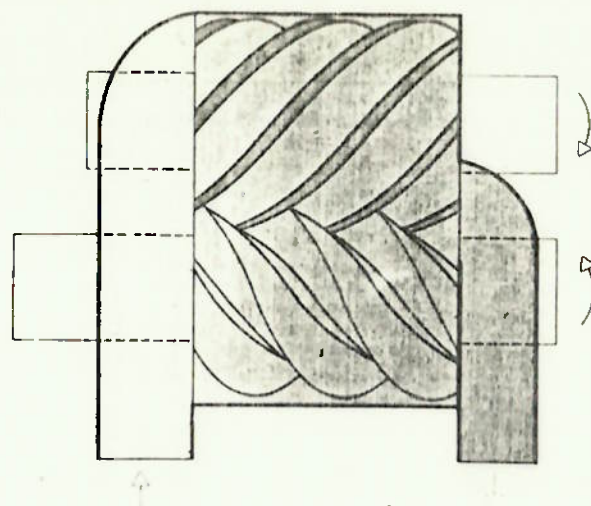
O rotor excêntrico, ao girar em torno do seu eixo, joga as palhetas contra as paredes do estator, por força centrífuga. O volume do compartimento compreendido entre 2 palhetas consecutivas varia / desde zero nas proximidades do ponto A até o máximo no ponto B. A / partir do ponto B, esse volume decresce até atingir o mínimo em C, / quando entra em comunicação com a descarga.

As vantagens destes compressores estão na sua construção compacta e seu funcionamento com fornecimento contínuo e uniforme de ar, / livre de pulsações.



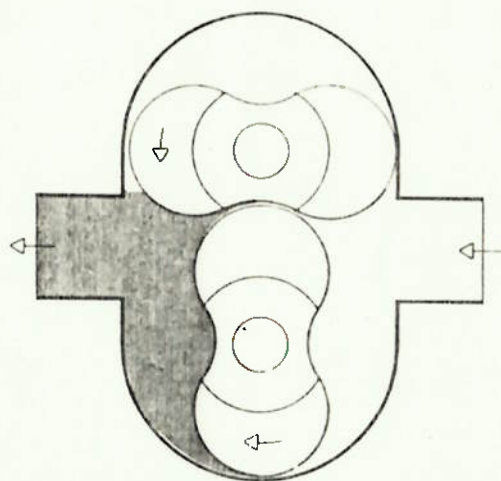
b.2. compressor de parafusos

A carcaça do compressor aloja 2 rotores helicoidais de precisão. Um dos rotores impulsiona o outro, mas nenhum deles toca a carcaça. / O rotor macho tem um número de dentes menor que o número de reentrâncias do rotor fêmea, que gira portanto com uma velocidade angular menor que o rotor macho. A compressão é realizada pelos espaços entre / os lóbulos e as reentrâncias.



b.3. compressor root

Nestes compressores usa-se dois jogos diferentes de engrenagens um que faz a transmissão de movimento com pinhões de perfil normal, / com número normal de dentes e outro que desloca o ar, constituído de 2 ou 3 dentes. O volume deslocado por volta é igual a quatro vezes o volume compreendido entre os dois dentes e a carcaga. Sua principal / aplicação está nos casos em que a pressão é baixa, ou quando se dese_ ja um compressor robusto.



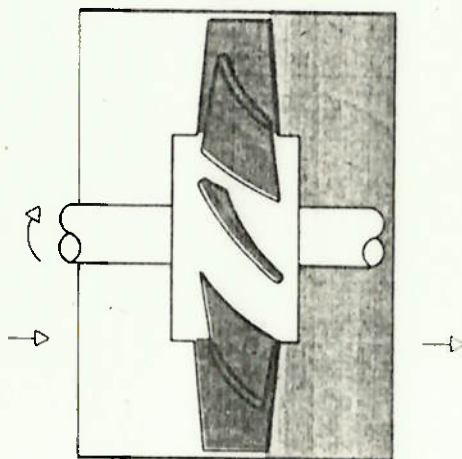
c. turbo-compressores

São indicados para grandes capacidades e podem trabalhar com rotação elevada, reduzindo assim o seu tamanho.

Através de rotores com pás radiais ou diagonais ou axiais o gás é acelerado, havendo transformação da energia de escoamento (ganha / no rotor, em energia de pressão. São chamados também de compressores dinâmicos.

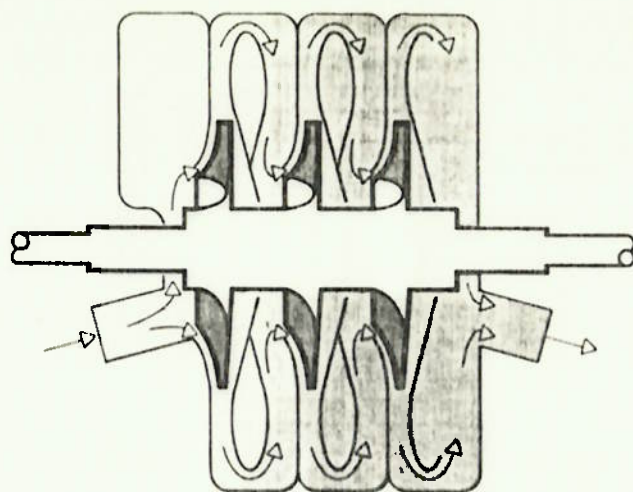
Os compressores axiais têm grande aplicação como compressores / de ar de instalações motoras de turbina a gás.

c.1. compressor dinâmico axial



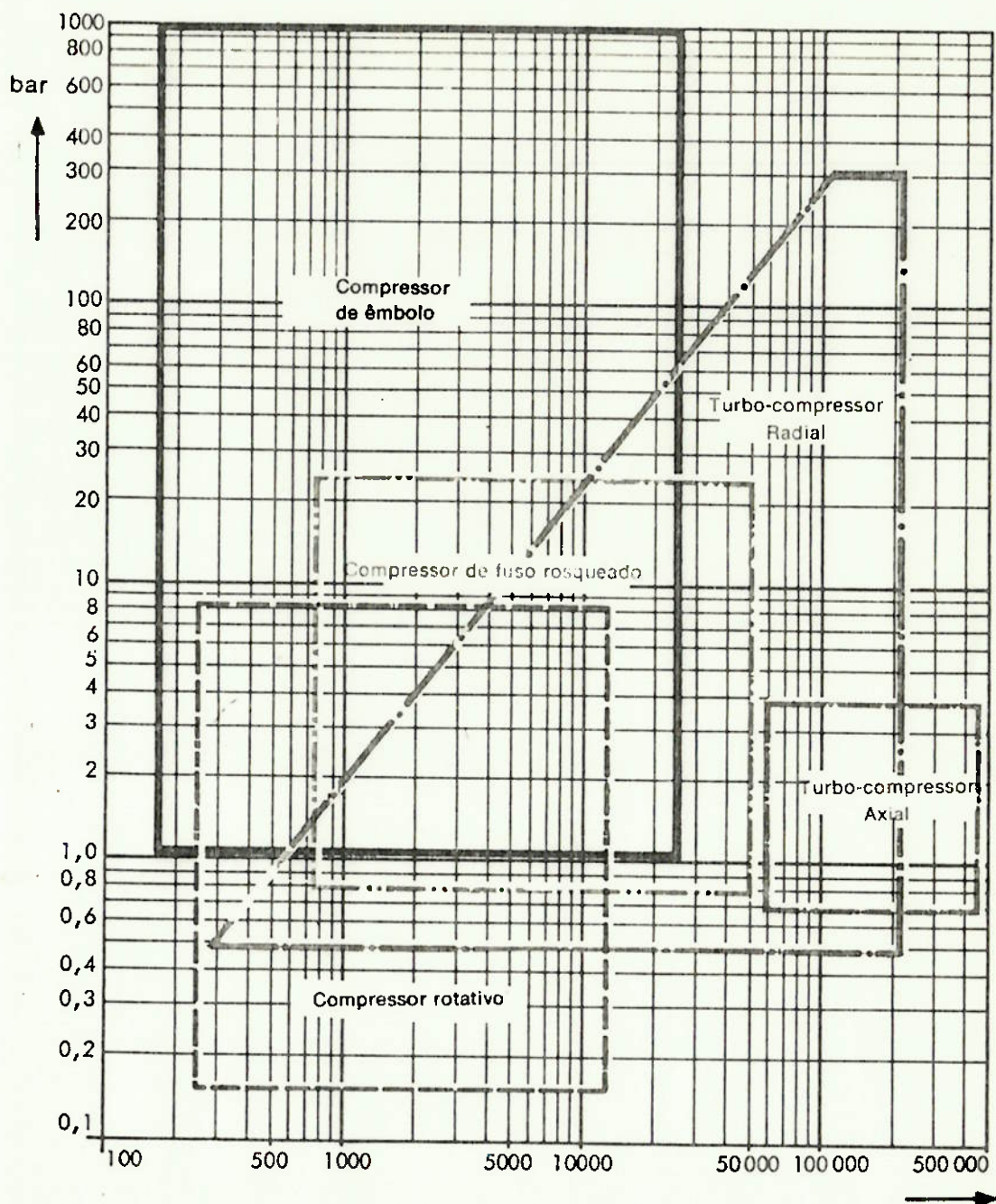
c.2. compressor dinâmico radial

A compressão, neste tipo de compressor, se processa pela aceleração do ar aspirado pela passagem sucessiva pelas câmaras. O ar é impelido axialmente para as paredes da câmara e posteriormente em direção ao eixo e daí no sentido radial para outra câmara, e assim sucessivamente.



Os diversos tipos de compressores fornecem uma determinada pressão " de trabalho e uma determinada vazão de ar. O diagrama da página se-/ guinte apresenta os diversos tipos de compressores, suas pressões de trabalho e as vazões de ar possíveis, dentro de um regime econômico.

Diagrama vazão (m^3/h) x pressão ($\text{bar} = 1,02 \text{ kp}/\text{cm}^2$) - O diagrama /
apresenta as faixas de utilização dos diversos tipos de compressores.



3. Regulagem dos Compressores

Para combinar o volume fornecido com o consumo de ar é necessária uma regulagem dos compressores. Dois valores limites pré-estabelecidos (pressão máxima/mínima), influenciam este volume fornecido.

Normalmente instala-se uma capacidade de compressor suficiente para atender a demanda média e uma margem de excedente para futuras/ extensões do sistema e também para atender os picos de demanda. Por isso se faz necessário um sistema de controle para conciliar a saída do compressor com o consumo. O fornecimento do compressor, na prática, é controlado pelas variações de pressão na saída ou no reservatório de ar. A precisão de controle pode ser tão boa quanto o permitir o dispositivo sensor de pressão (manômetro), embora em instalações / industriais normais, freqüentemente se tolerem variações razoavelmente grandes de pressão.

Para tanto existem vários métodos de regulagem:

- . regulagem de marcha em vazio
 - regulagem por descarga
 - regulagem por fechamento
 - regulagem por garras
- . regulagem de carga parcial
 - regulagem na rotação
 - regulagem por estrangulamento
- . regulagem intermitente

a. regulagem de marcha em vazio

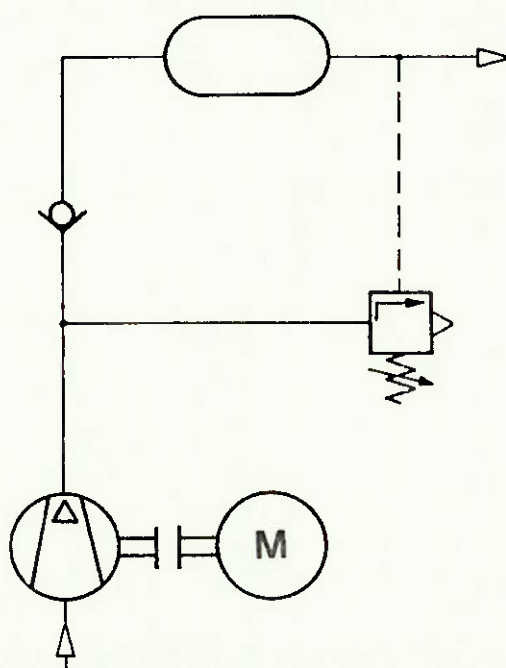
Para facilitar a partida, os compressores a pistão são equipados com um dispositivo de descarga que impede o fechamento da válvula de sucção e parando assim seu funcionamento, até que esteja na / velocidade normal. Usa-se esse dispositivo para ajustar o fornecimento

to do compressor à demanda e de fato é quase uma necessidade em compressores acionados por motor a explosão, onde o motor não pode ser/desligado.

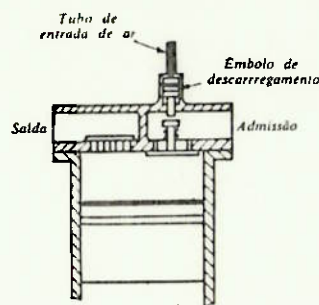
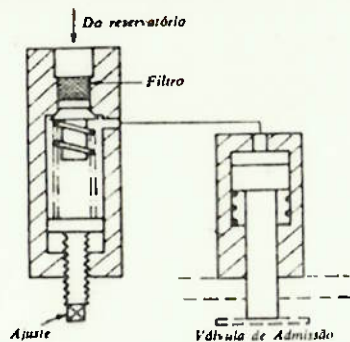
O descarregador é acionado por pressão. É ligada ao reservatório uma válvula com uma mola que se abre quando a pressão atinge o valor para o qual foi ajustada. Há então um fluxo de ar para o pistão do descarregador, que levanta a válvula de admissão deslocando-a de sua sede. O ar no cilindro, em vez de ser comprimido é enviado de volta através da válvula. Se a pressão diminuir, a válvula do descarregador se fecha e o ar no descarregador é eliminado para o exterior.

É muito importante que não haja penetração de impurezas na válvula, assim, é essencial um filtro eficiente, que pode ser feito de feltro ou metal poroso.

Em compressores acionados por eletricidade, o descarregador é / controlado por uma válvula de três vias a solenóide, ligada à chave/ de partida do motor. Essa válvula admite ar do reservatório para um êmbolo que trava a válvula de admissão.

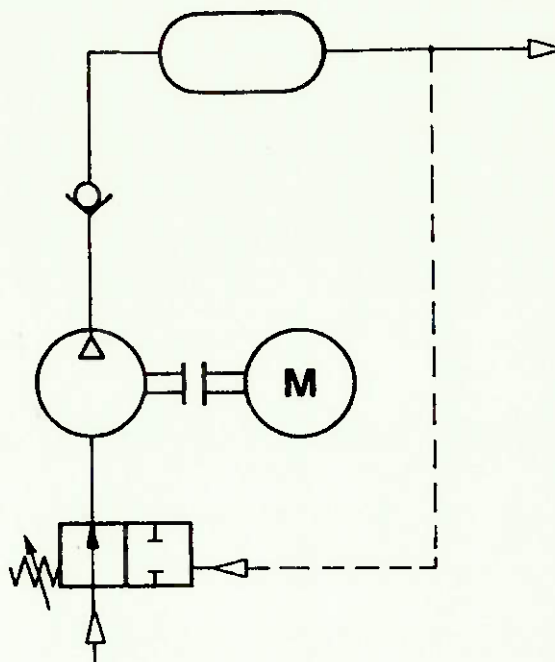


1. descarregador acionado a pressão; 2. descarregador para compressor com motor elétrico.



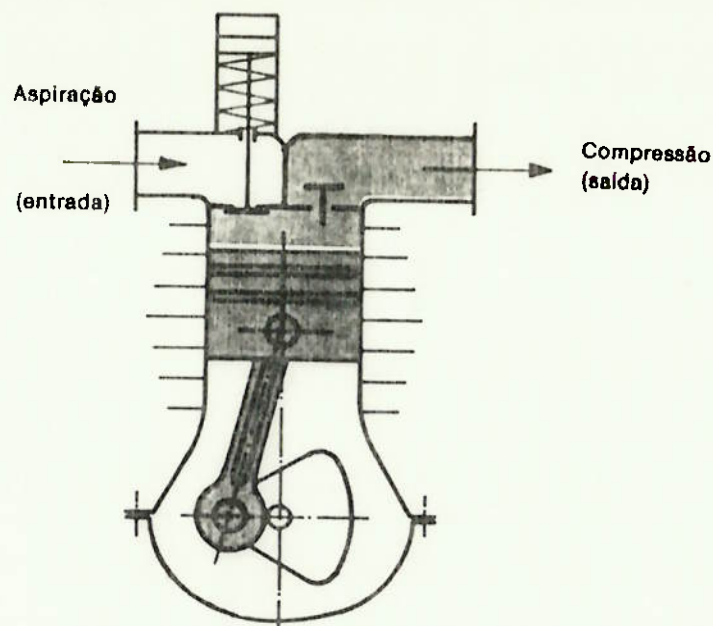
a.2. regulagem por fechamento

Nesta regulagem fecha-se o lado da sucção. O compressor é impedido de aspirar o ar e funciona em vazio. Esta regulagem é encontrada em compressores de êmbolo rotativo e também em compressores de êmbolo de movimento linear.



a.3. regulagem por garras

É empregada em compressores de êmbolo. Mediante garras, mantém-se aberta a válvula de sucção, evitando assim que o compressor continue a compressão.



b. regulagem de carga parcial

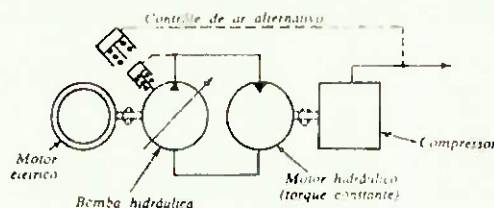
b.1. regulagem por variação de rotação

Para motores elétricos há necessidade de transformar a corrente alternada em corrente contínua para utilização de motores de CC de velocidade variável, ou então a utilização de um motor CA de velocidade variável.

Por todos estes problemas, tem sido utilizado a transmissão hidráulica.

Um motor de corrente alternada de velocidade constante aciona / uma transmissão hidráulica composta de uma bomba de vazão variável e um motor hidráulico de capacidade fixa (torque constante), que por / sua vez é acoplado ao eixo do compressor. Assim, qualquer aumento na pressão do ar causado por uma queda na demanda de ar tende a aumen- / tar o torque, e a reação no controle da bomba hidráulica reduz sua / vazão, diminuindo a velocidade do motor. Poderá ser feito um contro- / le alternativo através de um regulador de pressão pneumático, que / acionará o controle hidrostático de velocidade através de um cilin- / dro de ar. Um regulador de pressão dará um controle de pressão mais

exato.



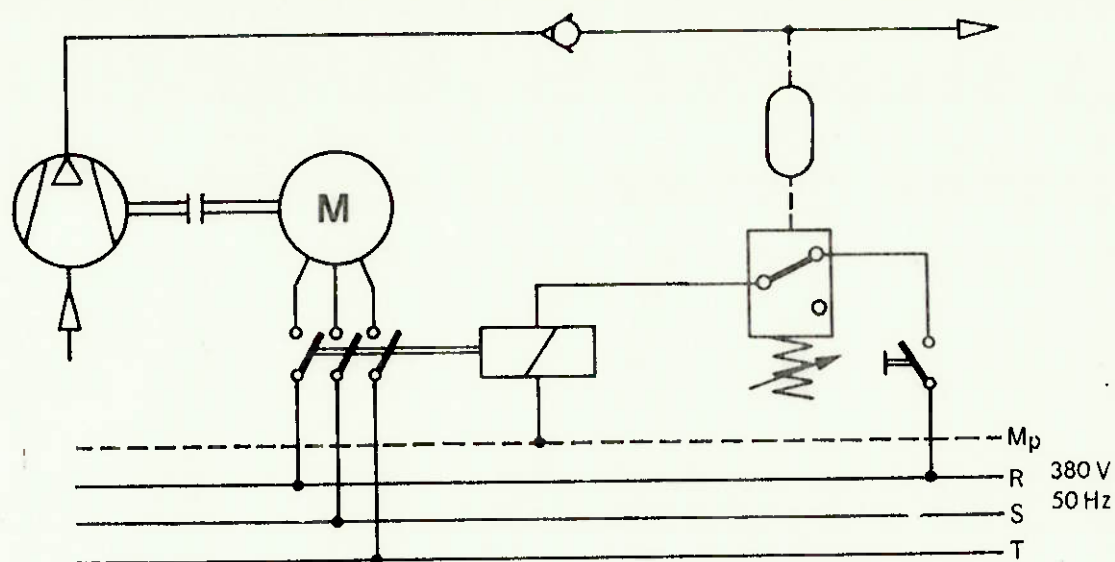
b.2. regulação por estrangulamento

Pode ser utilizado em compressores de êmbolo rotativo e em turbo-compressores. Neste processo, a pressão atua sobre uma válvula-piloto, carregada por uma mola, que controla o suprimento de ar para / uma válvula na entrada. Este tipo de controle é bastante eficaz, desde que a demanda não ultrapasse a capacidade da máquina.

c. regulação intermitente

Com esta regulação, o compressor funciona em dois campos (carga máxima e parada total).

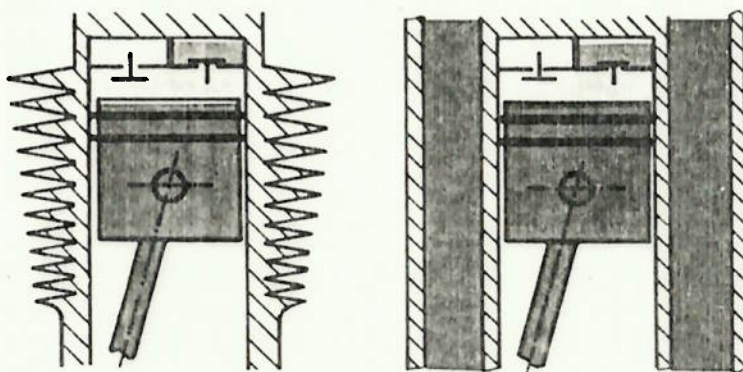
O número de partidas por hora não deve exceder a 15 ou 20, para evitar gastos excessivos com manutenção elétrica. A frequência de / partidas com um único compressor varia com a relação entre o tamanho do compressor e a demanda. Se a capacidade do compressor é ligeiramente maior que a demanda, o mesmo permanece mais tempo ligado do / que parado, o que não ocorre quando a capacidade do compressor é muito maior. O fator mais importante é o tamanho do reservatório em relação à demanda. Quanto maior a capacidade do reservatório e do resto do sistema, tanto menor será o número de partidas. A frequência / de comutações ou partidas pode ser controlada por um pressostato.



4. Refrigeração

A compressão do ar e o atrito entre os componentes do compressor gera calor, que deve ser dissipado. A refrigeração mais adequada deve ser escolhida de acordo com a temperatura que se alcança no compressor.

Em compressores pequenos são suficientes a colocação de aletas que aumentam a área de troca de calor. Os compressores maiores podem estar equipados com ventilador, para convecção forçada.

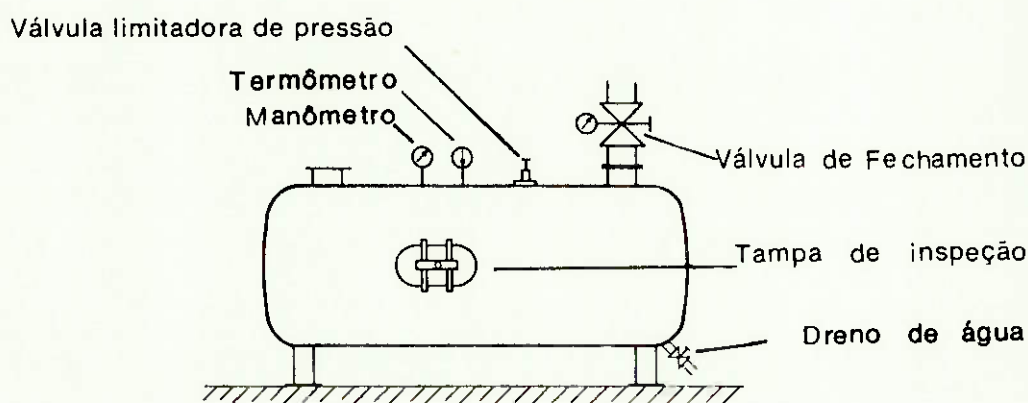


No entanto, quando uma instalação de compressores requer uma / potência de acionamento de mais de 30 kW uma refrigeração a ar é insuficiente. Os compressores devem então ser equipados com refrigeração a água em circuito aberto ou fechado. Muitas vezes não é levado / em consideração uma instalação de refrigeração completa, incluindo / torre de resfriamento, devido ao seu alto custo, porém, uma refrigeração adequada prolonga a vida útil do compressor e produz um ar melhor resfriado, podendo-se até eliminar um resfriamento posterior, / ou realizá-la de modo mais simples.

5. Reservatório de ar comprimido

O reservatório estabiliza a distribuição do ar comprimido, elimina as oscilações de pressão na rede distribuidora e, quando há um pico no consumo, garante o fornecimento.

A grande superfície do reservatório refrigera o ar contido em seu interior, condensando a água (vapor), que deverá ser drenada.



A capacidade do reservatório de ar comprimido depende de:

- . volume fornecido pelo compressor
- . consumo de ar
- . rede distribuidora
- . tipo de regulagem
- . diferença de pressão que pode ocorrer na rede

Quando a regulagem é intermitente pode-se determinar o volume/ do reservatório pelo diagrama da página seguinte.

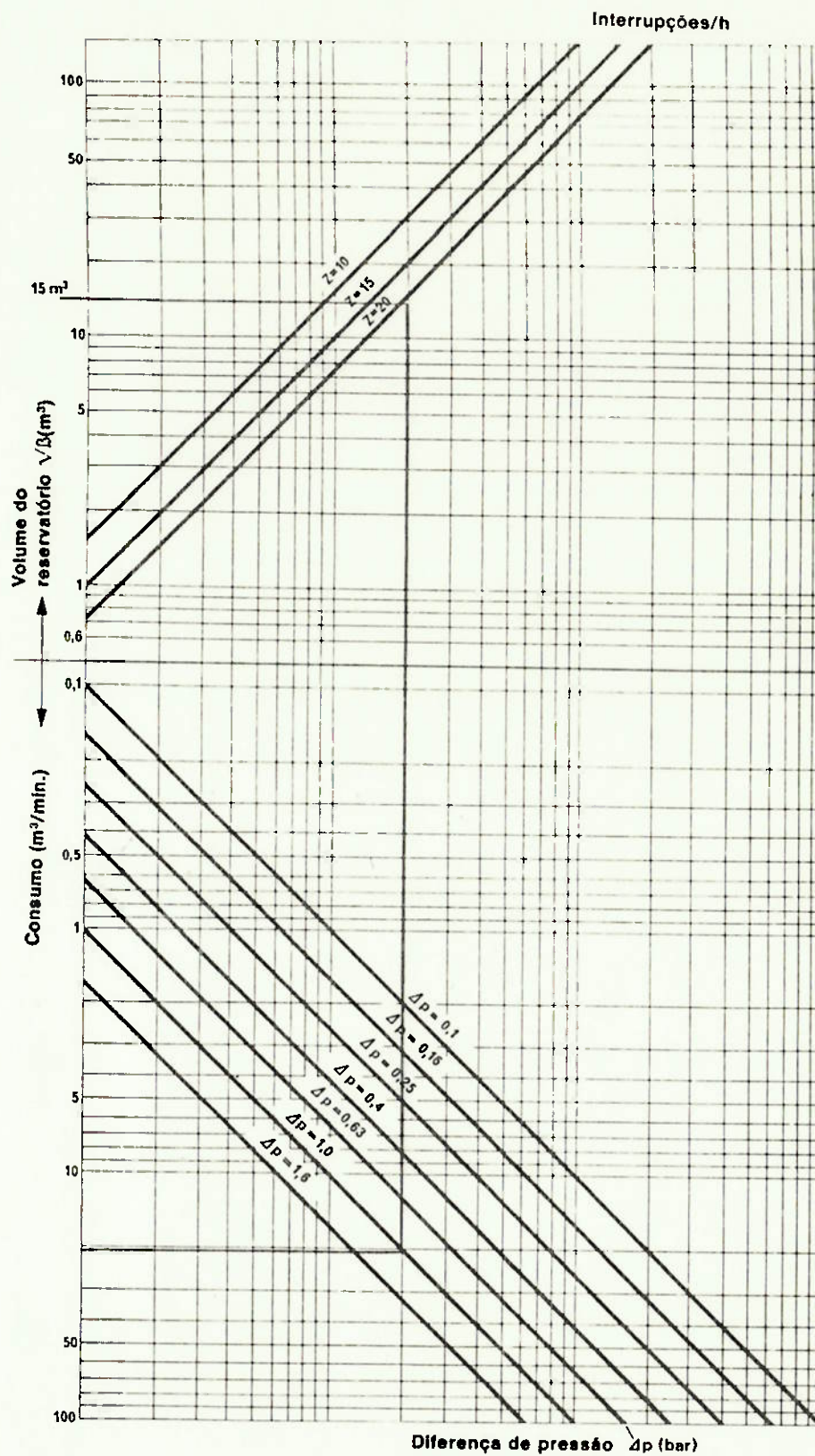
Procedimento: determina-se o consumo do sistema, o número de interrupções admissíveis e a diferença de pressão entre uma partida/ e uma parada. Com o valor do consumo traça-se uma horizontal até a linha de p e por este ponto traça-se uma linha vertical até encontrar a linha que indica o número de interrupções, deste ponto traça-se uma horizontal que indicará o volume do reservatório.

6. Distribuição do ar comprimido

Provocada pela sempre crescente racionalização e automatização das instalações industriais, a necessidade de ar nas fábricas está / crescendo. Cada máquina e cada dispositivo requer determinado volume de ar que está sendo fornecido pelo compressor, através da rede distribuidora.

O diâmetro da tubulação, portanto, deve ser escolhido de maneira que, mesmo um consumo de ar crescente não provoque uma queda de / pressão do reservatório até o consumidor, maior que 0,1 bar. Uma queda maior de pressão prejudica a rentabilidade do sistema e diminui / consideravelmente sua capacidade. No próprio projeto da instalação / de compressores deve ser prevista uma possível ampliação posterior e conseqüentemente, uma maior demanda de ar, determinando dimensões /

Diagrama - relaciona o consumo, a diferença de pressão, número de interrupções com o volume que o reservatório deverá ter.



maiores dos tubos da rede distribuidora. A montagem posterior de uma rede distribuidora de dimensões maiores (ampliação), acarreta despesas elevadas.

6.1. Dimensionamento da rede condutora

A escolha do diâmetro da tubulação deve ser realizada considerando-se:

- . vazão
- . comprimento da rede
- . queda de pressão admissível
- . pressão de trabalho
- . número de pontos de estrangulamento na rede.

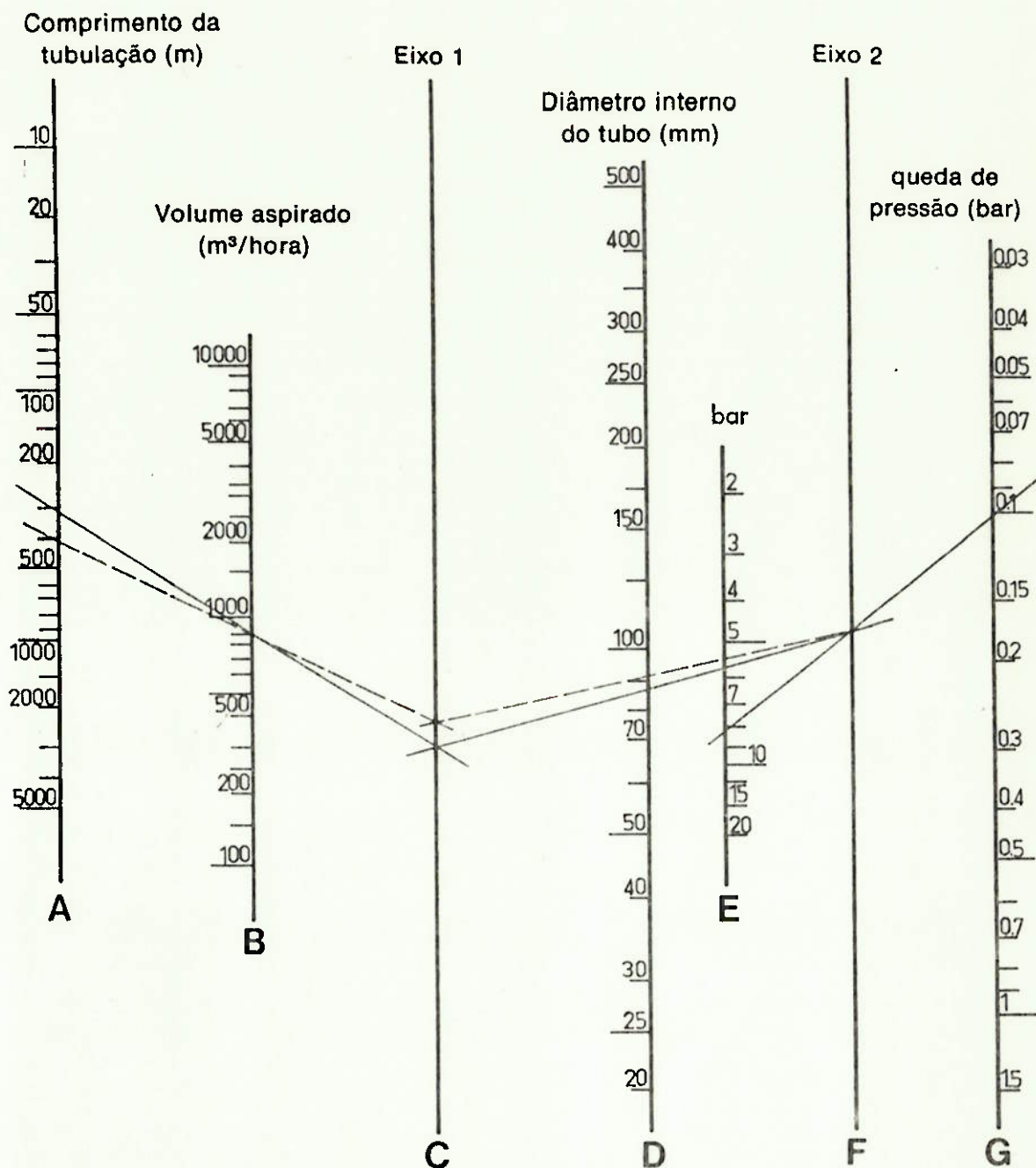
Para a determinação do diâmetro da tubulação pode ser utilizado o diagrama da página seguinte.

Deve-se ter determinado previamente o consumo total máximo (m^3/h), o comprimento total da tubulação, inclusive todos os acessórios que provocam perda de carga (m), queda de pressão admissível de 0,1 bar, e pressão de trabalho (bar).

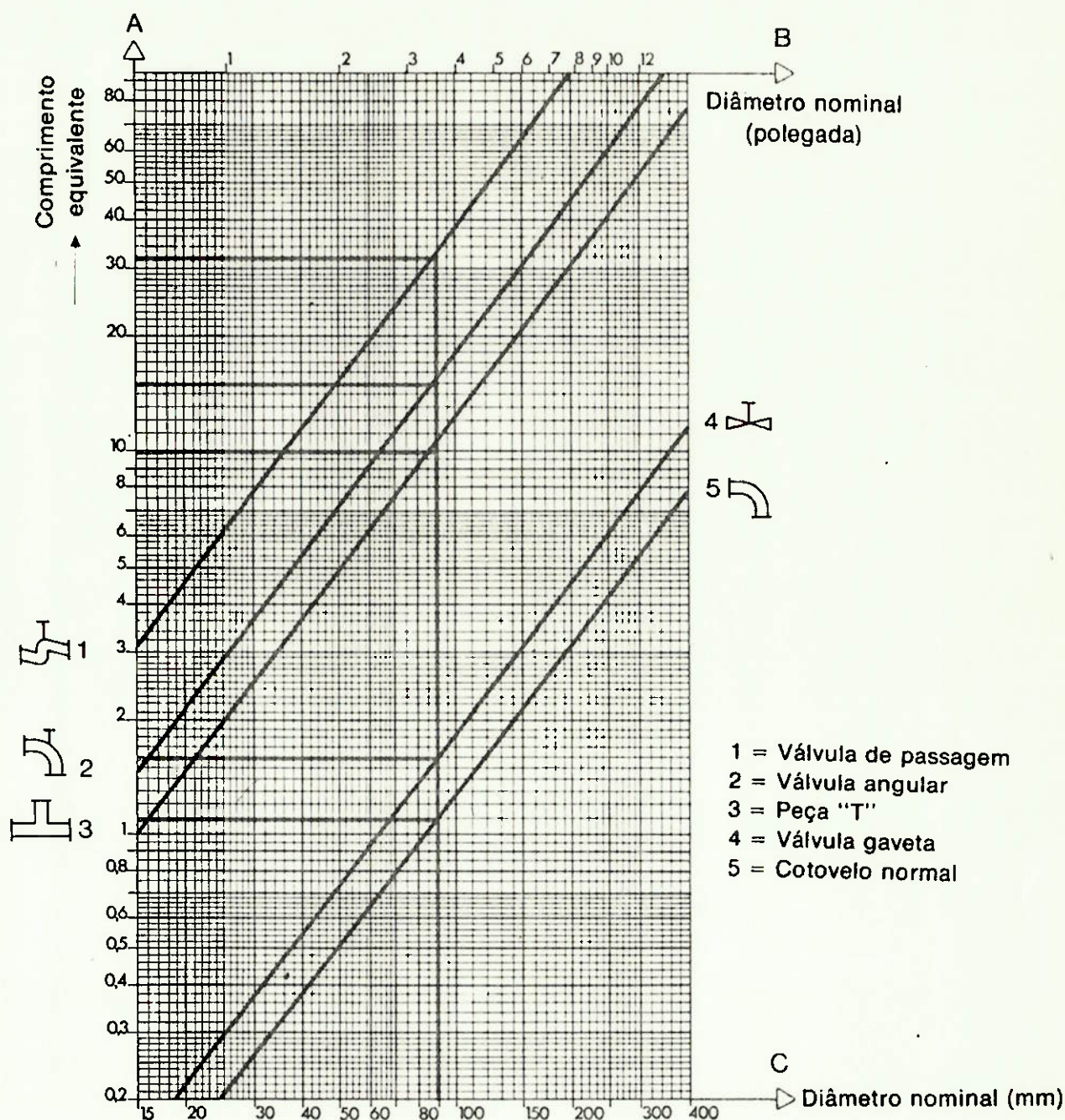
Procedimento: liga-se no diagrama a linha A (comprimento da tubulação) com B e prolonga-se até C (eixo 1). A pressão de trabalho / na linha E é ligada com G (queda de pressão) obtendo assim em F (eixo 2) um ponto de intersecção. Liga-se então o ponto do eixo 1 com o ponto do eixo 2, obtendo-se na linha D um ponto de intersecção, que fornece o diâmetro interno do tubo.

Para levar em consideração os elementos que provocam perda de carga (válvulas gaveta, válvulas globo, peças em T, cotovelos), os / mesmos podem ser substituídos por uma tubulação de mesmo diâmetro e comprimento equivalente para efeito de cálculo.

Diagrama para determinação do diâmetro interno do tubo. ("Manual para a Indústria Pneumática" FMA Pokorny, Frankfurt).



O diagrama abaixo fornece o comprimento equivalente de tubulação com mesmo diâmetro (equivale a igual perda de carga).



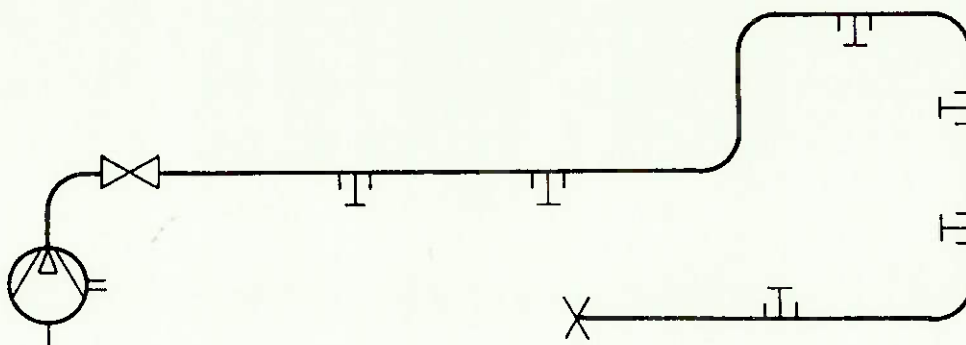
6.2. Montagem da rede de distribuição de ar comprimido

É de importância não somente o correto dimensionamento, mas também a montagem das tubulações.

As tubulações de ar comprimido requerem uma manutenção regular,

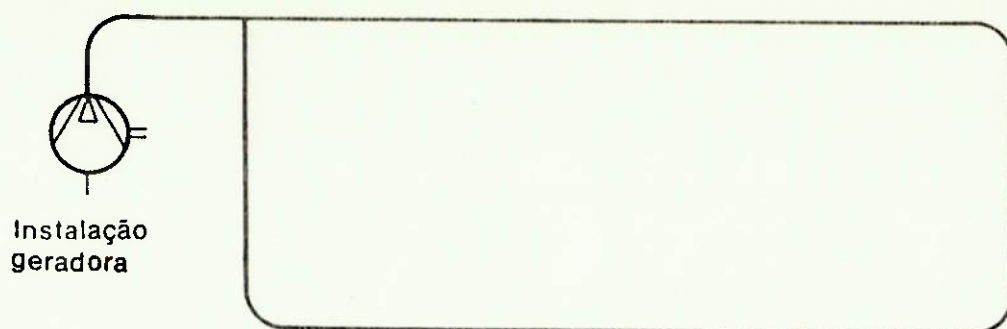
razão pela qual as mesmas não devem, dentro do possível, ser montadas embutidas nas paredes ou em cavidades estreitas. Isto para facilitar o controle da estanqueidade das tubulações, pois pequenos vazamentos são causas de consideráveis perdas de pressão.

As tubulações, em especial nas redes em circuito aberto devem / ser montadas com declive de 1 a 2%, na direção do fluxo. Devido a condensação de umidade, é fundamental em tubulações horizontais, instalar os ramais de tomadas de ar na parte superior da tubulação principal. Dessa forma evita-se que a água condensada eventualmente existente na tubulação principal possa chegar às tomadas de ar através / dos ramais. Para interceptar e drenar a água condensada devem ser / instaladas derivações com drenos na parte inferior da tubulação principal.



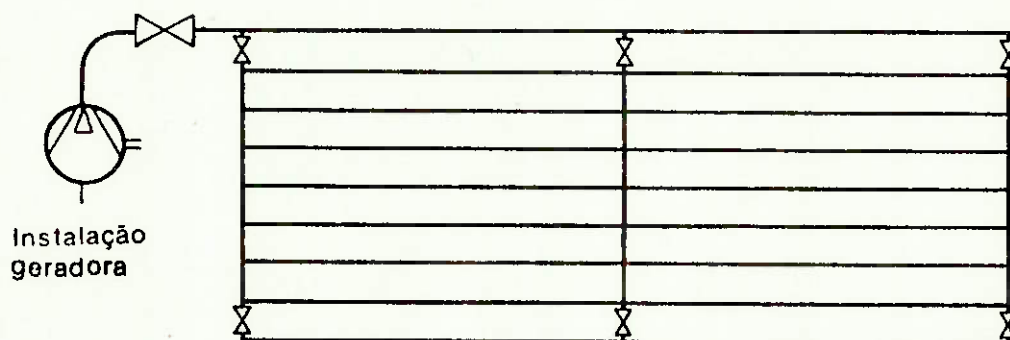
Rede de distribuição em circuito aberto.

Geralmente as tubulações principais são montadas em circuito fechado. Partindo da tubulação principal, são instaladas as ligações / em derivação. Quando o consumo de ar é muito grande consegue-se mediante esse tipo de montagem, uma alimentação uniforme. O ar flui em ambas as direções.



Rede de distribuição em circuito fechado.

A rede combinada também é uma instalação em circuito fechado, a qual por suas ligações longitudinais e transversais oferece a possibilidade de trabalhar com ar em qualquer lugar. Mediante válvulas de fechamento existe a possibilidade de fechar determinadas linhas de ar comprimido quando as mesmas não forem usadas ou quando for necessário pô-las fora de serviço para reparos ou manutenção.



Rede de distribuição combinada.

7. Preparação do ar comprimido

Em algumas aplicações a qualidade do ar comprimido é imprescindível. Impurezas em forma de partículas de sujeira ou ferrugem, res-

tos de óleo e umidade levam, em muitos casos, a falhas em instalações e avarias nos elementos pneumáticos.

Enquanto a separação primária do condensado é feita no separador após o resfriador, a separação final, filtragem e outros tratamentos secundários do ar comprimido é executada no local de consumo.

O vapor de água penetra na rede pelo ar aspirado pelo compressor. A incidência da umidade depende, em primeiro lugar, da umidade relativa do ar, que por sua vez, depende da temperatura e das condições atmosféricas.

Umidade absoluta é a quantidade de água contida em 1 m^3 de ar, e quantidade de saturação é a quantidade máxima de água admitida em 1 m^3 de ar a uma determinada temperatura. Nesse caso, a umidade relativa é de 100% e a temperatura é a temperatura de orvalho.

No diagrama da página seguinte apresenta-se a quantidade de saturação à temperatura correspondente.

Para minimizar as impurezas, efetuam-se as seguintes operações:

- . filtragem do ar aspirado antes do compressor
- . utilização de compressores livres de óleo
- . o ar comprimido, deve em casos de ocorrência de umidade, passar / por um secador.

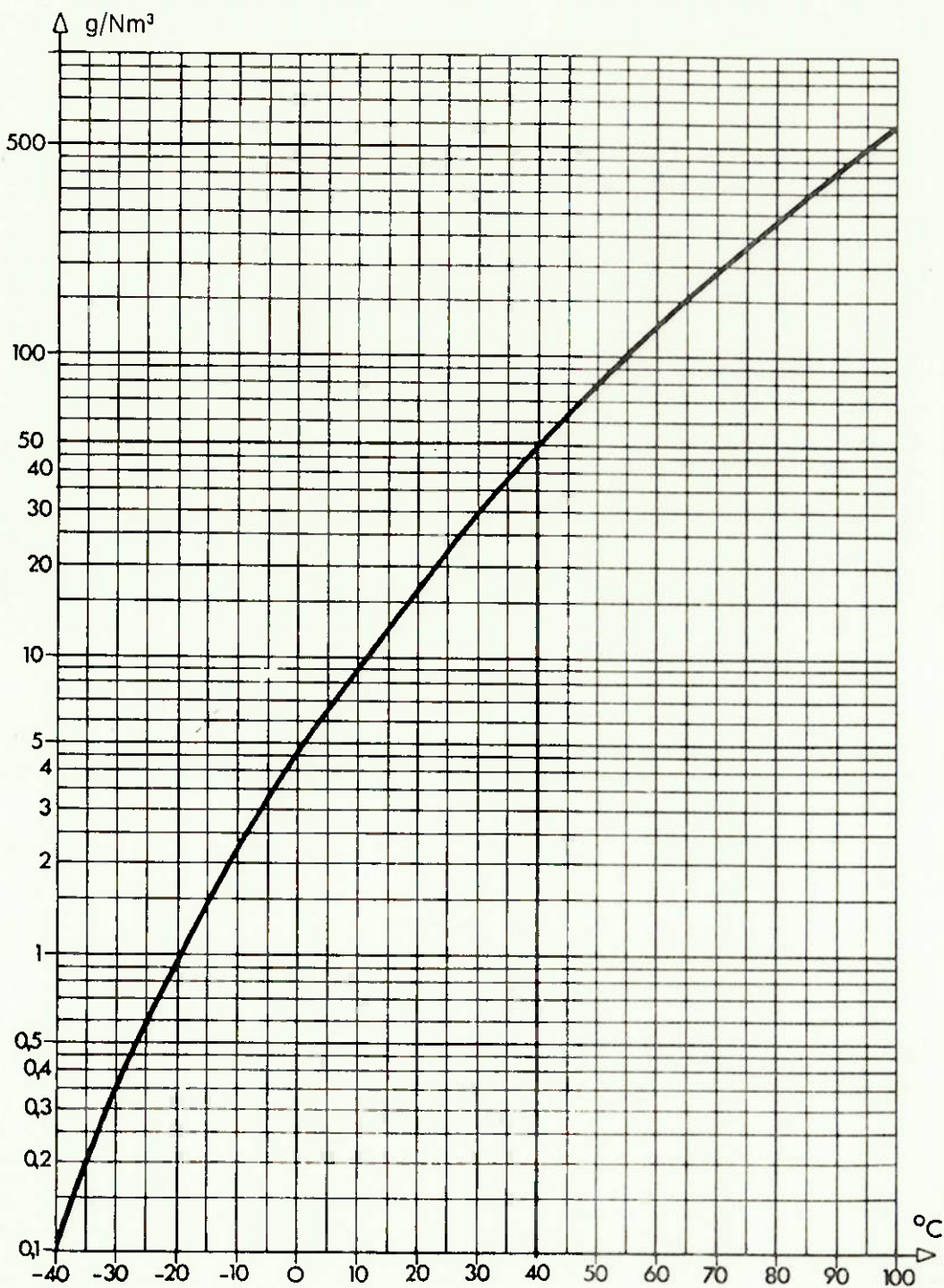
A secagem do ar comprimido é efetuada por: absorção, adsorção e resfriamento.

- . secagem por absorção

A secagem por absorção é um processo químico. Neste processo, o ar comprimido passa sobre uma camada de um elemento secador. A água ou vapor de água que entra em contato com esse elemento combina-se quimicamente com o mesmo e se dilui na forma de uma combinação elemento secador-água.

Essa mistura deve ser removida periodicamente do absorvedor. /

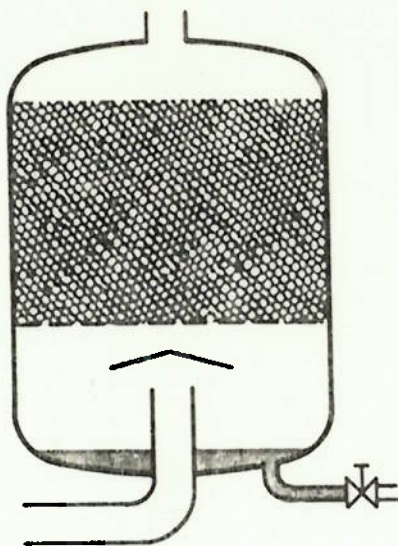
Diagrama temperatura de orvalho x quantidade de saturação. Para uma determinada temperatura de orvalho obtem-se a quantidade de água contida em 1 m^3 de ar.



Com o tempo, o elemento secador é consumido e o secador deve ser rebastecido periodicamente (duas a quatro vezes por ano).

O secador por absorção separa ao mesmo tempo vapor e partículas de óleo. Porém, quantidades maiores de óleo lubrificante influenciam no funcionamento do secador. Devido a isso é conveniente antepor um filtro fino ao secador.

O processo de absorção caracteriza-se por: montagem simples da instalação; desgaste mecânico mínimo já que o secador não possui peças móveis; não necessita de energia externa.



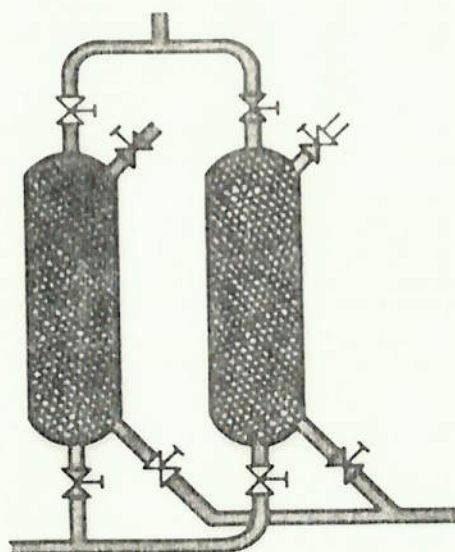
Secagem por absorção.

. secagem por adsorção

A secagem por adsorção é baseada num processo físico. O elemento secante é um material granulado, e é formado de dióxido de silício. É conhecido normalmente pelo nome de "gel" (Silica gel).

O ar comprimido úmido é conduzido através da camada de "gel" e o mesmo adsorve a umidade. Evidentemente a capacidade de acumulação do elemento secante é limitada, e quando o mesmo estiver saturado poderá ser regenerado insuflando-se ar quente. A água se evapora e é /

arrastada para a atmosfera. Normalmente os secadores são montados em paralelo, para que uma delas possa ser regenerada enquanto a outra / está em funcionamento.

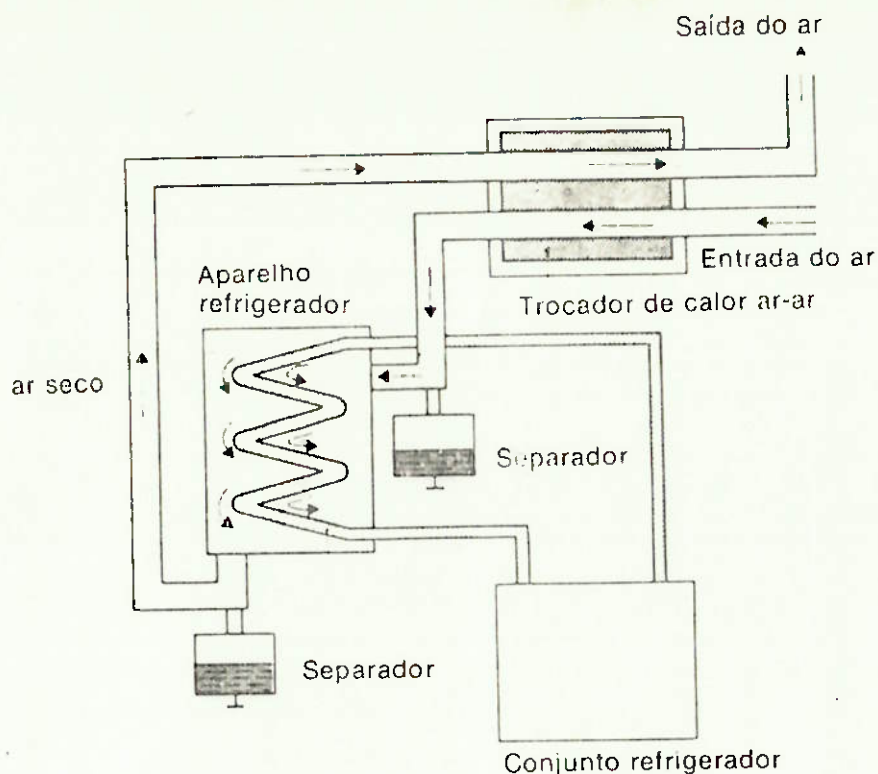


. secagem por resfriamento

O secador funciona pelo princípio da redução da temperatura de orvalho, que é a temperatura à qual deve ser resfriado um gás para / obter a condensação do vapor de água contida no mesmo.

O ar comprimido passa primeiramente pelo trocador de calor ar-ar, sofrendo um pré-resfriamento e o condensado é separado. Posteriormente esse ar passa por um segundo trocador de calor onde sua / temperatura é baixada até aproximadamente $1,7^{\circ}\text{C}$, ocorrendo uma segunda separação de condensado de água e óleo. O ar seco a baixa temperatura passa pelo primeiro trocador de calor onde ocorre o pré-resfriamento do ar que está entrando.

Posteriormente, o ar comprimido pode ainda passar por um filtro fino a fim de eliminar as partículas poventura existentes.



7.1. Filtros de ar comprimido

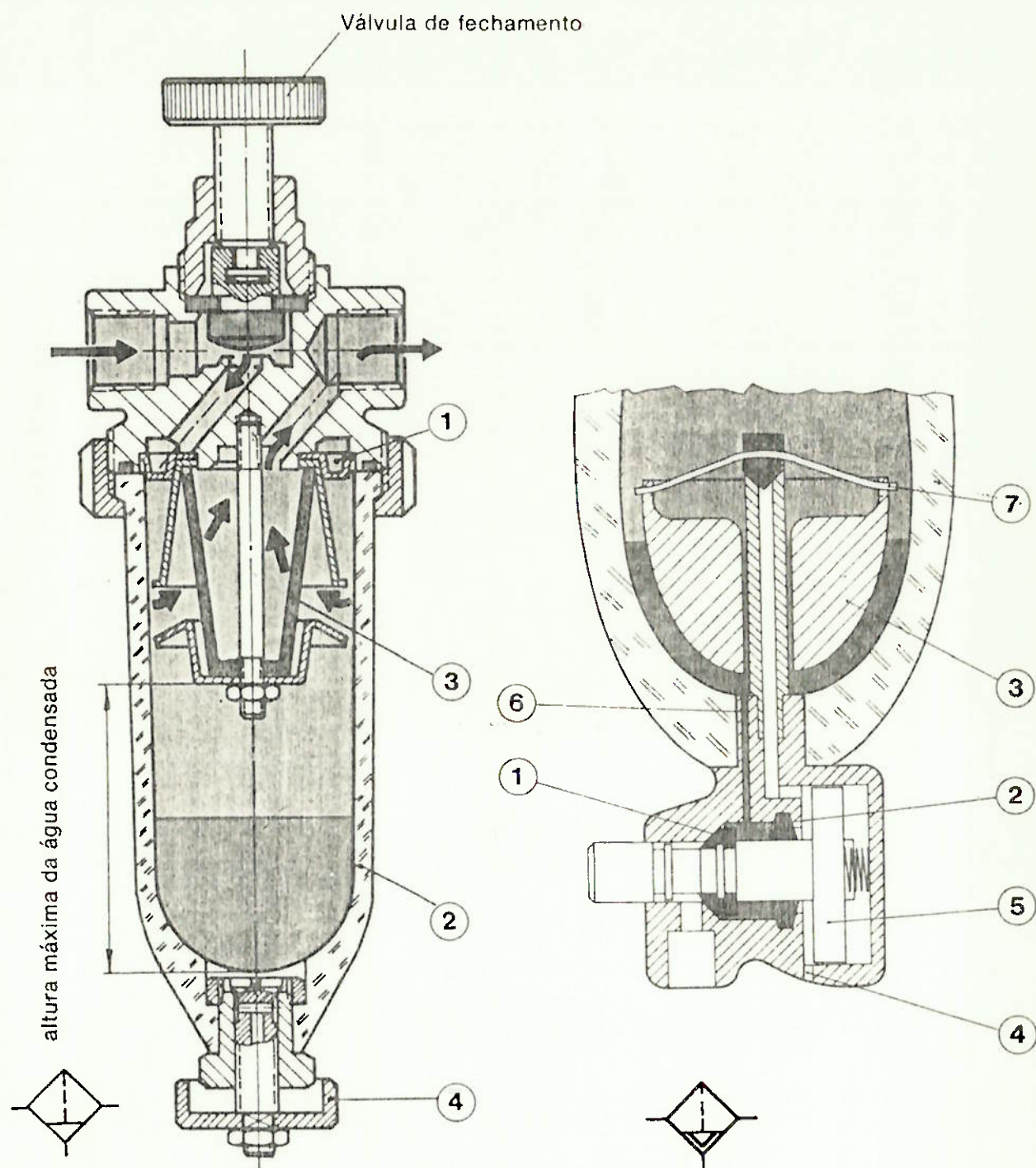
A função de um filtro de ar comprimido é reter as partículas de impureza, bem como a água condensada presentes no ar que passa por / ele. O ar comprimido ao entrar no copo (2) é forçado a um movimento / de rotação por meio de rasgos direcionais (1). Com isso, separam-se / as impurezas maiores, bem como as gotículas de água por meio de for- / ça centrífuga, e depositam-se então no fundo do copo. O condensado / acumulado no fundo do copo deve ser eliminado, o mais tardar ao atin- / gir a marca do nível máximo, já que se isto não ocorrer, o condensa- / do será arrastado novamente pelo ar.

As partículas sólidas, maiores que a porosidade do filtro (3), / são retidas pelo mesmo. Com o tempo, o acúmulo destas partículas im- / pedem a passagem do ar. Portanto, o elemento filtrante deve ser lim- / po ou substituído a intervalos regulares. Em filtros normais, a poro- / sidade se encontra entre 30 a 70 m. Se houver uma acentuada deposi- / ção de condensado, convém substituir a válvula de descarga manual /

(4) por uma automática.

Filtro de ar.

Dreno automático.



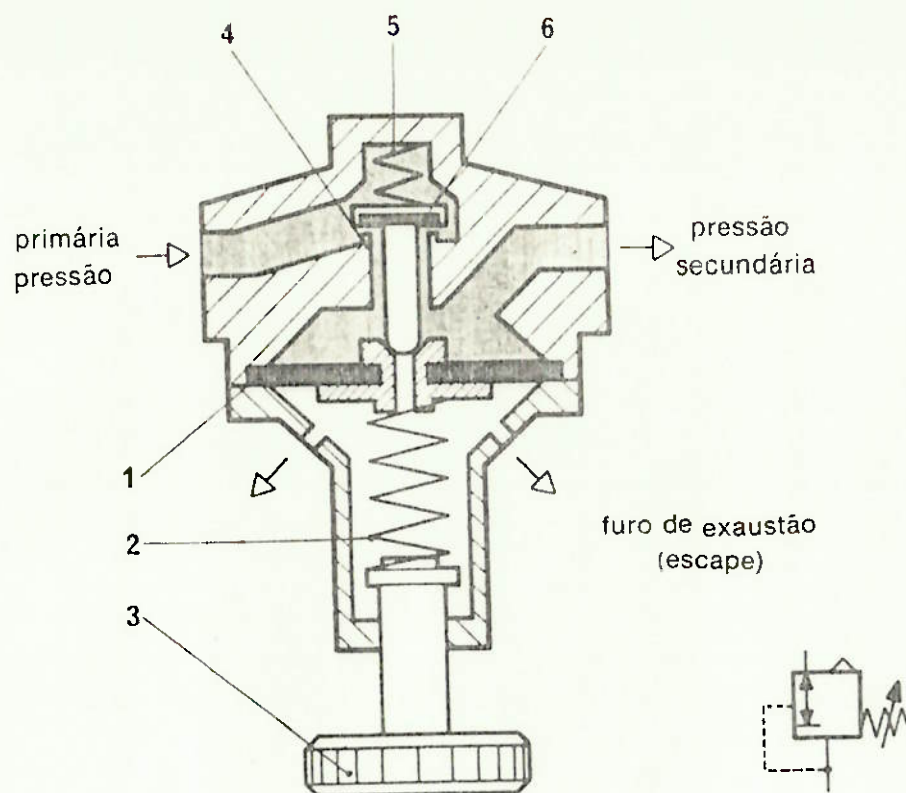
Basicamente o dreno automático funciona da seguinte forma: pelo furo nº 6, o condensado atinge a câmara entre as vedações 1 e 2. Com o aumento do nível do condensado o flutuador nº 3 se levanta. A um determinado nível, abre-se a passagem nº 7. O ar comprimido existente no copo passa por ela e desloca o êmbolo nº 5 para a direita. Com

isso abre-se o escape para o condensado. Pelo escape nº 4, o ar só / passa lentamente, mantendo-se com isso, aberta por um tempo ligeiramente maior, a saída do condensado.

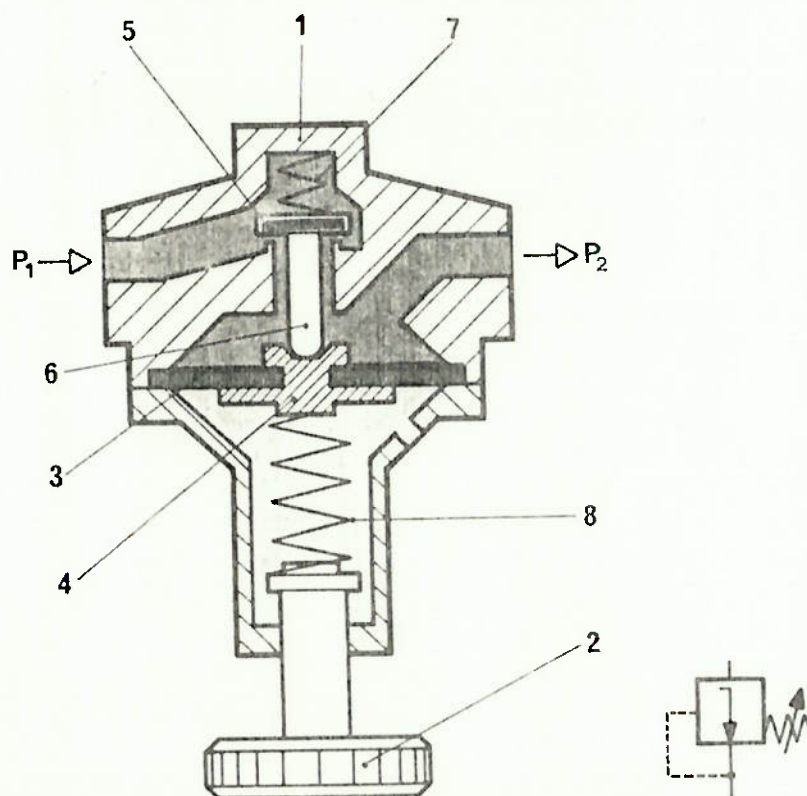
7.2. Regulador de pressão

O regulador tem por função manter constante a pressão de trabalho (secundária) independente da pressão da rede (primária) e do consumo do ar. A pressão primária deve ser sempre maior que a secundária. A pressão é regulada através da membrana (1). Uma das faces da membrana é submetida à pressão de trabalho. Do outro lado, atua uma mola (2) cuja deformação é ajustável por meio de um parafuso de regulação (3). Com o aumento da pressão de trabalho a membrana comprime a mola. Com isso, a seção de passagem na sede da válvula (4) diminui progressivamente até se fechar, quando for o caso. Se houver consumo a pressão diminui e a força da mola reabre a válvula. Para evitar a ocorrência de uma vibração indesejável, sobre o prato da válvula (6) efetua-se um amortecimento por mola (5) ou ar. Se a pressão crescer excessivamente do lado secundário, a membrana sofre um deslocamento por compressão da mola e o ar é liberado para a atmosfera pelo furo de escape. Pode ser utilizado também um regulador de pressão sem escape.

Regulador de pressão com abertura de escape.



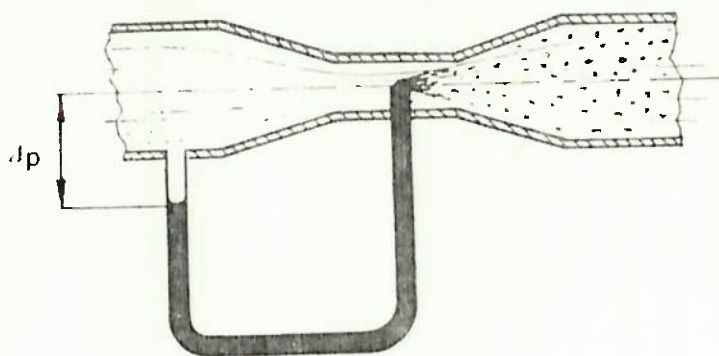
Regulador de pressão sem abertura de escape.



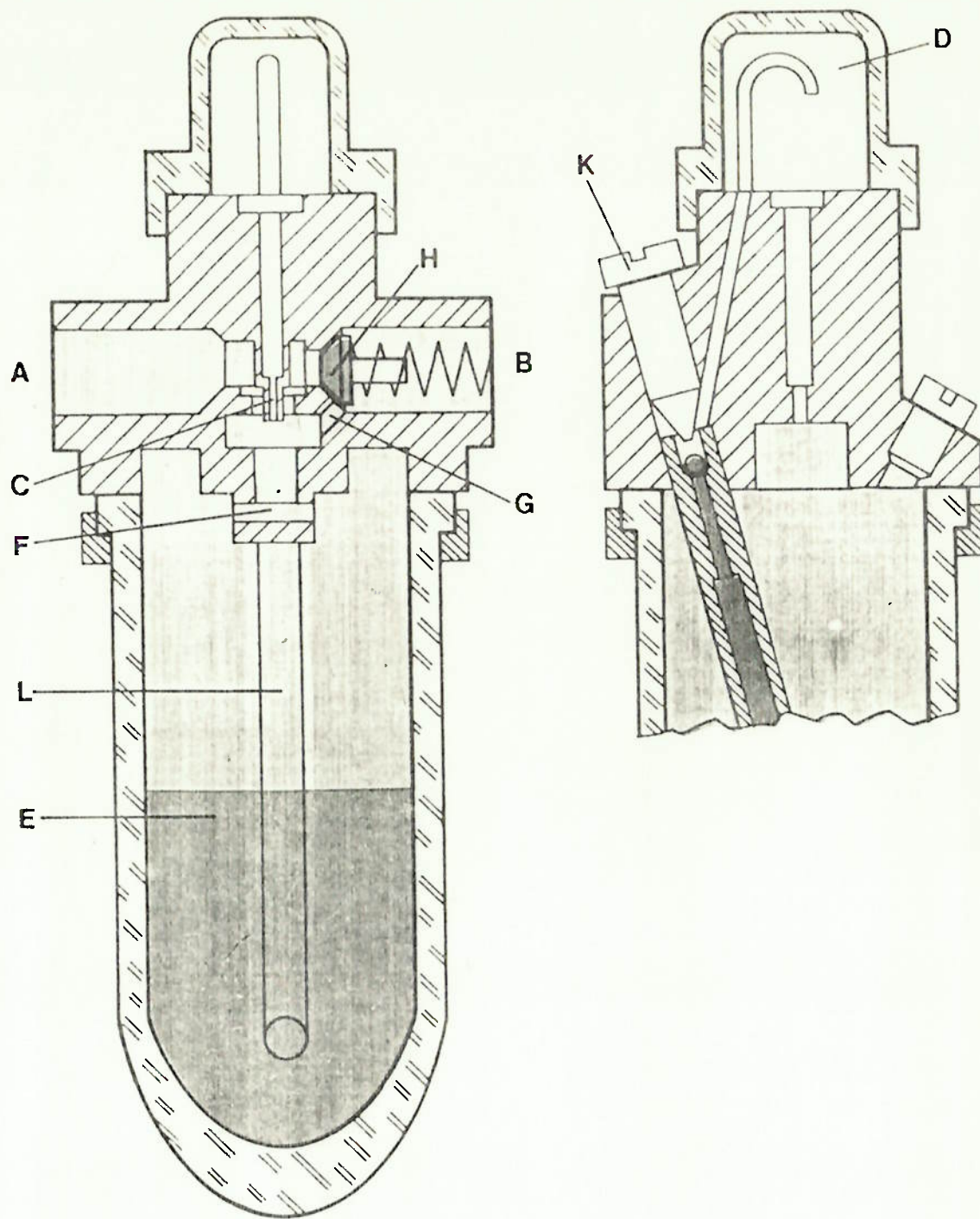
7.3. Lubrificador de ar comprimido

O lubrificador tem por finalidade abastecer suficientemente, / com materiais lubrificantes, os elementos pneumáticos. Os lubrificantes são necessários para garantir um desgaste menor dos elementos móveis, reduzir as forças de atrito e proteger os aparelhos contra a / corrosão.

Geralmente, os lubrificadores de óleo funcionam pelo princípio / de Venturi. O cuidado que deve ser tomado é quanto à vazão no Ventu-
ri, pois se for muito baixa a diferença de pressão não será suficiente para incorporar o lubrificante à corrente de ar.



No esquema da página seguinte tem-se um lubrificador. A corren-
te de ar no lubrificador vai de A para B. A válvula de regulagem H /
desvia o ar através do bocal C para o ambiente do reservatório. O /
óleo é levado até o ambiente D devido a pressão no reservatório e a
depressão em C. Com o parafuso de regulagem K é dada a possibilidade
de regular as gotas de óleo por unidade de tempo. O ar enriquecido /
com óleo é desviado por intermédio da bucha F e as gotas grandes de-
mais recaem no ambiente E. Somente a neblina ar-óleo chega através /
do canal G, para a saída B.



7.4. Unidade de conservação

A unidade de conservação é uma combinação de filtro de ar com-/primido; regulador de ar comprimido; lubrificador de ar comprimido./ É portanto uma combinação dos elementos apresentados nos ítems anteriores para maior facilidade de instalação e manutenção.

As seguintes observações são importantes:

. A vazão total de ar é determinante para o tamanho da unidade. Um consumo demasiado grande provocará uma queda de pressão nos aparelhos, deve-se portanto observar rigorosamente os dados indicados / pelo fabricante.

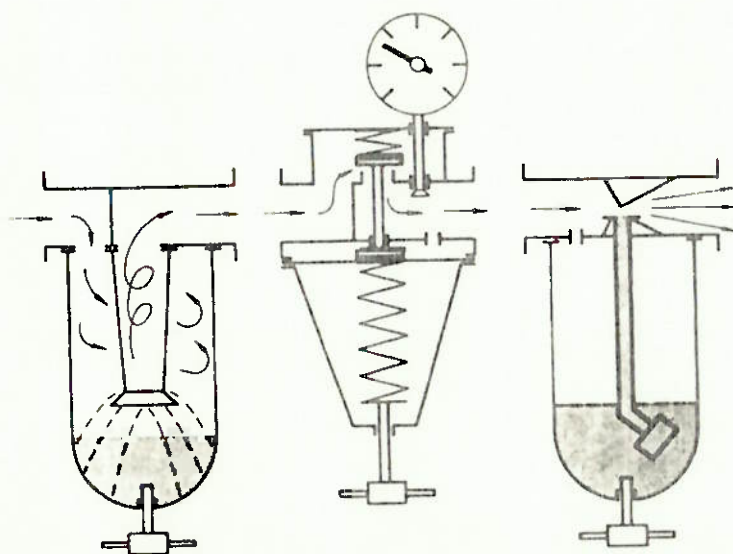
. A pressão de trabalho nunca deve ser superior à indicada no / aparelho. A temperatura ambiente não deve ser maior que 50°C (devido aos copos de material sintético).

A manutenção das unidades de conservação é de vital importância para o bom funcionamento de toda instalação.

- Filtro de ar comprimido: O nível de água condensada deve ser / controlado regularmente, para que não se ultrapasse a marca de altura máxima no coletor. O cartucho filtrante também deve ser verificado e quando necessário ser substituído.

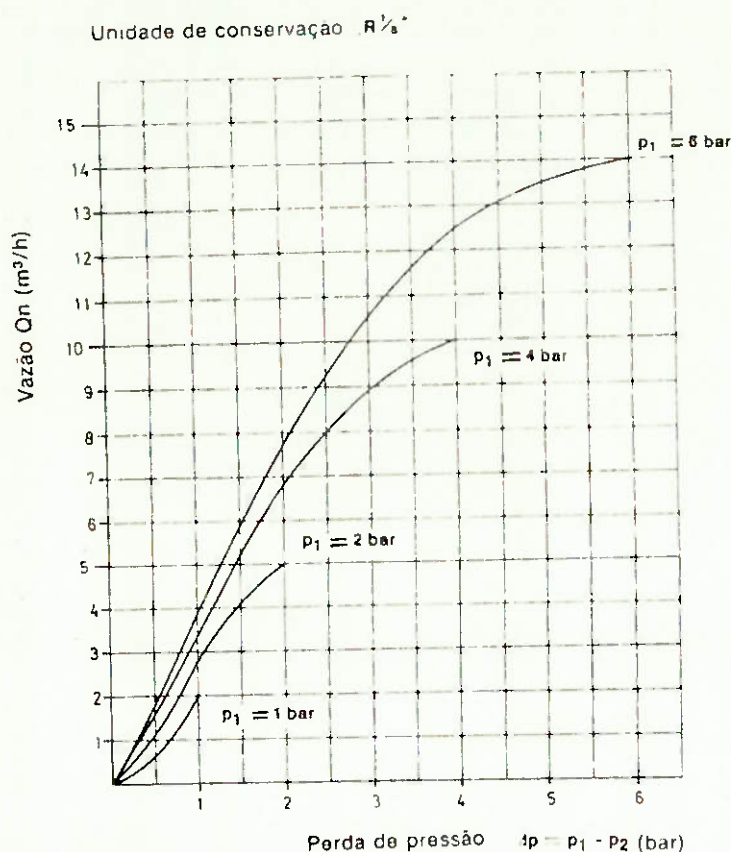
- Regulador de pressão: se houver um filtro de ar comprimido an tes do regulador, o mesmo não necessita de manutenção.

- Lubrificador de ar comprimido: Controlar o nível de óleo no / copo do lubrificador. Para o lubrificador devem ser utilizados somen te óleos minerais de baixa viscosidade.



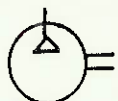
Estes aparelhos tem uma resistência interna, portanto provocam perda de carga. Esta perda de carga ocasiona uma diferença de pressão entre a entrada e a saída do aparelho em função da pressão de entrada e da vazão de ar. Deve-se levar em conta, portanto, a vazão máxima de ar quando da escolha do aparelho.

A figura abaixo apresenta as curvas para pressão de entrada p_1 em função da vazão de ar e fornece a queda de pressão $p_1 - p_2$ para este aparelho em particular.



8. Simbologia para representação de elementos e equipamentos pneumáticos

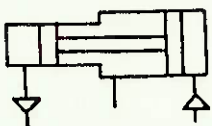
Será apresentado a seguir os símbolos utilizados nos esquemas representativos de equipamentos e elementos pneumáticos. A simbologia obedece a norma DIN 24.300.



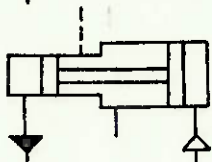
compressor



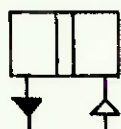
cilindro de simples ação - retorno por força externa



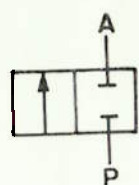
Intensificador para o mesmo meio de pressão



intensificador para ar e óleo

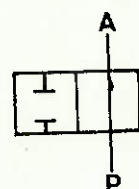


conversor do meio de pressão - de ar para óleo



válvula direcional de 2 vias - 2 posições

posição normal fechada

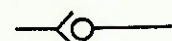


válvula direcional de 2 vias - 2 posições

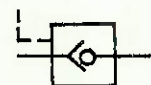
posição normal aberta



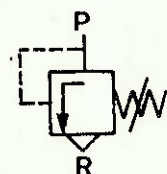
válvula de retenção sem mola



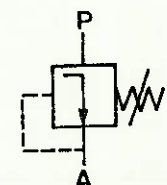
válvula de retenção comandada

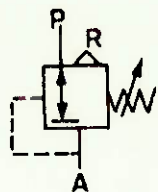


válvula limitadora de pressão regulável (alívio)



válvula reguladora de pressão sem abertura de escape

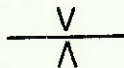




válvula reguladora de pressão com abertura de escape



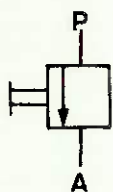
válvula de fluxo com estrangulamento constante



válvula de diafragma com estrangulamento constante



válvula reguladora de fluxo com estrangulamento regulável nos dois sentidos



válvula reguladora de fluxo, acionamento manual



reservatório pneumático (acumulador)

II. SISTEMAS HIDROPNEUMÁTICOS

1. Introdução

Os acionamentos pneumáticos de ferramentas são empregados quando houver necessidade de movimentos rápidos, porém a força fica limitada em aproximadamente 3.000 kp. Além desse limite os cilindros pneumáticos são anti-econômicos.

Uma outra restrição para o emprego do acionamento pneumático / ocorre em movimentos lentos e constantes de avanço. O emprego puramente pneumático não é possível. A compressibilidade do ar comprimido, vantajosa em muitos casos, aqui é desfavorável.

Como meio auxiliar emprega-se, portanto, a hidráulica. As vantagens desta, unidas com as da pneumática resulta em elementos pneumáticos simples de comando, velocidades uniformes e em certos casos / grandes forças com cilindros de diâmetro pequeno. O comando atua no cilindro pneumático, a regulação da velocidade de trabalho será efetuada através do cilindro hidráulico.

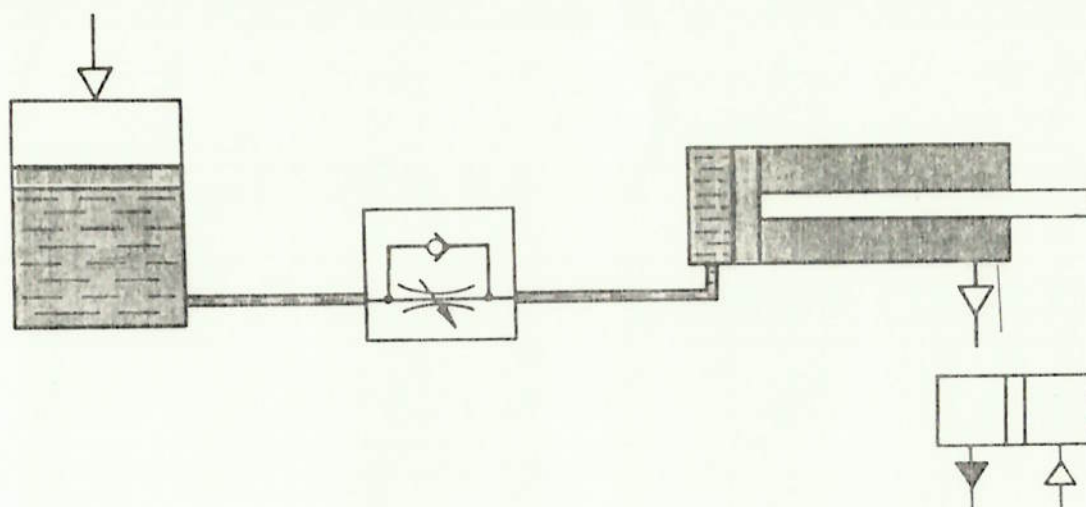
O emprego deste sistema é freqüente nas operações de furação, / fresamento e torneamento, assim como em intensificadores de pressão, em prensas e dispositivos de fixação.

2. Conversor do meio de pressão

O conversor é uma combinação de energia aplicada utilizando óleo e ar comprimido.

Com a entrada do ar comprimido num reservatório com óleo, este / flui para a câmara posterior de um cilindro, deslocando-o. A velocidade pode ser controlada através de uma válvula reguladora de fluxo. O cilindro terá uma velocidade lenta, controlada e uniforme. O retor

no é feito entrando com ar comprimido no lado anterior do cilindro, exaurindo o óleo do lado posterior. Nesta conversão óleo-ar a pressão não se altera.



3. Variador de pressão (intensificador pneumático)

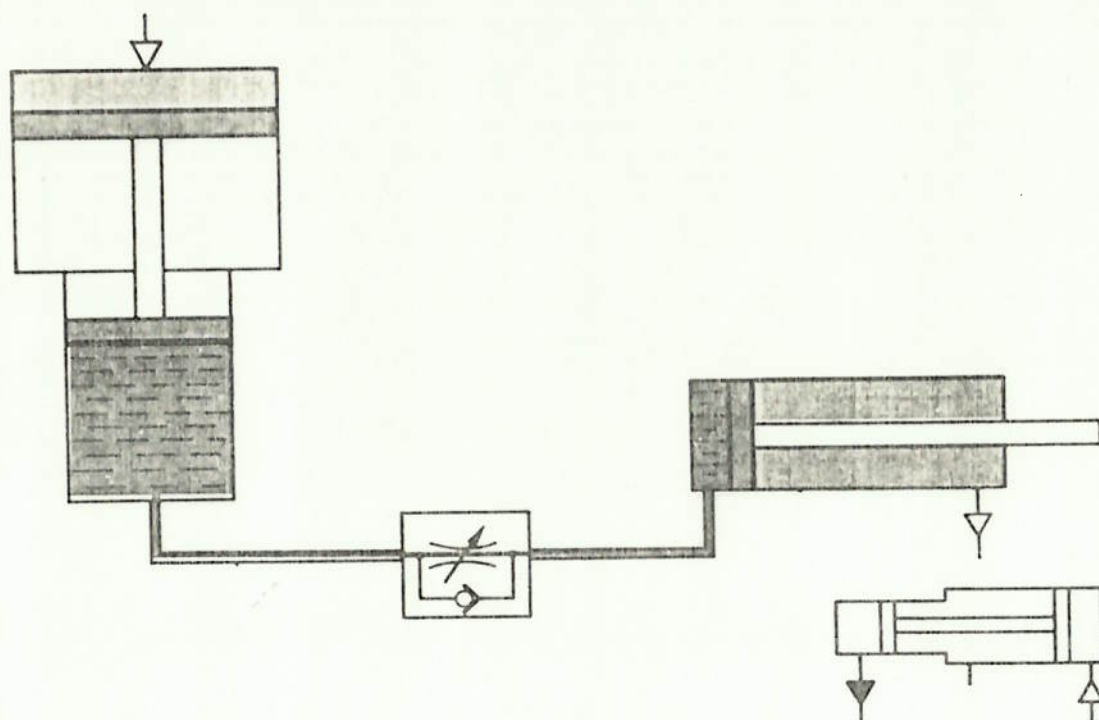
Um processo bastante eficiente e conveniente de produzir um esforço substancial através de um percurso limitado é um intensificador hidráulico acionado pneumaticamente. Embora não seja potencialmente tão rápido quanto uma prensa hidráulica ou mecânica, o uso do ar comprimido torna possível a construção de uma prensa eficiente, com uma pressão de até 100 toneladas, muito economicamente. Quanto maior o esforço, tanto mais lenta será a prensa, e se o intensificador de apenas um estágio, tanto menor será o percurso efetivo.

Se o esforço é limitado a cerca de 20 toneladas, não é difícil aplicar a um êmbolo de percurso longo uma pressão inicial baixa para o percurso de aproximação, de modo que a intensificação não tem início antes que o êmbolo pare de mover-se. Para esforços maiores, isso introduziria complicações, pois, se se quer que a prensa se mantenha num tamanho razoável, as pressões devem ser altas, e um intensificador de alta pressão e estágio único teria que ser dispendiosamente grande para comprimir o volume de óleo necessário.

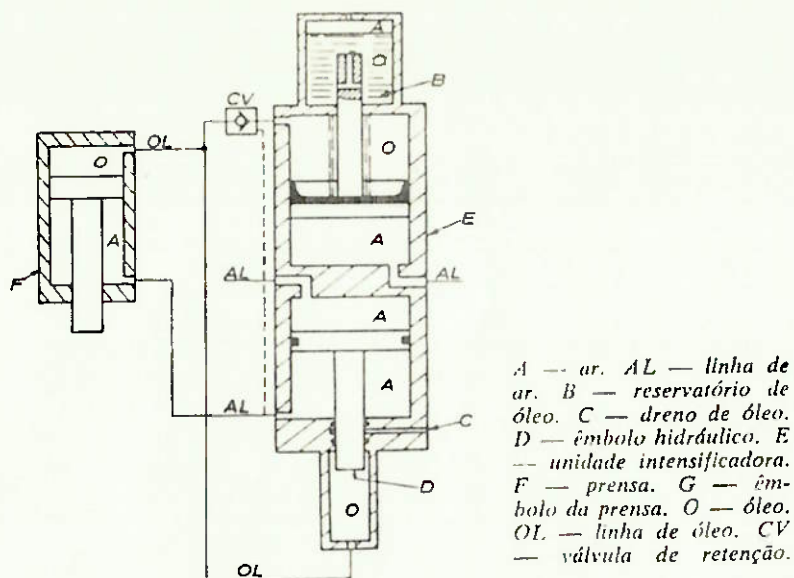
As multiplicações normais são: 4:1; 8:1; 16:1; 32:1.

Em sistemas hidráulicos sempre se tem fugas de óleo, provocando/ freqüentemente interrupções de trabalho. Isto pode ser evitado por uma contínua conservação e manutenção.

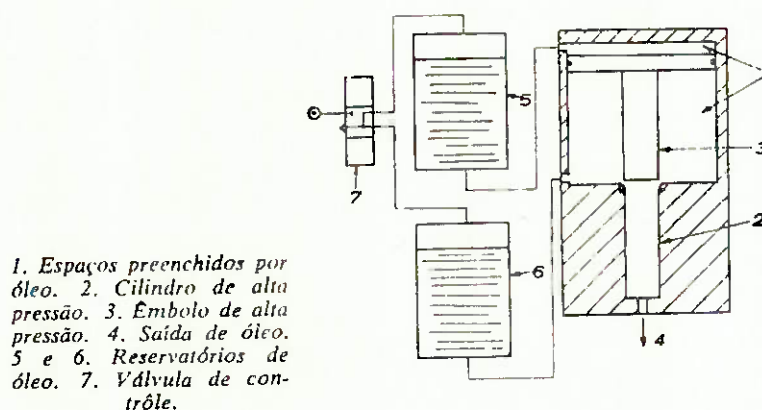
Não é possível empregar o mesmo aparelho para diferentes tama- / nhos de instalação devido ao volume de óleo nele existente. Para ca- da comando e acionamento de cilindro é necessário calcular o volume/ de óleo e escolher o intensificador correspondente.



Pode-se ter prensas de força média para montagem e trabalhos em/ chapas leves. Estas prensas possuem dois estágios e uma unidade in- / tensificadora separada. Há dois sistemas de óleo distintos, um pres- surizado diretamente pelo ar para o percurso de aproximação e o ou- / tro por um intensificador. O percurso de volta é feito por ar no la- do inferior do êmbolo ou por um terceiro sistema de óleo. Para execu- tar a necessária mudança de uma fonte de óleo para outra, é essenci- al um sistema de válvulas adequado. Pode-se utilizar pistões entre o ar e o óleo na câmara de óleo de baixa pressão.



Neste outro intensificador da figura abaixo, durante a primeira/ parte do percurso, o óleo deslocado pelo pistão maior flui direta- / mente para o êmbolo. Quando a haste penetra no orifício, a área me- / nor é selada e tem início a intensificação. Com este processo a difi- / culdade está no ajuste do ponto de mudança de baixa para alta pres- / são, e o volume do lado de baixa pressão é limitado pelo comprimento do êmbolo. Se a prensa hidráulica encontra uma resistência antes que o êmbolo penetre na área menor, o intensificador será bloqueado, e é preciso prever um sistema para permitir o escape do óleo aprisionado.



4. Unidade de avanço hidropneumática

Estes dispositivos são empregados principalmente onde há necessi

dados de uma velocidade uniforme de trabalho. Uma unidade completa é formada por cilindro pneumático, cilindro de frenagem hidráulica e válvula pneumática de comando. Unem-se os cilindros mediante uma barra rígida e o cilindro pneumático funciona como elemento de trabalho movimentando o cilindro de frenagem hidráulica quando se faz sua alimentação através do ar comprimido.

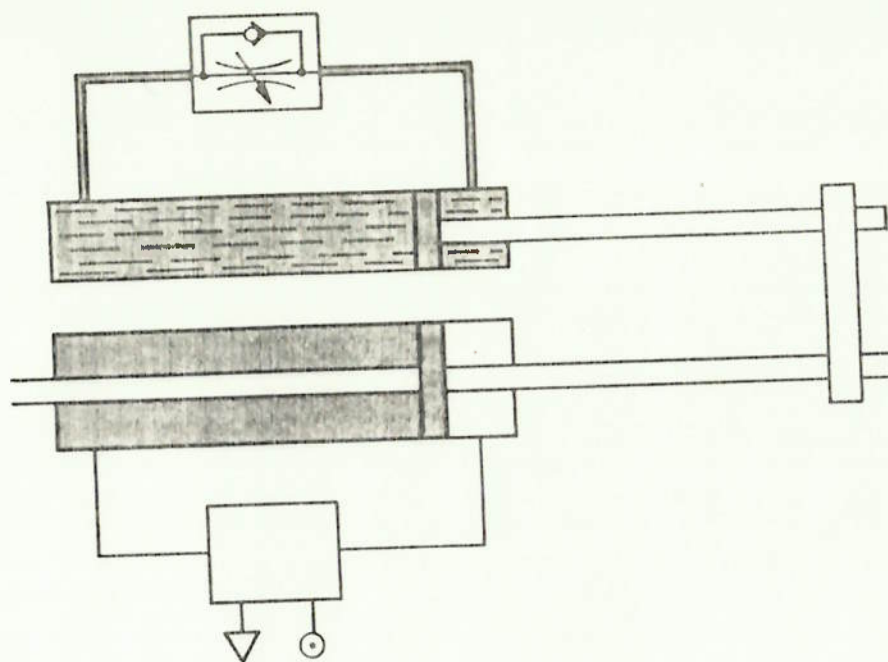
O circuito que une a câmara anterior e posterior do cilindro de frenagem hidráulica contém uma válvula reguladora de fluxo ajustável que determinará a velocidade de avanço. Mesmo que a resistência de trabalho seja alterada o circuito hidráulico não permite que o avanço seja irregular. O retorno é efetuado rapidamente desde que a válvula reguladora de fluxo seja do tipo unidirecional.

Pode ser colocado um encosto regulável na haste do êmbolo do cilindro de frenagem que permite dividir o curso em avanço rápido e / avanço de trabalho lento. O êmbolo de frenagem é movimentado quando a barra tocar no encosto, no entanto no retorno deve-se ter um dispositivo que recoloca o cilindro hidráulico na posição inicial.

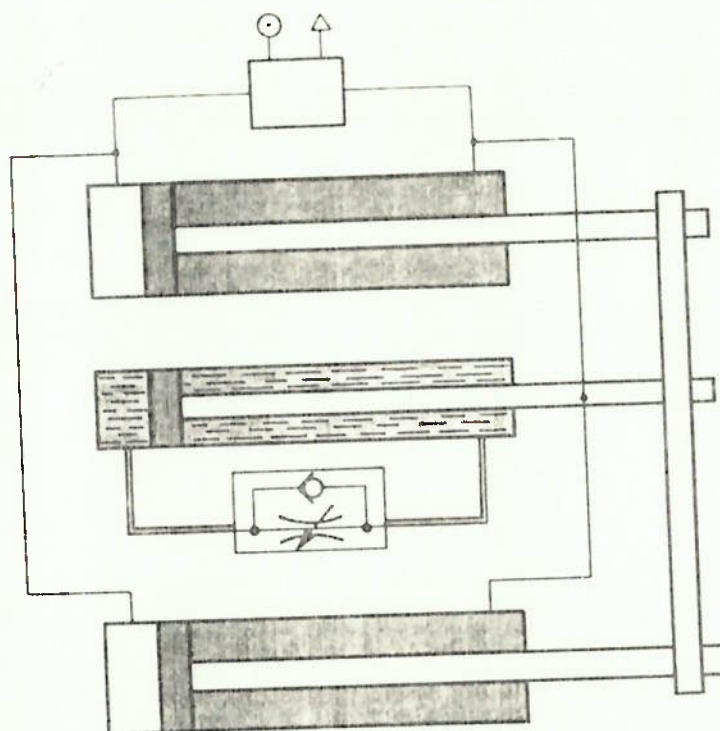
O cilindro de frenagem trabalha com um circuito fechado de óleo, mas há perdas pela haste do êmbolo e algum eventual vazamento. Estas perdas de óleo são repostas pelo reservatório de óleo montado no próprio cilindro.

A unidade é comandada por uma válvula pneumática de comando que também determinará o curso do pistão.

Unidade de avanço hidropneumática. (esquema)

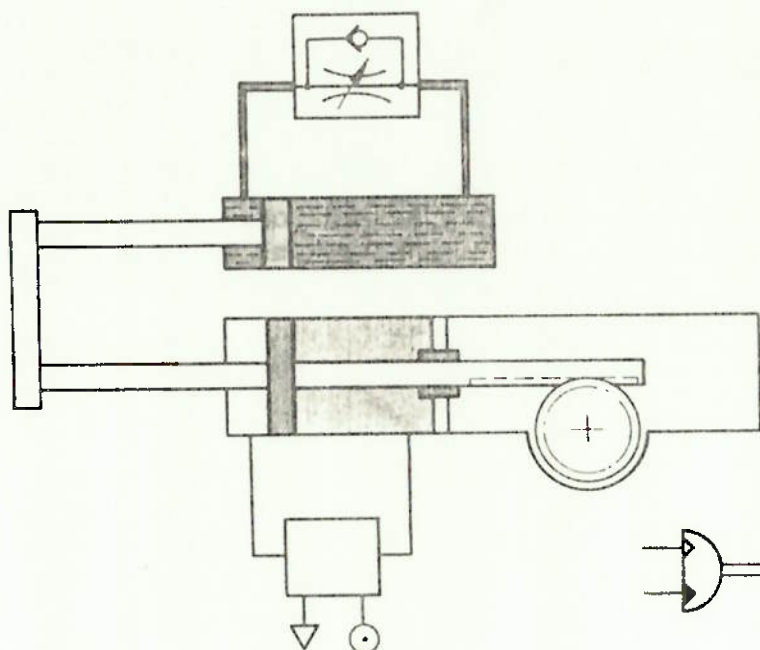


Unidade de avanço hidropneumática com encosto regulável. (esquema)



5. Unidade de avanço hidropneumática (movimento rotativo)

O cilindro de frenagem hidráulica pode ser montado juntamente / com um cilindro rotativo e é utilizado principalmente na automatização do avanço em furadeiras de mesa e de coluna.



6. Unidade de avanço com comando para remoção de aparas

Esta unidade hidropneumática de avanço é de construção mais completa, pois já inclui um comando para a remoção de cavaco e são construídas tanto para acionamento linear quanto para acionamento giratório.

Principalmente na furação profunda é necessária a remoção de cavacos, e para tal pode-se empregar esta unidade.

Neste caso, o avanço também está subdividido em avanço rápido e avanço de operação e o número de vezes que se efetua a remoção de cavacos depende da duração da operação, ajustada no elemento temporizador. O ajuste é função da profundidade do furo e da velocidade de / avanço.

O retorno do fuso de furacão depois de executar a operação é comandado em relação ao curso por uma válvula direcional.

A seqüência das operações é a seguinte: partida com avanço rápido até a peça e furar com avanço de operação; transcorrido o tempo / programado, realiza-se um retorno rápido e logo um avanço rápido até o fundo do furo, iniciando-se novamente o tempo 't' programado para furar.

7. Elementos sensores

Os sinais de comando dos sistemas hidropneumáticos são de muita / importância, pois a necessidade de um aproveitamento sempre maior / das instalações industriais e dos dispositivos de montagem, assim co / mo de uma maior segurança para o homem e a máquina, traz consigo sem / pre novas exigências para os elementos de automatização. Devido a is / so, em muitos casos pode ser usada unicamente a transmissão de si- / nais por detecção. Para essa transmissão podem ser usados também ele / mentos pneumáticos de sinais sem contato direto (sensores).

Os princípios básicos são dois:

- . barreira de ar
- . sensor de reflexão.

- . barreira de ar

A barreira de ar é formada por um bico emissor e um bico recep- / tor. Ambos são alimentados através da conexão P com ar isento de á- / gua e de óleo. A pressão de alimentação é de 0,1 a 0,2 bar. O consu- / mo de ar por essa razão é reduzido variando entre 0,5 a 0,8 m³/h. A / fim de eliminar a água e o óleo do ar, coloca-se antes do sensor um / filtro de ar com regulador de baixa pressão. Para se obter resulta- /

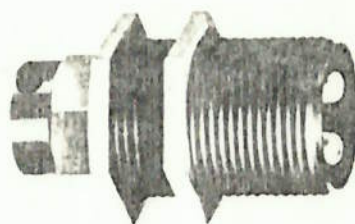
dos exatos a distância entre o bico emissor e o bico receptor não deve ser superior a 100 mm.

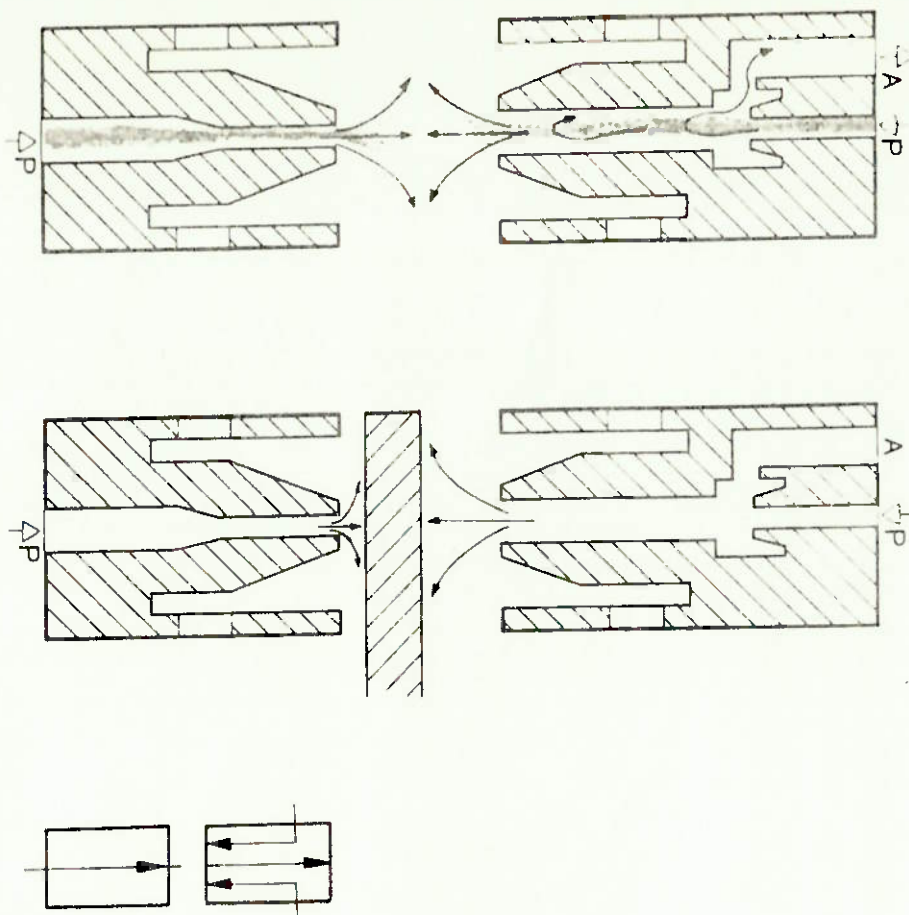
Os dois bicos (emissor e receptor) emitem um jato de ar. O bico/receptor emite ar para que permaneça sempre limpo e dessa maneira obtenha um sinal de comando perfeito. O jato de ar do bico receptor, / ou melhor, do bico emissor perturba a saída livre do bico receptor./ Devido a isso gera-se uma pressão de retorno a qual produz um sinal/ na saída A do bico receptor (5 mm de coluna de água ou 0,0005 mbar).

Um amplificador eleva o sinal até a pressão desejada. Quando um/ objeto é colocado entre os bicos, o sinal em A do bico receptor desaparecerá e devido a isso, uma válvula ligada ao sistema pode ser atuada (o sinal $A = 1$ transforma-se em $A = 0$).

A barreira de ar é sensível aos movimentos do ar, os quais influenciam o jato de ar que é emitido em baixa pressão, devendo ser instalada com a devida proteção.

São aplicados principalmente para contagem em máquinas, postos / de montagem, controle de peças, instalação em locais que oferecem / riscos, bobinadeiras, etc.

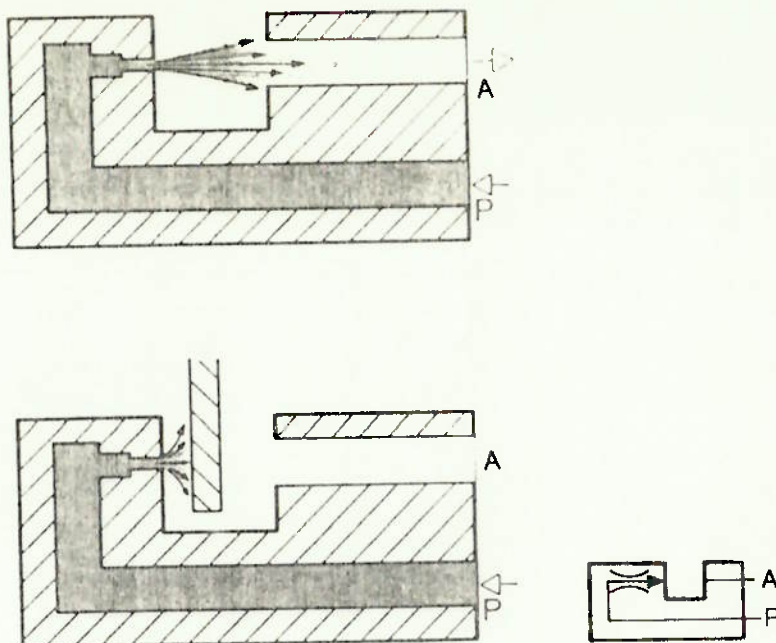




. barreira de ar em forma de garfo

A barreira de ar é alimentada através da conexão P com ar comprimido. Quando a passagem entre o emissor e o receptor está livre, aparece na saída um jato de ar (sinal). Quando um objeto interrompe a circulação de ar de P para A, o sinal A desaparece. Devido a isso pode ser atuada uma válvula ligada à barreira de ar. A pressão de alimentação na conexão P está situada entre 0,1 e 8 bar. Com o propósito de reduzir o consumo quando a pressão for alta, é recomendável / instalar uma válvula reguladora de fluxo no conduto de alimentação F.

Geralmente a espessura máxima é de 5 mm.



• sensor de reflexão (detetor por aproximação com bico anular)

O princípio do bocal Venturi é consideravelmente mais simples e/seguro contra influências perturbadoras do meio ambiente. O sensor /trabalha de acordo com esse princípio. Nesse emissor de sinais es- /tão reunidos, em um só elemento, o bico emissor e o bico receptor.

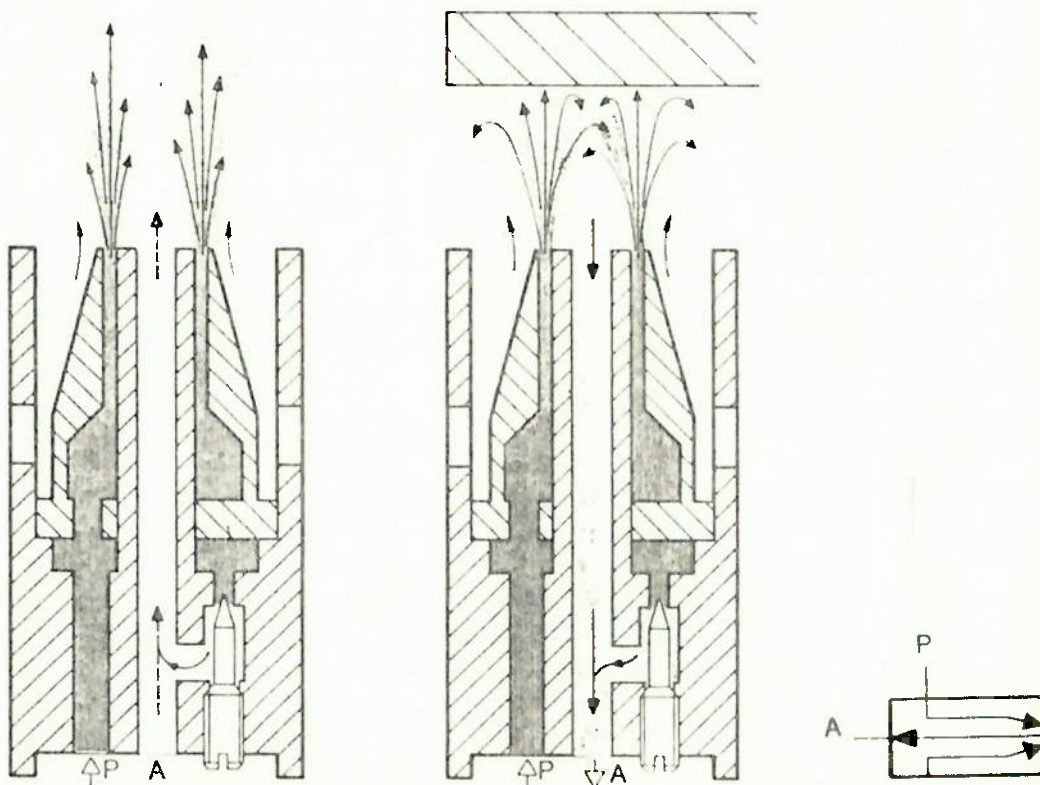
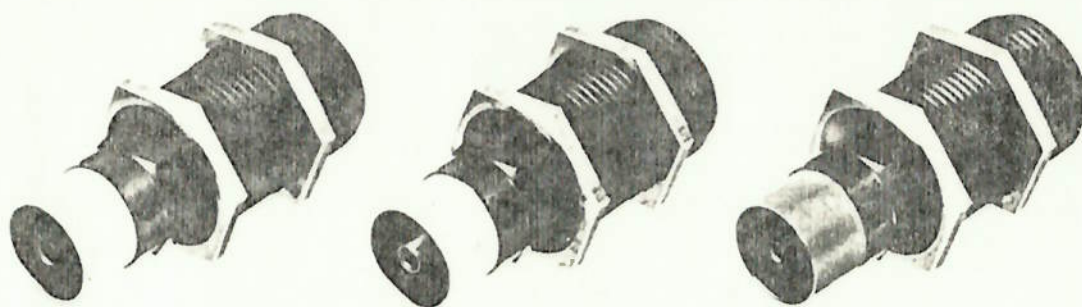
O sensor está formado por um bico emissor, um bico receptor, uma válvula de estrangulamento de fluxo e um corpo de proteção.

A conexão P é alimentada com ar comprimido (pressão de alimenta-ção 0,1 a 0,2 bar). Este flui para a atmosfera através do canal anu-lar externo. Esse fluxo de ar produz uma depressão no bico interno./Caso a saída de ar seja perturbada por um objeto colocado na frente/do canal anular, forma-se no bico receptor um represamento de retor-no (sobrepessão). Devido a isso aparece um sinal em A e o mesmo é re-cebido por um amplificador para ser retransmitido em forma amplifica-da. Dessa forma podem ser comandadas, outras válvulas. A válvula de/estrangulamento interna garante uma perfeita transmissão desse si- /nal. A distância de detecção entre o bico e a peça é de 1 a 6 mm.

A acumulação de sujeira, as ondas sonoras, a escuridão, os obje-

tos translúcidos ou anti-magnéticos não representam nenhuma influência perturbadora para a capacidade funcional do sensor.

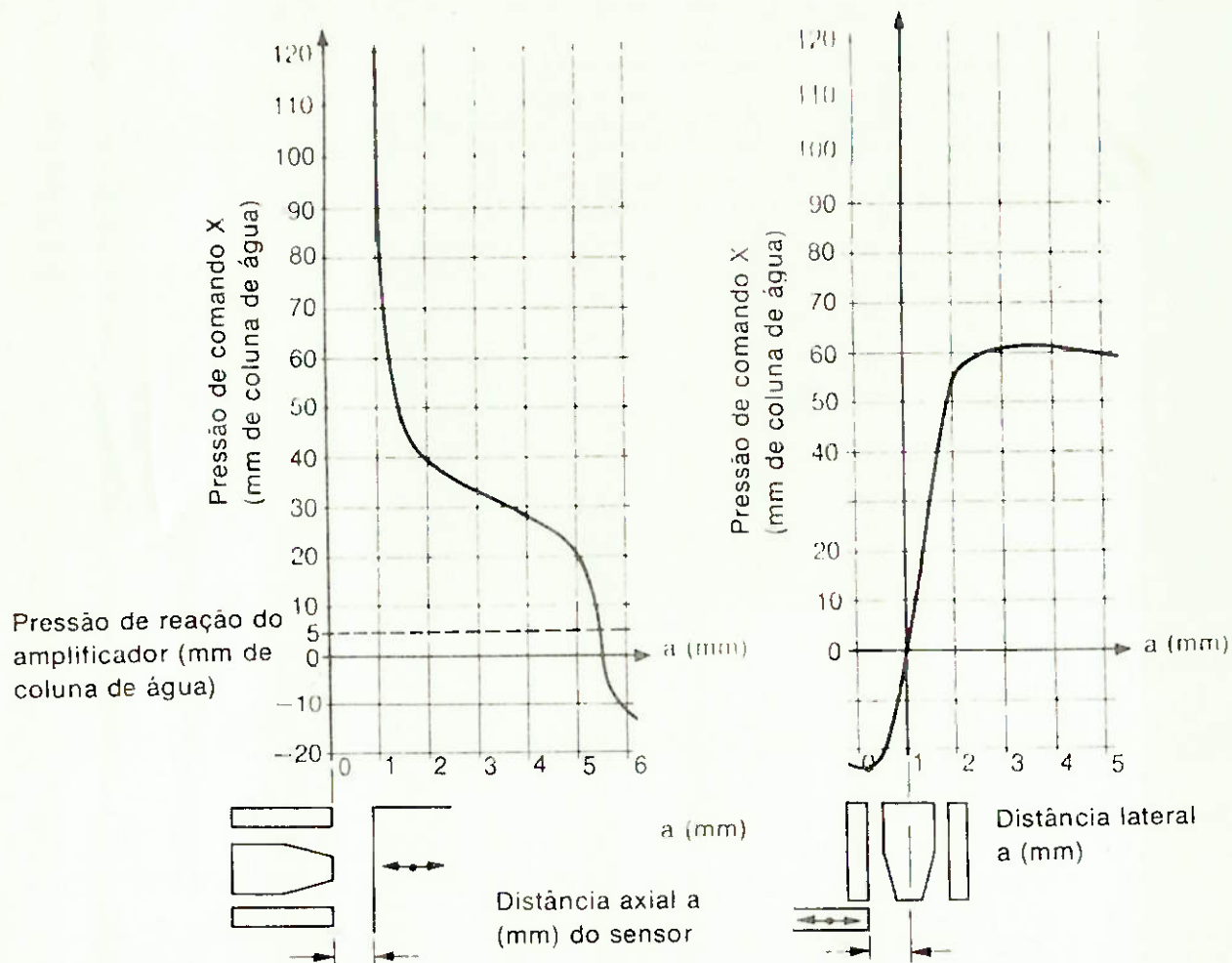
É aplicado como dispositivo de controle em ferramentas de prensagem e estampamento, controle e contagem de objetos na indústria têxtil e de embalagem, controle de alimentadores, controle de lâminas / metálicas ou sintéticas, etc.



Os diagramas abaixo representam as curvas características dos / sensores de reflexão.

O diagrama à esquerda indica a aproximação axial (frontal) com / uma pressão de alimentação de $P = 0,15$ bar.

O diagrama à direita indica a aproximação lateral, também com / uma pressão de alimentação de $P = 0,15$ bar.



. tubo sensor

Neste tipo, da conexão de alimentação P sai um fluxo constante de ar até a saída do detetor (faixa de pressões de 0,1 até 8 bar). O / ponto de estrangulamento dentro do tubo limita a vazão de ar.

Fechando-se a saída do tubo sensor aparece um sinal na saída A./ Fechando-se completamente a saída, a pressão do sinal se eleva até /

alcançar a pressão de alimentação P. Devido a este fato, uma amplificação é desnecessária.

A fim de evitar uma perda de ar muito grande, o tubo sensor pode ser alimentado com ar, somente quando for necessário emitir um sinal. Instalando-se uma válvula reguladora de fluxo será possível regular/ com toda exatidão a sensibilidade do tubo sensor.

Emissão de sinais dependentes do curso, funcionando como válvula fim de curso ou limitador fixo é a sua principal aplicação. É apropriado também para apalpar posições finais e controlar posição.

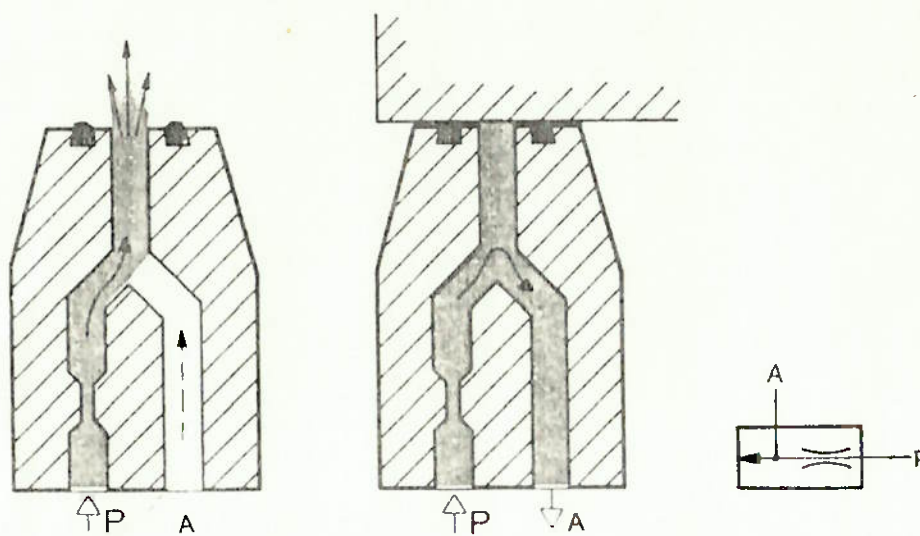
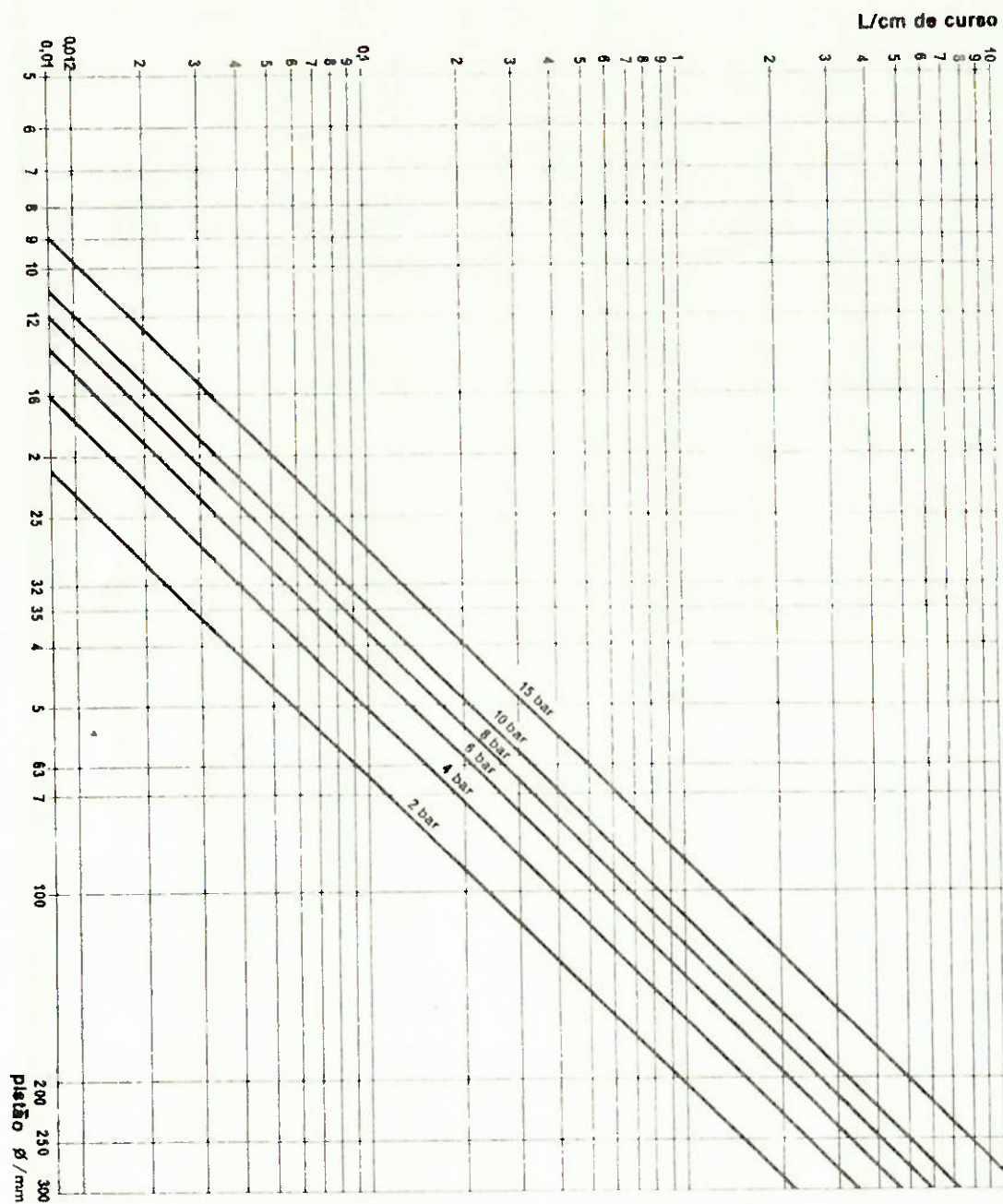


Diagrama de consumo de ar, para diversos diâmetros de cilindro em /
função da pressão de trabalho.



III. CONCLUSÃO

=====

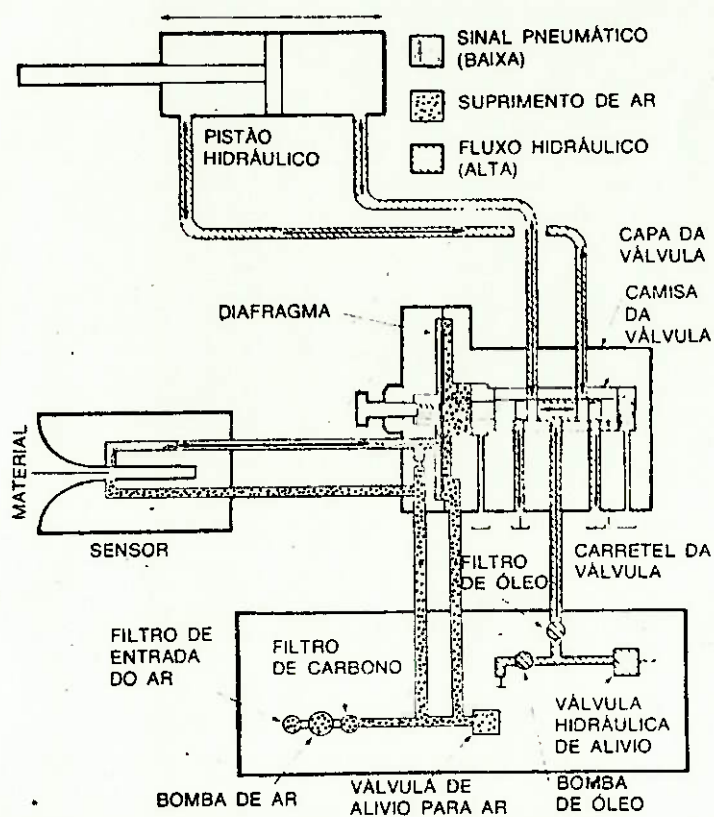
Para a utilização específica em sistemas hidropneumáticos os compressores são de pequeno porte, ou seja pequena capacidade. Isto porque o consumo de um sistema apenas, não é grande. Sendo assim os compressores utilizados são de vazão pequena e média, ou seja, compressores de pistão e compressores rotativos.

Quando se desejar um compressor de funcionamento suave, com um baixo nível de ruído e sem pulsações na linha o mais recomendado é o de parafusos helicoidais. Comercialmente podem ser encontrados para uma pressão de trabalho nominal de 7 bar ou 10 bar acionados por motor elétrico de 3530 rpm.

Normalmente, numa indústria onde se utiliza um sistema hidropneumático é de se supor que haja um circuito pneumático. Portanto a rede de ar comprimido deve ser calculada considerando-se todos os elementos pneumáticos, inclusive os cilindros dos sistemas hidropneumáticos.

Uma aplicação típica de um sistema hidropneumático, inclusive com a utilização de sensores está na figura da página seguinte.

Neste sistema de alinhamento automático o sensor pneumático dirige o material processado, enviando um sinal a uma servo-válvula, que é provida de uma unidade de força, para fornecer a uma guia um sinal de saída hidráulica proporcional, a qual reposiciona o material de maneira adequada. (Produto da Fife do Brasil Ltda.)



Fluxograma da Unidade de força FIFE pneumo-hidráulica

IV. BIBLIOGRAFIA

=====

SILVA, Remi Benedito - Compressores, bombas de vácuo e ar comprimido. 2ª ed., São Paulo, Grêmio Politécnico-DLP, 1980.

TRADE & TECHNICAL PRESS - Princípios de pneumática, trad. Josef Manasterki. São Paulo, Polígono, 1970.

YEAPLE, Franklin D. - Hydraulic and pneumatic power and control: / design, performance, application. New York, McGraw-Hill, 1966.

PFLEIDERER, Carl - Bombas centrifugas y turbocompressores, trad. de / la 4ª ed. alemana por Rafael Miravitllas Serradell. Barcelona, / Labor, 1960.

MEIXNER, H. & KOBLER, R. - Introdução à Pneumática. 2ª ed., São Paulo, Festo Didatic, 1978.

CATÁLOGOS

=====

Atlas Copco

Fife do Brasil