

PRINCÍPIOS E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

- Presentemente a maior parte dos processos industriais de manufatura recorrem ao ar comprimido por forma a levar a cabo sequências automatizadas de produção.
- O estudo do comportamento, assim como da aplicação do ar comprimido para a transmissão de energia, é conduzido por um ramo da mecânica designado por pneumática.
- A razão subjacente à utilização de ar comprimido é a de efectuar trabalho.
- A realização de trabalho requer a aplicação de energia cinética a um objecto do que resulta o seu deslocamento.
- No caso concreto de um sistema pneumático, a energia é armazenada num estado de potencial sobre a forma de ar comprimido.

A utilização de ar comprimido para a realização de algumas tarefas não é um conceito recente!

- O primeiro compressor que pode ser considerado o precursor dos modernos compressores foi desenvolvido apenas no século XVIII pelo Inglês John Wilkinson.

Presentemente, e com a introdução dos sistemas de actuação pneumáticos, a indústria beneficia de uma estratégia pouco onerosa para a automatização de processos.

- Disponibilidade do ar.
- Baixo índice de poluição.
- Compressibilidade do ar.
- Fácil transporte (tubagens ou contentores).
- Utilização em meios com risco de incêndio ou explosão.
- Equipamentos leves e compactos.
- Elevado grau de controlo da pressão, velocidade e força.
- Fácil manutenção.

Desvantagens: o custo por metro cúbico de ar comprimido é relativamente elevado visto que, uma parte substancial da energia consumida no processo de compressão, é perdida sobre a forma de calor. (baixo rendimento)

O AR E A PRESSÃO ATMOSFÉRICA

- O planeta Terra está rodeado de ar até uma altitude de aproximadamente 1600 km acima da sua superfície.
- Esta camada de ar em torno do planeta é designado por atmosfera.

A atmosfera é principalmente composta por:

- nitrogénio (78%)
- oxigénio (21%)

Devido ao peso da massa de ar que circunda o planeta, uma pressão é exercida na sua superfície.

- A esta força por unidade de área é dada o nome de pressão atmosférica
- Foi primeiramente medida, recorrendo a uma coluna de mercúrio, por Torricelli no século XVII
- A pressão atmosférica, ao nível normal das águas do mar, é de 760 mm de mercúrio, i.e. 760 mmHg

Presentemente, a unidade milímetro de mercúrio está obsoleta no que se refere à unidade de medida da pressão seja ela atmosférica ou de qualquer outra natureza.

UNIDADES DE PRESSÃO

$$P=F/A$$

A unidade SI de pressão é N/m² ou seja o pascal (Pa).

Apesar de grande parte dos países terem aderido ao sistema internacional de unidades, existe no entanto alguma inércia no que se refere a abandonar outros sistemas de unidades obsoletos e muitas vezes imprecisos.

Ex. kg/cm², atm, psi

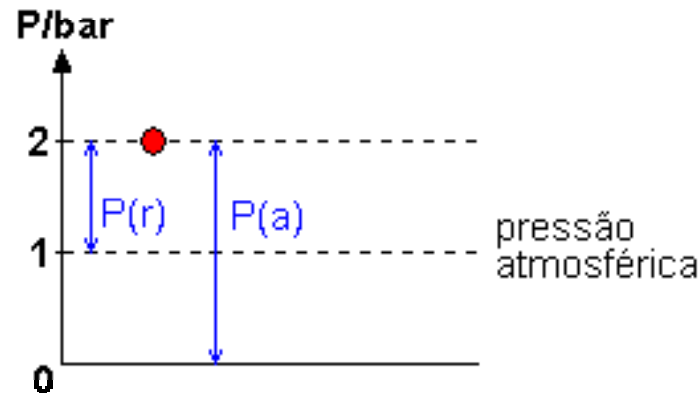
Para aplicações industriais, uma co-unidade de pressão é ainda aceite pelo SI e essa unidade é o bar.

1 bar ~ P atmosférica = 0,1MPa

Consideração a ter em conta quando se fala de pressão:

Pressão Absoluta Vs. Pressão Relativa

A pressão absoluta é a pressão medida a partir do vácuo e a pressão relativa é a pressão medida acima da pressão atmosférica.

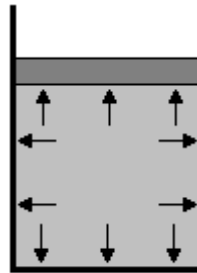


LEIS DE PASCAL

As leis de Pascal relativas à pressão num fluído (tanto líquido como gasoso) podem ser sumariadas da seguinte forma:

- A pressão é a mesma em todas as direcções de um volume contido (negligenciando o peso do fluído)
- A pressão actua simultaneamente e igualmente em todas as direcções.

- A pressão age sempre em ângulos rectos a qualquer superfície em contacto como fluído.



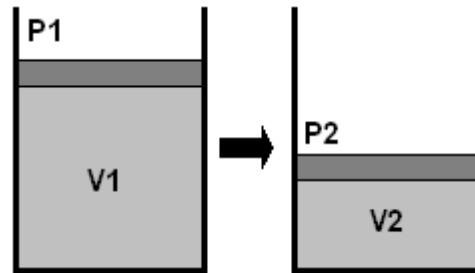
LEIS DOS GASES PERFEITOS

As relações, num gás perfeito, entre três quantidades físicas distintas: pressão, volume e temperatura podem ser expressas recorrendo a quatro leis básicas.

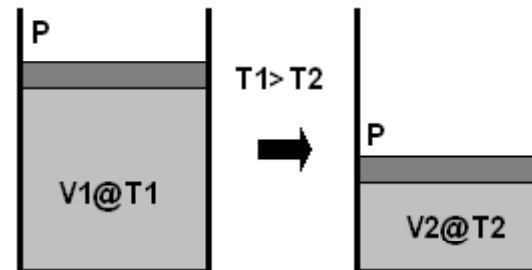
- O termo gás perfeito refere-se a um gás puro, i.e sem misturas
- A menos de um pequeno desvio, o ar comporta-se como um gás perfeito

Lei de Boyle

O volume do gás varia de forma inversamente proporcional à pressão absoluta.

**Lei de Charles**

O volume de gás é directamente proporcional à temperatura



Lei de Gay-Lussac

A pressão absoluta do gás é directamente proporcional à temperatura absoluta.

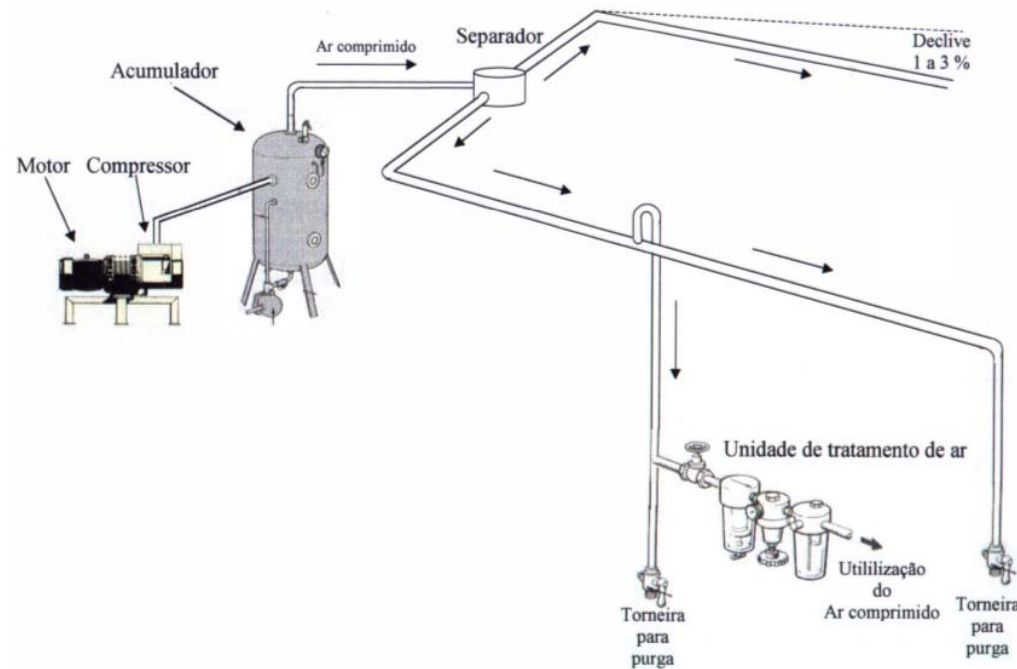
Lei de Boyle-Mariot

Em aplicações práticas as três variáveis analisadas podem sofrer alterações simultaneamente

As três leis revistas anteriormente podem ser concatenadas em uma:

$$P1.V1.T2 = P2 . V2 . T1$$

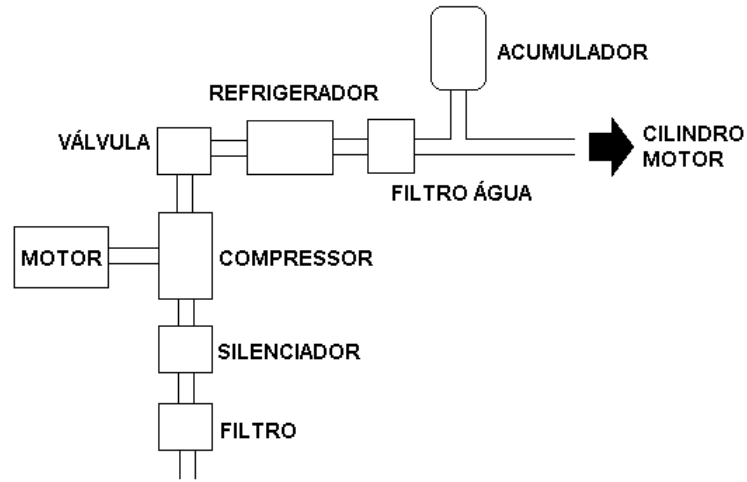
PANORÂMICA DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO



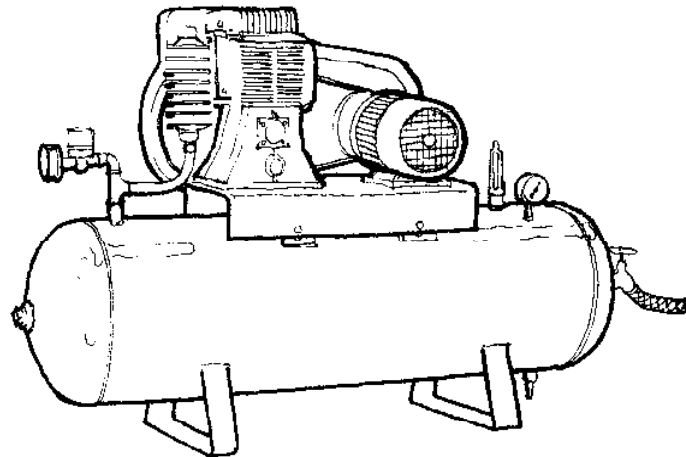
Critério de Qualidade

Diferentes Abordagens

O requisito óbvio de um sistema de ar comprimido é o de que este seja capaz de fornecer o fluxo de ar necessário a uma dada pressão para a operação de um conjunto de equipamentos consumidores.



Não é obrigatório os componentes estarem afastados!



• Além da etapa de produção, um sistema completo de ar comprimido envolve também um conjunto de dispositivos de controlo e de actuação.

O controlo do ar comprimido no circuito é levado a cabo por válvulas.

As válvulas podem desempenhar o papel de regulação de pressão ou controlo de fluxo.

No que se refere aos actuadores pneumáticos existentes estes são essencialmente de dois tipos:

- cilindros
- motores pneumáticos.

Os primeiros são usados para desenvolver trabalho no sentido axial (ou, indirectamente, no sentido semi-ângular) e os motores pneumáticos no sentido ângular.

PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Produção e condicionamento do ar comprimido

Produção: Compressor

Condicionamento: Filtros, secadores, lubrificadores, refrigeradores

COMPRESSORES

- É o coração de uma instalação de ar comprimido
- O seu objectivo é elevar a pressão do ar admitido à pressão necessária ao funcionamento de um dado conjunto de actuadores.

A energia necessária à realização dessa função é fornecida mecânicamente através de um motor eléctrico acoplado ou, menos frequentemente, por um motor de combustão interna.

Duas famílias distintas de compressores:
os de deslocamento positivo
e os dinâmicos

- Nos compressores de deslocamento positivo, a compressão do ar dá-se pela redução física do volume de uma massa constante de ar.
- Nos compressores dinâmicos o fenómeno de compressão é devido à transmissão de energia cinética ao ar acelerando-o

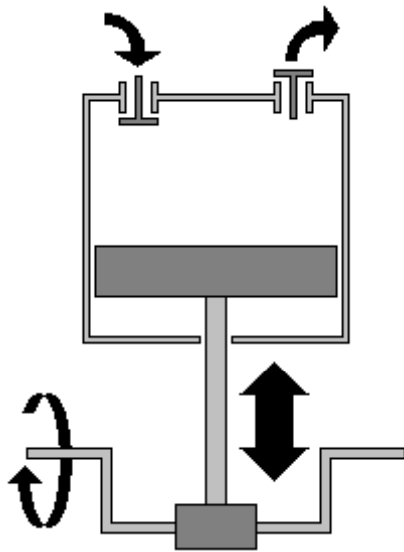
Compressores de deslocamento positivo:

- Alternativos
- Rotativos
 - Palhetas
 - Parafuso

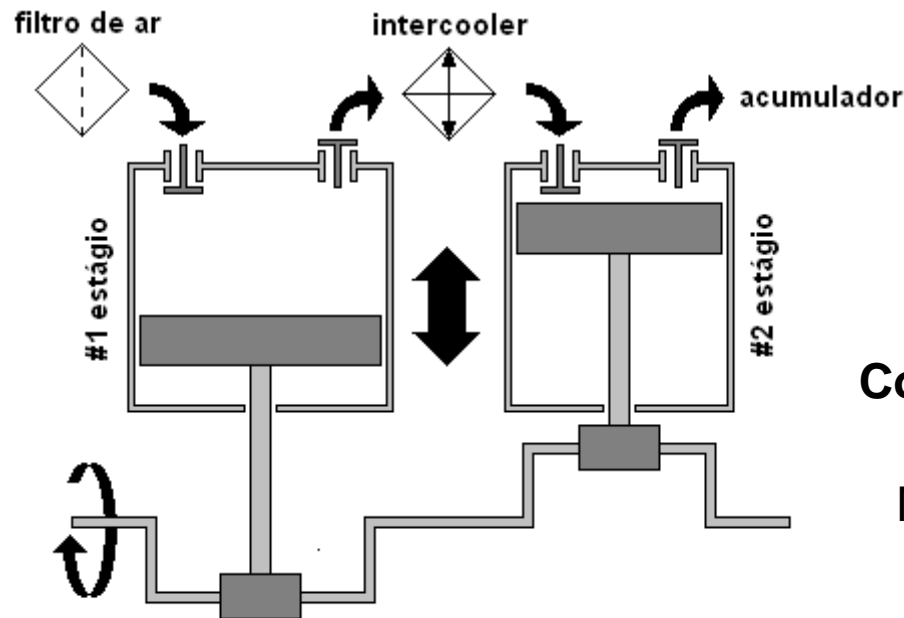
COMPRESSORES ALTERNATIVOS

Os compressores alternativos ou de vaivém consistem em um ou mais pistões que se movem no interior de um ou mais cilindros.

Os pistões estão mecanicamente ligados a uma cambota que, por sua vez, está adaptada a um motor eléctrico ou motor de combustão interna



A potência consumida no processo de compressão pode ser consideravelmente reduzida se a compressão do ar for executada em dois ou mais estágios com refrigeração do ar entre estágios.



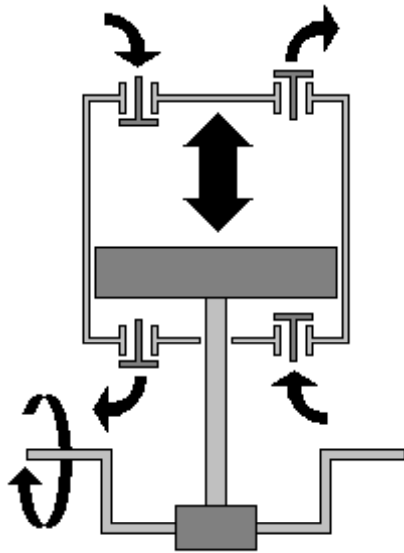
Compressor a Dois Estágios

Melhor Desempenho

O intercooler consiste num permutador de calor projectado para reduzir a temperatura do ar comprimido proveniente do primeiro estágio

- Arrefecimento a Ar
- Arrefecimento a Água

- Cilindros são de acção simples: existe apenas uma sucção e uma compressão por ciclo para cada cilindro.
- Outra estratégia de compressão passa pela utilização de cilindros de dupla acção.



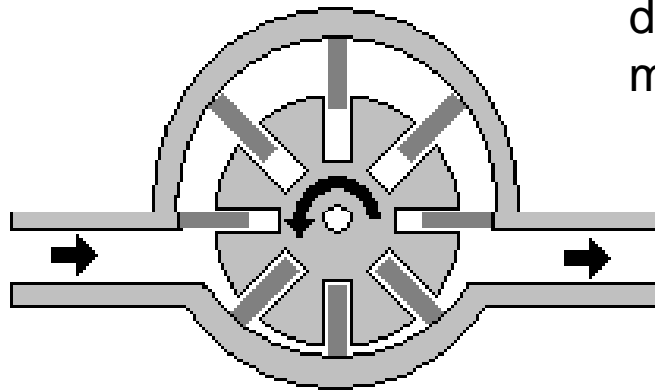
Num compressor com cilindros de dupla acção a compressão do ar toma lugar em ambos os lados do pistão implicando o dobro do número de compressões por revolução.

COMPRESSORES ROTATIVOS

- A redução de volume não é conseguida por pistões mas pelo movimento de rotação de um conjunto de peças móveis.

Os tipos mais conhecidos são os de palhetas e os de parafuso

Os compressores de palhetas possuem um rotor cilíndrico colocado de forma excêntrica relativamente ao eixo de outro cilindro dentro do qual roda.



O rotor possui entalhes radiais dentro dos quais são transportadas palhetas móveis

Este tipo de compressores possui dimensões e pesos baixos e funcionam a velocidades elevadas.

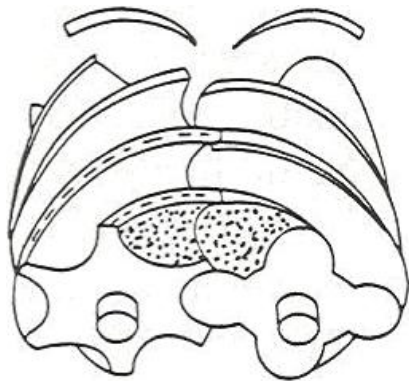
Injecção constante de lubrificante:

- Reduzir o atrito
- Colmatar fugas

Resultado colateral: Arrefecimento do ar

Necessidade de filtros de óleo!

Compressores de Parafuso:



- São concebidos a partir de dois parafusos, um com contorno convexo e outro côncavo.

- O ar é aprisionado numa cavidade entre espirais adjacentes e obrigado a comprimir por redução do volume .

- Os compressores rotativos possuem a vantagem de fornecer um fluxo de ar praticamente contínuo sem grandes componentes de alta frequência.
- Devido à sua concepção a trepidação associada ao funcionamento destas máquinas é muito menor.
- As pressões fornecidas são quando comparadas com os compressores a pistão

PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE COMPRESSORES

Os parâmetros básicos que definem o desempenho de um compressor são:

- A pressão a que este é capaz de fornecer o ar
- O fluxo nominal de ar fornecido
- Consumo de potência.

- A pressão do ar debitada por um compressor é fornecida pelo fabricante, em termos relativos!!!!
- A capacidade é frequentemente expressa em decímetro cúbico normal por segundo ou, alternativamente em metro cúbico normal por hora.

O que é um metro cúbico normal?

- O ar é comprimível estando portanto o seu volume dependente da pressão e da temperatura.
- Quando se estabelece a capacidade de um compressor é necessário definir para que condições é que esse fluxo é válido.
- Ao volume definido deve estar associado um valor de pressão e temperatura.

Norma: $P=1$ bar e $T=20^{\circ}\text{C}$

O ar nestas condições é conhecido como ar livre (free air) ou normal.

- A capacidade de um compressor é fornecida pelo fabricante em unidades normais ou f.a.d. (*free air delivered*)
- A medida volumétrica no sistema de internacional de unidades é o litro (ou metro cúbico)
- A razão de fluxo de ar fornecido por um compressor é definido em dm^3/s (f.a.d.).

Outro parâmetro adicional apresentado nos compressores excitados por motor eléctrico é a potência consumida.

SI Potência expressa em watt (W)

DIMENSIONAMENTO DE COMPRESSORES

Não é uma tarefa determinística!!!!

É necessário admitir (adivinhar!?) um conjunto de condições de funcionamento....

Depende:

- Da pressão de funcionamento dos actuadores
- Dimensão da rede de tubagem
- Do fluxo requerido
- Do ciclo de trabalho
- Possibilidade de expansão do circuito

Regra Empírica: somar os consumos médios de todas as máquinas existentes na planta e instalar um compressor com o dobro da capacidade de volume de ar requerido.

CONTROLO DE COMPRESSORES

- As características do ar comprimido debitado pelo compressor devem ser adaptadas aos requisitos dos dispositivos de actuação pneumática.
- O factor de utilização pode não ser constante o que obriga a uma carga irregular aplicada ao compressor.
- Devido ao normal dimensionamento da máquina, a saída do compressor estará acima do consumo médio exigido

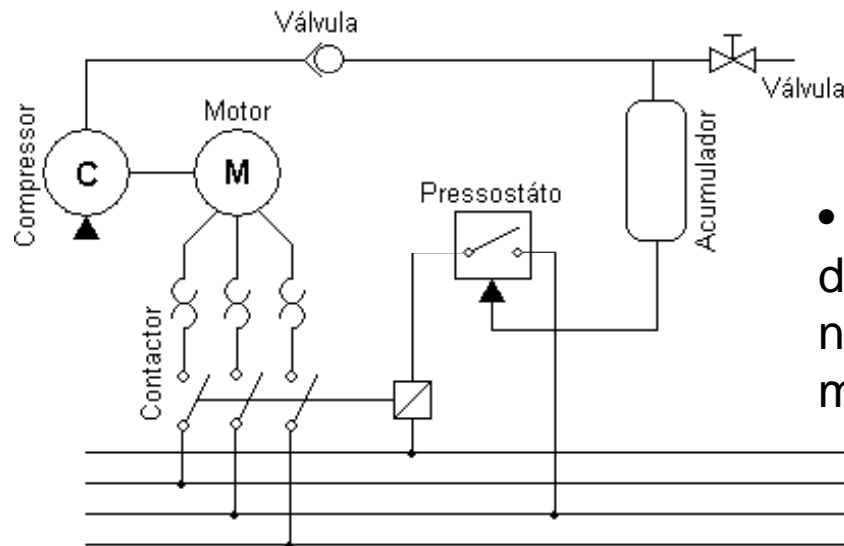
Sem uma estratégia de controlo o ar em excesso fornecido seria libertado para a atmosfera => perda de energia => gastos adicionais

Para cargas irregulares, é possível aplicar uma das seguintes estratégias de controlo:

- Controlo On/Off
- Controlo por Estrangulamento
- Controlo por Inibição da Compressão
- Controlo de Velocidade

Controlo On/Off***Requisitos de ar altamente intermitentes.***

Nesta estratégia de controlo, um pressostáto (tipo normalmente fechado) liga ou desliga o motor eléctrico associado ao compressor em função da carga.

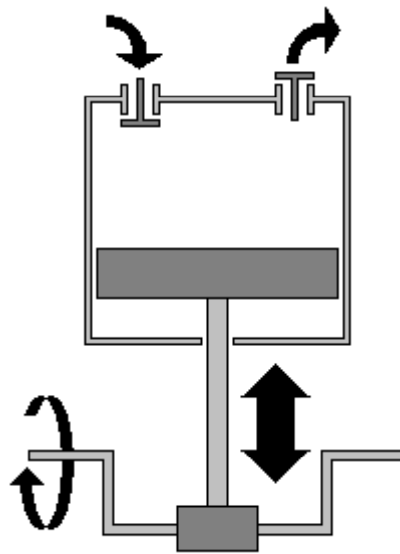


- Dispositivo sensor pneumáticamente ligado ao acumulador
- Por forma a minimizar o desgaste mecânico e eléctrico o número de arranques deve ser mantido inferior a 20 por hora

Estrangulamento da Entrada

- A admissão do ar no compressor é controlada por uma válvula pneumática proporcional.

Controlo da Compressão



Controlo de Velocidade

Volume varrido por um compressor alternativo de um cilindro

$$Q_s = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot l \cdot \omega$$

Apesar da variação da velocidade do motor poder ser um método muito eficiente para alguns tipos de compressores, é tecnologicamente complexa e cara do ponto de vista económico.

ACUMULADORES

O acumulador ar comprimido é uma peça fundamental num sistema pneumático.

Entre as diversas funções que lhe são associadas é possível enumerar as seguintes:

- Manutenção da Pressão Constante
 - Minimização do desgaste do compressor
 - Contribuição para a redução da humidade no circuito
-
- Para instalações fornecidas por compressores alternativos, o volume pulsado de ar comprimido gerado é uniformizado pelo tanque de ar.
 - Uniformização da pressão é fundamental para a operação dos actuadores
-
- Pelo facto do acumulador poder manter a pressão no interior do circuito nos intervalos de tempo de vazio de carga permite uma actuação mais espaçada do compressor.
 - Nos períodos em que não existem solicitações o compressor pode ser mantido em repouso.

Capaz de complementar o débito do compressor em instantes de pico

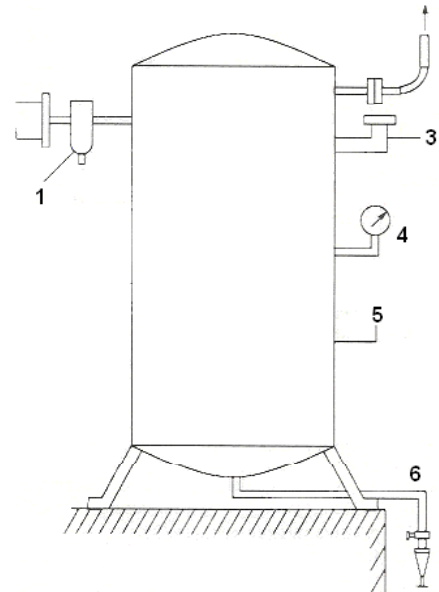
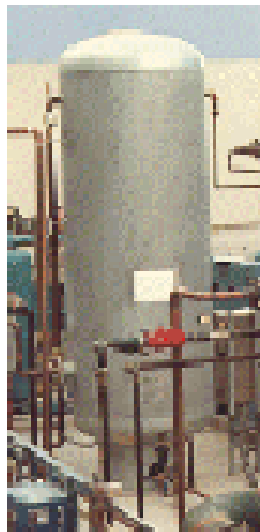
- Outra função associada ao reservatório: Redução da humidade

A capacidade de retenção de água pelo ar atmosférico aumenta com a temperatura e diminui com a pressão.

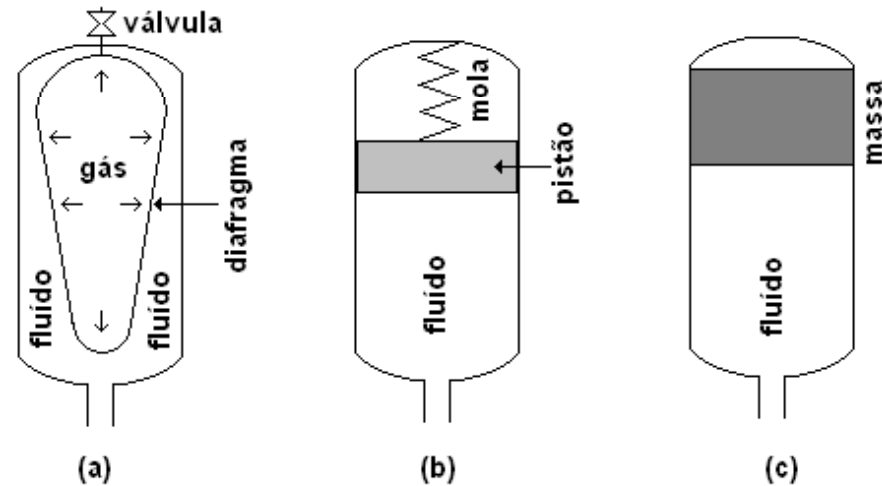
- A humidade resultante da condensação, se não for removida, acumula-se nas diversas partes do sistema de distribuição.
- Com a adição de um acumulador ao circuito pneumático, a condensação gerada pela compressão do ar a jusante do reservatório é reduzida.
- O ar perde grande parte da sua temperatura enquanto armazenado.

ESTRUTURA FÍSICA

Em termos de concepção, um acumulador é essencialmente um reservatório no qual a ar é mantido sobre pressão.



Os acumuladores podem ser de gás estanque, de mola ou gravíticos.



DIMENSIONAMENTO DE UM ACUMULADOR

O dimensionamento do volume de um acumulador de ar comprimido é muitas vezes levado a cabo recorrendo a regras empíricas.

$$V(\text{res m}^3) = 1/10 \times \text{Cap. Comp (m}^3/\text{min)}$$

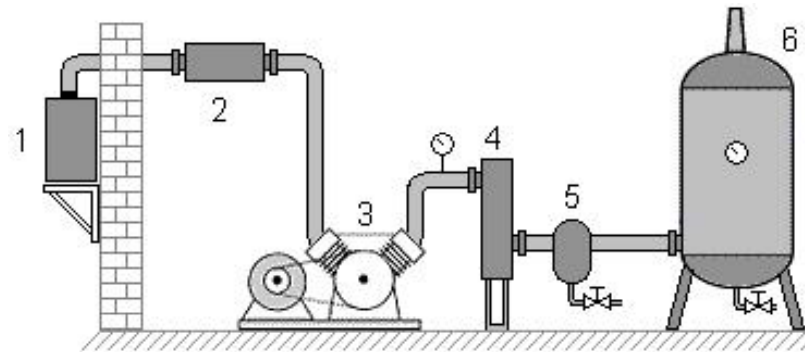
- Estas regras empíricas conduzem normalmente a um sobredimensionamento do reservatório.
- Frequentemente esse sobredimensionamento é útil quando existem picos de consumo superiores à capacidade do compressor.
- Um acumulador deve ser suficientemente grande para comportar todo o ar debitado pelo compressor durante um minuto
- Desta forma o dimensionamento do acumulador deve ser tal que implique um limite máximo de 20 arranques do compressor por hora.

UNIDADES DE CONDICIONAMENTO DO AR

- Refrigeradores
- Secadores
- Reguladores
- Lubrificadores
- Filtros de Ar

REFRIGERADORES (aftercooler)

- É um dispositivo colocado entre o compressor e o acumulador com o objectivo de remover a humidade do ar comprimido.
- Permutador de calor capaz de reduzir a temperatura do ar debitado pelo compressor provocando assim a condensação da humidade no ar.
- Normal em sistemas de grande porte. Em sistemas de pequeno porte o acumulador e as tubagens encarregam-se desta tarefa

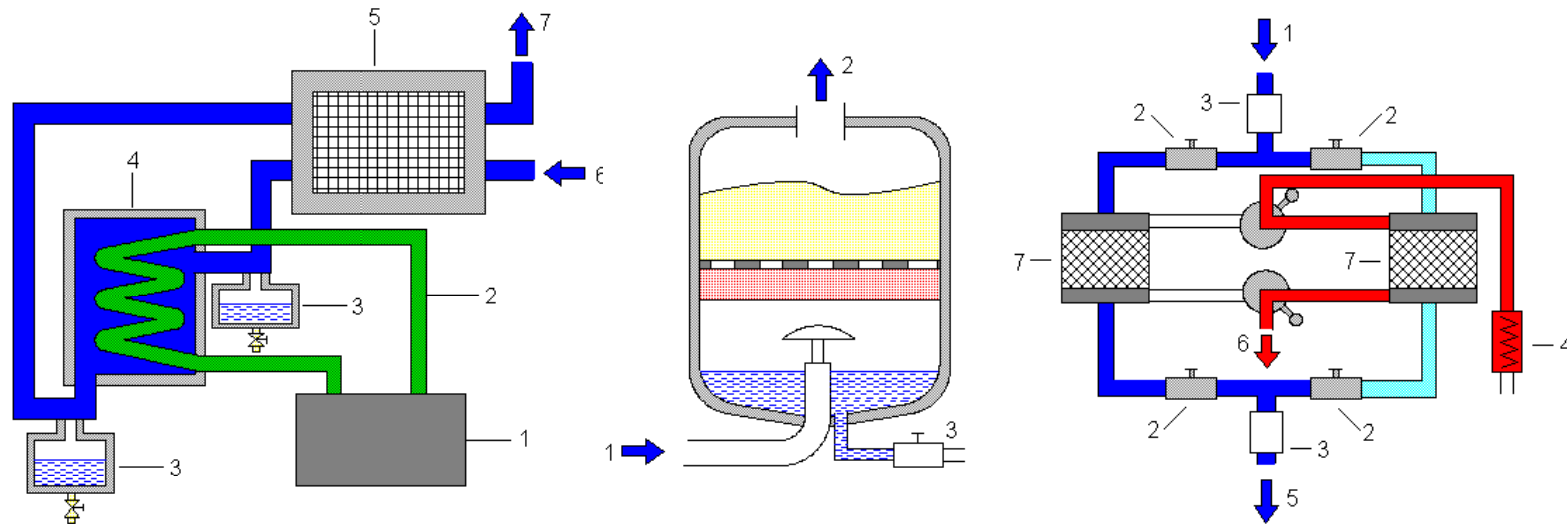


SECADORES

O aftercooler não consegue remover toda a água do ar.(apenas 60 a 70%)

Secadores:

- Refrigeração
- Absorção
- Adsorção

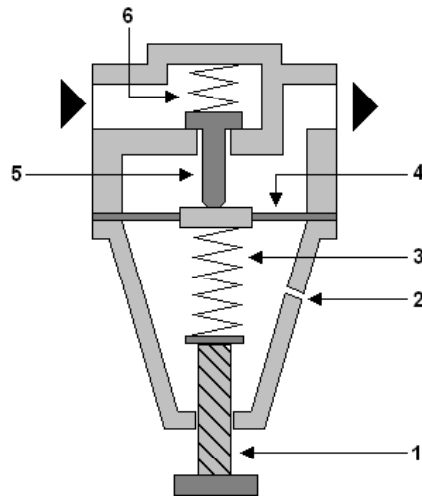


Refrigeração: Maior consumo energético

Absorção/Adsorção: Manutenção

REGULADORES DE PRESSÃO

- Devem ser usados a montante de qualquer sistema de actuação pneumático
- Estabelecer o menor valor de pressão para o qual o equipamento opera de forma satisfatória
- O consumo de ar é minimizado e o desempenho do sistema completo de ar comprimido aumenta

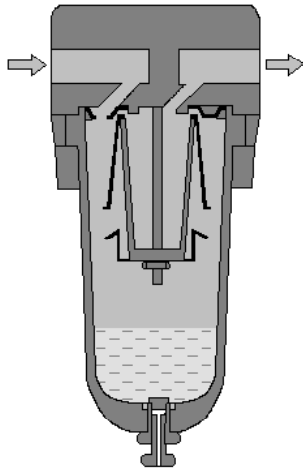


Funciona com base num sistema de equilíbrio de forças!

FILTROS DE AR

Dois tipos de filtros de ar:

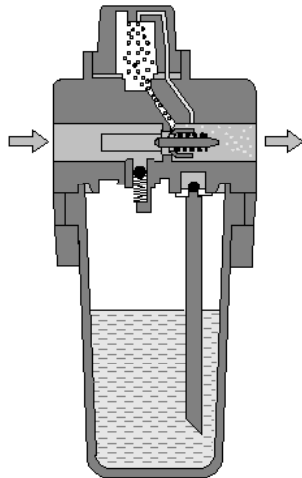
- Um montado a montante do compressor
 - Outro(s) a jusante
- O filtro de ar a montante possui como principal função a retenção de partículas em suspensão no ar.
 - As impurezas transportadas pelo ar sugado contribuiriam para um maior desgaste da máquina



A jusante do compressor o filtro de ar contribui para a retenção de partículas e também de gotículas de água ou óleo.

LUBRIFICADORES

- O ar depois de filtrado e regulado deve ser lubrificado
- Óleo deve ser injectado e transportado pelo fluxo de ar por forma a fornecer a lubrificação adequada às válvulas, cilindros e motores presentes no sistema



- A quantidade de óleo debitada deve ser devidamente ajustada.
- O lubrificador deve ser posicionado o mais próximo possível da unidade que vai servir

Não são capazes de fornecer lubrificação adequada a uma distância superior a 10 m.

SISTEMA DE TUBAGENS

A etapa que se segue à produção e condicionamento é o transporte.

O transporte do ar comprimido, desde o ponto de produção até ao ponto de consumo, é realizado por uma rede de tubagens.

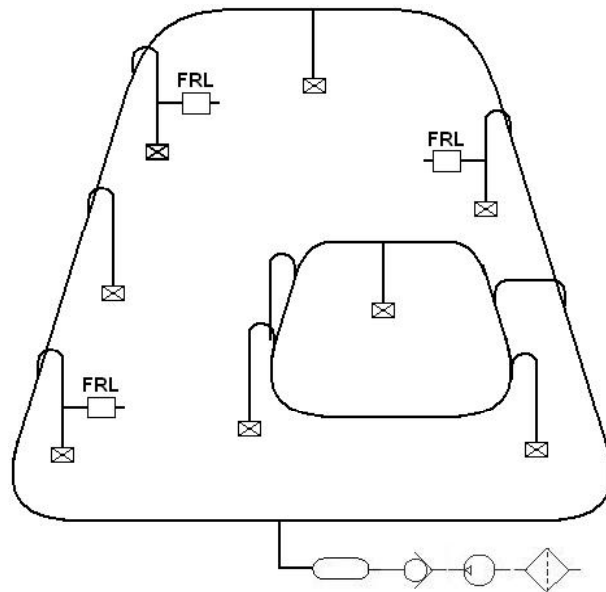
As condutas de transporte devem ser concebidas em materiais próprios para o efeito.

Tipo de Material	Pressão Máxima/bar
Cobre	250
Alumínio	125
Aço Inoxidável	2500-4500
Nylon @ 100°C	7-10
Vinil @ 25°C	8-10
Borracha @ 80°C	3-7

O seu correcto dimensionamento é um factor primordial por forma a serem garantidas as condições correctas de funcionamento

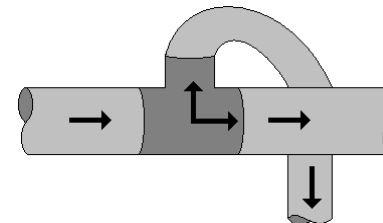
Importante: Garantir baixas quedas de pressão

- O comprimento total do tubo, assim como o número de curvas, deve ser minimizado
- Uma das topologias normalmente usadas nas redes de distribuição de ar comprimido é a estrutura em anel.



as tubagens principais devem ser montadas com um gradiente de 1 a 2% na direcção do fluxo do ar

As tomadas de ar são efectuadas pela parte superior do tubo.



Queda de Pressão

- Manutenção de uma pressão constante em todos os pontos do circuito
- Qualquer queda de pressão na rede de tubagens representa um desperdício de energia

A queda de pressão num circuito pneumático é devida aos fenómenos de fricção e depende

- do diâmetro e comprimento efectivo das condutas
- do fluxo de ar

$$\Delta P = \frac{800 \times l \times \Phi_{ar@f.a.d.}^2}{R_{comp} \times d^{5.3}} \quad R_{comp} = \frac{\text{Pressão Absoluta de Saída}}{\text{Pressão Absoluta de Entrada}}$$

Comprimento em metros, fluxo de ar em l/s e diâmetro em mm

Outra estratégia: Numograma

Por razões económicas é ideal que a queda de pressão total seja << 0,1 bar.

DIMENSIONAMENTO DE CONDUTAS

- Quando se determina o diâmetro do sistema de tubagens deve ter-se sempre presente a possibilidade de expansão futura do sistema
- A velocidade máxima do ar na conduta principal deve ser majorada a 9 m/s (tipicamente 6m/s)

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot \Phi_{ar@ \alpha}}{\pi \cdot \bar{v}_{max} \cdot R_{comp}}}$$

Diâmetro Nominal / mm											
15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200

VÁLVULAS PNEUMÁTICAS

- As válvulas são elementos de um circuito de ar comprimido usadas para o controlo e regulação da energia pneumática.

Uma válvula pode pertencer a um dos seguintes grupos:

- Controlo da direcção
- Regulação do fluxo
- Regulação da pressão

CONTROLO DA DIRECÇÃO

As válvulas de controlo de direcção podem ser catalogas segundo o número de estados e o número de portas I/O (orifícios)

2 ou 3 estados

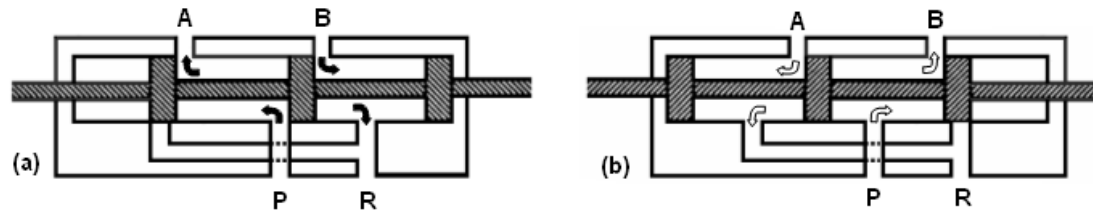
2 a 5 portas

- Uma válvula com dois estados e três aberturas é designada por válvula 3/2

As válvulas são constituídas por uma sede metálica (ou de material sintético) no interior do qual existe um mecanismo que se encarrega de todos os desvios de fluxo de ar.

Este mecanismo poderá consistir:

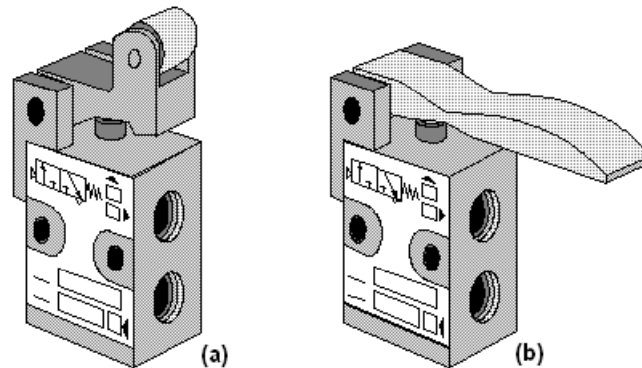
- Num pistão distribuidor
- Num diafragma.



A direcção do fluxo no interior da válvula depende da posição relativa do pistão distribuidor.

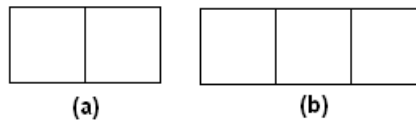
Estratégias de comando de válvulas:

- Manual (botão, pedal, etc.)
- Mecânica (rolete, haste, etc.)
- Eléctrica (solenóide)
- Pneumática
- Mista

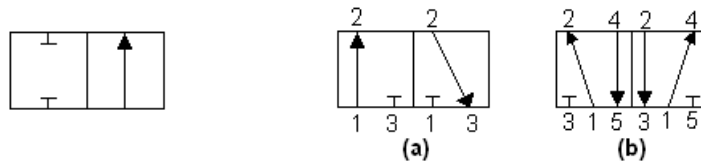


Representação de válvulas em simbologia CETOP

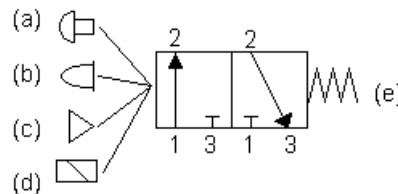
Em dois ou três quadrados adjacentes



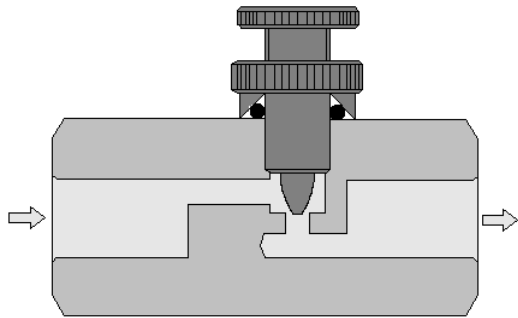
Representação pictórica, para cada estado, das portas e direcções do fluxo a elas associadas



Numa representação pictórica do tipo de controlo associado à válvula



CONTROLO DE FLUXO



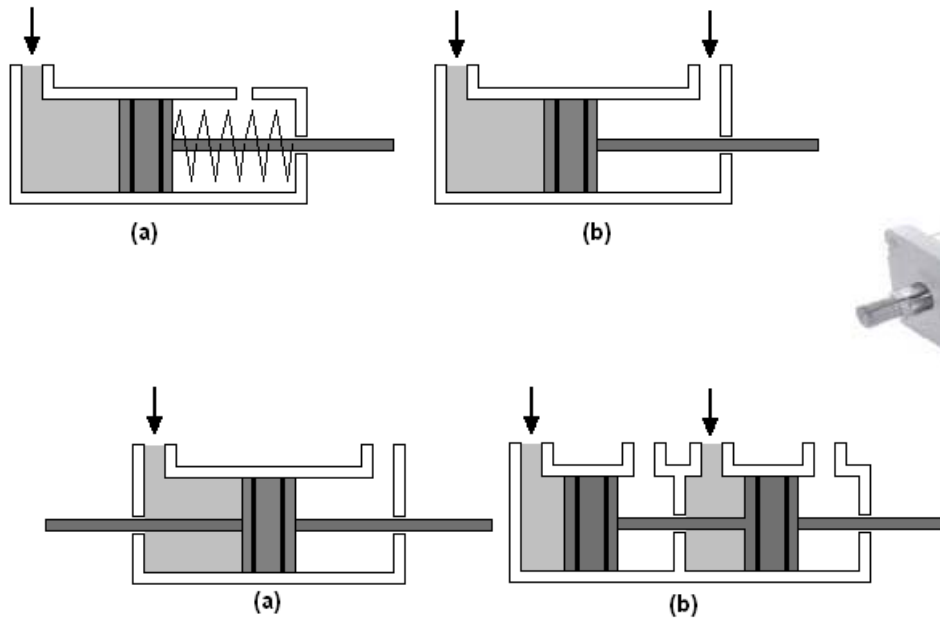
Regulação da velocidade em actuadores pneumáticos



CILÍNDROS PNEUMÁTICOS

Existem basicamente dois tipos de cilindros pneumáticos:

- Cilindros de efeito simples
- Cilindros de duplo efeito



FIM???