

Autor

Fábio Mattos Ramos Schubert atua no segmento de pneumática desde 1987. Iniciou sua carreira profissional neste segmento de grande importância para indústria trabalhando junto com seu mestre na FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – UNESP, o engenheiro Januz Drapinsk como desenhista ilustrador para livro sobre Manutenção Hidráulica Industrial, Drapinsk foi seu grande incentivador. O primeiro contato fora da faculdade foi em um distribuidor da antiga Racine onde pode colocar em prática o conhecimento adquirido na faculdade elaborando projetos de unidades hidráulicas e colaborando na solução de problemas de manutenção. A Fatec propiciou a possibilidade de participar de um processo de seleção na antiga Schrader Bellows, hoje Parker Hannifin na área de treinamento. No CDA – Centro Didático de Automação da Schrader Bellows adquiriu novos conhecimentos sobre automação e manutenção, ministrando treinamento de pneumática em todo o território nacional, desenvolvendo e aperfeiçoando material didático. Pode também desenvolver e aprimorar a didática pessoal. Posteriormente a área comercial, novos desafios, colocar em prática todo o aprendizado teórico dos anos de treinamento transformando-os em soluções e aplicações diferenciadas atendendo as necessidades dos clientes. O comercial foi uma nova escola ampliando o conhecimento técnico e pessoal. No interior de São Paulo, em Americana, atendimento técnico e diferenciado principalmente na área de manutenção de equipamentos importados e especiais e no desenvolvimento de soluções para a indústria têxtil, pela Central Automação, distribuidor da Dover Controles Pneumáticos, adquirindo conhecimento diferenciado que os bancos acadêmicos não conseguem transmitir. Os desafios continuaram presentes e a mudança para o Rio Grande do Sul, cidade de São Leopoldo foi um novo desafio. Na Dover Controles Pneumáticos que se encontrava em uma nova fase, na Engenharia de Aplicação, departamento técnico de apoio a Engenharia de Produto e ao Comercial criou o Laboratório de Produtos para avaliação dos desenvolvimentos da Engenharia de Produto e estudo de produtos concorrentes. Ainda na Dover Controles Pneumáticos o conhecimento ao longo dos anos facilitou e permitiu a confiança na transferência de tecnologia da Metal Work, empresa de origem italiana, para a Dover hoje Metal Work do Brasil, onde foi responsável pela definição do mix de produtos inicial como o desenvolvimento de treinamento e material didático para a formação e aperfeiçoamento da mão de obra, técnica, comercial e de chão de fábrica (produção e montagem) sobre a nova linha de produto; a rede de distribuição também recebeu informação e formação técnica; como também essa nova tecnologia foi levada ao mercado nacional através de diversos workshops e palestras técnicas. A Camozzi do Brasil também esteve presente em sua vida profissional, atuando na gestão das áreas comercial e técnica. Na Camozzi também foi responsável pelo aperfeiçoamento técnico da equipe comercial e técnica. Foi membro da extinta ABHP, Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática, escreveu artigos técnicos para a Revista ABHP como também participou da comissão técnica da associação, na avaliação, correção e compilação de artigos para a edição Coletânea de Artigos Técnicos de Hidráulica e Pneumática. O ar comprimido faz parte de sua vida profissional. Muito já se escreveu sobre o uso do ar comprimido e suas aplicações. Que este material acrescente conhecimento e permita aprimorar o desenvolvimento de princípios, conceitos e aplicações com uma visão prática deste fantástico mundo da automação pneumática.

Introdução

A primeira revolução industrial caracterizou-se pela substituição do trabalho muscular do homem por máquinas motrizes, início da mecanização. A necessidade de o homem intensificar e aprimorar os seus processos de fabricação na busca pela qualidade, segurança, repetibilidade, redução de custos, foi caracterizada pela substituição do trabalho muscular do homem por máquinas motrizes desde o século 19. Ao longo dos anos a necessidade e a complexidade dos produtos exigiram dos fabricantes de equipamentos para automação o desenvolvimento de novas tecnologias necessárias para fazer frente às exigências impostas pelos complexos processos de fabricação. A automação pneumática é uma das responsáveis pelos resultados obtidos pelas indústrias, pois concedeu aos processos velocidade, aumento na produtividade; segurança, tanto para os equipamentos como para operadores; a necessária redução de custos com o aumento significativo na produção e a qualidade em razão da repetibilidade. Atualmente estes pontos continuam sendo objetivos primordiais para o desenvolvimento nos processos produtivos, por isso a indústria da automação continua desenvolvendo soluções para atender estas exigências como também conferir aos produtos para automação, redução de consumo de energia elétrica, de energia pneumática, maior confiabilidade, miniaturização, redução dos tempos de resposta entre outros.

O Ar Comprimido

O Ar Comprimido é frequentemente descrito como a **quarta utilidade**, pois apesar de não possuir uma tão grande ubiquidade como a **eletricidade**, o **petróleo** e o **gás**, desempenham um papel fundamental no mundo moderno. A principal diferença é que os utilizadores são capazes de gerar o seu próprio ar.

A importância do ar comprimido é muitas vezes sub-valorizada, mas na realidade este desempenha um papel fundamental na maioria dos processos de fabrico modernos e na civilização moderna. Mesmo que não nos apercebamos, a maioria dos produtos que utilizamos nos nossos dias simplesmente não podia ser fabricada sem ar comprimido. O ar comprimido representa cerca de 10% do total da energia utilizada a nível global na indústria dos nossos dias.

Abaixo alguns segmentos de mercado que utilizam o ar comprimido em seus processos de fabricação:

- Agricultura e Silvicultura
- Indústria agropecuária
- Setor de energia
- Exploração mineral
- Equipamentos hospitalares
- Equipamentos odontológicos
- Indústria química
- Indústria petrolífera
- Indústria de plástico
- Indústria de calçados e curtumes
- Indústria metalúrgica
- Indústria da madeira
- Indústria têxtil
- Indústria de alimentos
- Indústria eletro eletrônica
- Indústria de papel, papelão e celulose
- Construção civil
- Transportes
- Indústria de artefato de borracha
- Indústria farmacêutica e cosmética
- Indústria automobilística
- Indústria de vidros

O ar comprimido apresenta uma série de vantagens sobre outros fluídos de transmissão de força que seguem abaixo:

- De fácil armazenamento
- De fácil transporte
- Utilizado em locais de risco (ambientes explosivos)

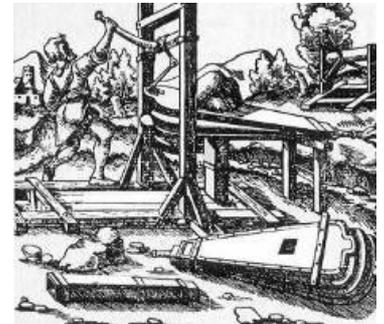
- Altas velocidades dos atuadores (incremento de produção)
- Não agride o ambiente
- Equipamentos padronizados (redução de custos)
- Durabilidade (simplicidade de manipulação)
- Investimento relativamente pequeno
- Redução de custos operacionais
- Redução do número de acidentes (operações repetitivas)

Este fluido também apresenta uma série de desvantagens, que são:

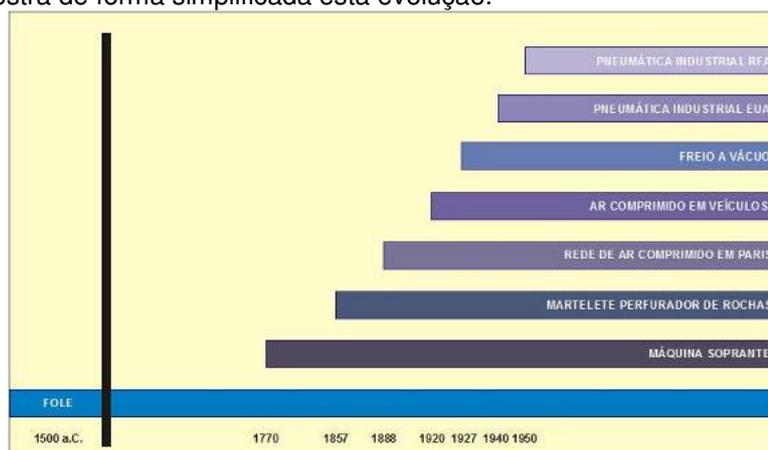
- Alto custo para geração – energia elétrica
- Baixa pressão de operação
- Difícil controle de baixas velocidades nos atuadores
- Ruído de descarga elevado

Pneumática – dos antigos gregos provém à palavra “pneuma” que significa fôlego, vento e filosoficamente, alma. Derivado da palavra “pneuma”, surgiu o conceito de Pneumática: estudo dos movimentos dos gases e fenômenos dos gases.

Em muitos escritos sobre a primeira aplicação do ar comprimido, dizem que foi o grego *Ktesibios* (260 a.C.) o primeiro homem que se interessou pela Pneumática, porém a descoberta do ar comprimido deu-se entre 40.000 e 50.000 anos atrás pelo *Homo Erectus*, na obtenção do fogo, conseguida pelo atrito de duas pedras de sílex a fim de liberar faísca ou então pelo atrito de madeiras com durezas diferentes e com o sopro de ar. Sopro este de ar comprimido gerado por um compressor natural, os pulmões. Com capacidade de 6m³/h e pressão entre 0,02 a 0,08kgf/cm². Até 1500 a.C. o ar comprimido foi utilizado de poucas maneiras e com pouca produtividade, pois dependia do homem e de alguns recursos naturais, para canalização e obtenção de maior capacidade de deslocamento. A introdução do fole, dispositivo simples construído em madeira e couro, permitia a captação do ar e posterior expulsão com velocidade e pressão superior. Permitiu ao homem avanços significativos principalmente nos processos de obtenção e trabalho com os metais. Somente em 1770 é que surge a primeira máquina soprante e assim o uso do ar comprimido inicia avanços importantes e consecutivos, sendo hoje uma das principais fontes de energia nos processos industriais.



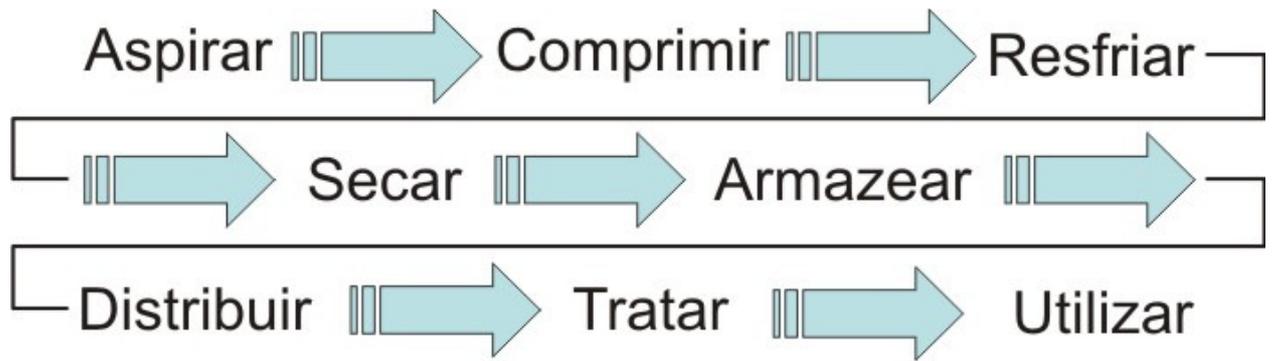
O gráfico abaixo mostra de forma simplificada esta evolução.



(fonte Coletânea de Artigos Técnicos – ABHP)

Obtenção do Ar Comprimido

O esquema a seguir mostra toda a seqüência para a produção do ar comprimido até a sua distribuição nos pontos de utilização. Para cada etapa considerações, esclarecimentos e precauções.



Aspirar

A matéria prima do ar comprimido é o ar, uma mistura gasosa presente na atmosfera da Terra. O ar é uma mistura de gases e vapores incolores e inodoros. O ar seco é composto (em massa) por 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, 0,97% de gases nobres (argon, néon, xénon, cripton e hélio) e 0,03% de gás carbônico (dióxido de carbono) e vapores de água. Conforme a latitude a composição do ar sofre alterações. O ar atmosférico não é somente uma mistura de gases, também carrega partículas sólidas em suspensão.

O local de aspiração do ar atmosférico deve estar distante de fontes geradoras de pó, tais como estradas de terra, armazenamento de pó de madeira (serragem), armazenamento de fiapos têxteis, exaustão de cabines de pinturas e etc..

Comprimir

Os compressores devem ser instalados em locais protegidos de insolação direta e estar em locais limpos e isentos de fontes geradoras de pó, como já comentado anteriormente. A casa de compressão deve estar o mais próximo possível dos pontos de aplicação visando redução no custo da instalação da rede de distribuição como também menores perdas de carga. Deve permitir circulação livre do ar atmosférico em seu interior, troca natural de temperatura entre os compressores e o meio ambiente.

Os compressores aspiram o ar, nas condições atmosféricas, os comprimem elevando a pressão a valores necessários. Os compressores possuem capacidade de deslocamento diferente que esta ligada diretamente ao volume deslocado, ou seja, ao volume de ar necessário para o trabalho de um equipamento pneumático ou mais.

A seleção de um compressor passa pelos seguintes pontos: vazão; pressão; limitações construtivas de temperatura; sistema de vedação; método de lubrificação; consumo de energia; facilidade de manutenção; custo.

Caso não se sinta seguro em fazer a especificação do compressor solicite a ajuda dos profissionais desta área.

Os compressores se diferenciam conforme quadro abaixo:

Compressor	Volumétrico	Alternativo	Pistão Membrana
		Rotativo	Palheta Parafuso Lóbulos (Roots)
	Dinâmico	Centrífugo	
		Axial	

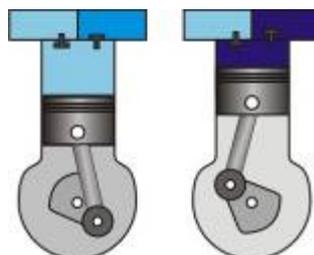
Compressor Volumétrico

São aqueles que se baseiam no princípio da redução de volume. O compressor admite o ar para o interior da área de compressão, um ambiente fechado, reduzindo posteriormente o tamanho desta área, conseqüentemente redução do volume de ar, provocando aumento na pressão e na temperatura.

➔ Alternativo

Compressor de Pistão

São os mais conhecidos e até a década de noventa o mais utilizado devido ao seu custo reduzido, facilidade de instalação e manutenção simples. Estes compressores podem ser de um estágio até cinco estágios. A função dos estágios é a obtenção de pressões mais elevadas.



Compressor de Membrana

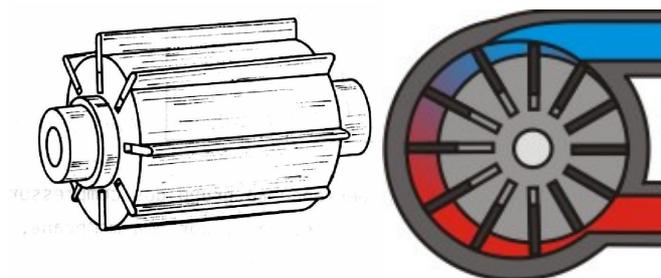
Princípio de funcionamento igual ao de pistão.

Um diferencial dos compressores de membrana é isolar a câmara de compressão da parte lubrificada isentando o ar comprimido de contaminação pelo óleo de lubrificação da parte mecânica. A utilização deste tipo de compressor é aplicada em segmentos com baixo consumo de ar comprimido como aquarofilia, modelismo, laboratórios, indústrias químicas e farmacêuticas.

➔ Rotativo

Compressor Palheta

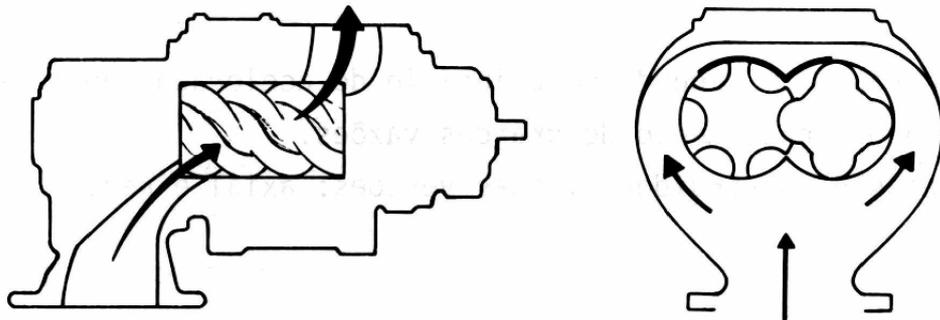
Possui um rotor ou tambor central que gira excentricamente em relação à carcaça. Esse tambor possui rasgos radiais que se prolongam por todo o seu comprimento e nos quais são inseridas palhetas retangulares. Quando o tambor gira, as palhetas deslocam-se radialmente sob a ação da força centrífuga e se mantêm em contato com a carcaça. O ar aspirado ocupa os espaços definidos entre as palhetas. Devido à excentricidade do rotor e às posições das aberturas de sucção e descarga, os espaços constituídos entre as palhetas vão se reduzindo de modo a provocar a compressão progressiva do ar. A variação do volume contido entre duas palhetas vizinhas, desde o fim da admissão até o início da descarga, define, em função da natureza do ar e das trocas térmicas, uma relação de compressão interna fixa para a máquina. Compressores de palhetas rotativas são caracterizados pela versatilidade, potência, confiabilidade e relação preço-qualidade.



Compressor Parafuso

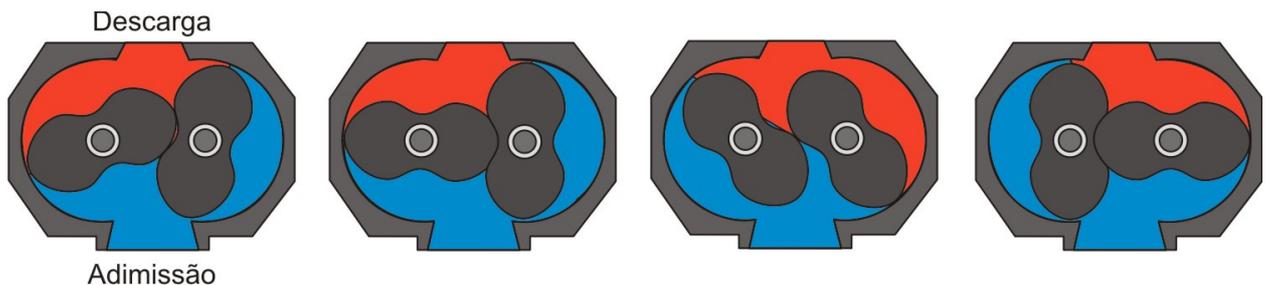
Possui dois rotores em forma de parafusos, macho e fêmea que giram em sentido contrário, mantendo entre si uma condição de engrenamento. A conexão do compressor com o sistema se faz através das aberturas de sucção e descarga, diametralmente opostas: O ar aspirado ocupa os intervalos entre os filetes dos rotores. A partir do momento em que há o engrenamento de um determinado filete, o ar nele contido fica retido entre o rotor e a carcaça. A rotação faz então com que o ponto de engrenamento vá se deslocando para a frente, reduzindo o espaço disponível para o ar e provocando a sua compressão.

Finalmente, é alcançada a descarga, e o ar é liberado. De acordo com o tipo de acesso ao seu interior, os compressores podem ser classificados em herméticos, semi-herméticos ou abertos. A categoria dos compressores de parafuso pode também ser sub-dividida em compressores de parafuso duplo e simples. Os compressores de parafuso podem também ser classificados de acordo com o número de estágios de compressão, com um ou dois estágios de compressão.



Compressor de Lóbulos (Roots)

Possui dois rotores que giram em sentido contrário com uma folga muito pequena entre si e com a carcaça. O ar aspirado ocupa a câmara de compressão, sendo conduzido até a abertura de descarga pelos rotores. Os compressores de lóbulos, embora classificados volumétricos, não possuem compressão interna, porque os rotores apenas deslocam o fluido de uma região de baixa pressão para uma de alta pressão. São conhecidos como sopradores ROOTS e constituem um exemplo típico do que se pode chamar de soprador, porque gera aumento de pressão muito pequeno de até 15 PSIG e 21.000 m³/h de vazão. .



São muito versáteis e por isso têm sido instalados ao longo desses anos nos mais diversos setores industriais, tais como: sistemas de transporte pneumático, tanto em vácuo como em pressão positiva, aeração e oxigenação de tanques, aeração de silos, limpeza de filtros em tratamento de água, oxigenação de tanques de bactérias aeróbicas, tratamento de efluentes e etc.

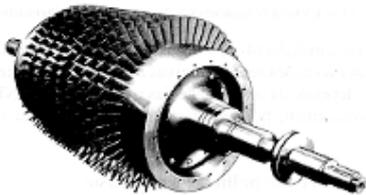
Compressor Dinâmico

Os compressores dinâmicos são aqueles que se baseiam no princípio de fluxo (deslocamento). O ar é succionado de um lado do compressor e a compressão ocorre no lado oposto devido à aceleração de massa.

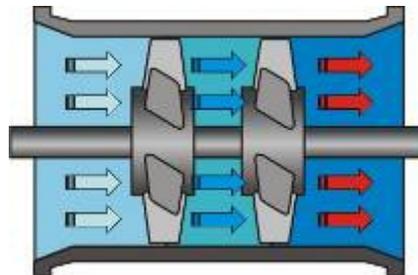
⇒ Centrífugo

O ar é aspirado continuamente pela abertura central do impelidor e descarregado pela periferia do mesmo, num movimento provocado pela força centrífuga que surge devido à rotação. O fluido descarregado passa então a descrever uma trajetória em forma espiral através do espaço anelar que envolve o impelidor e que recebe o nome de *difusor radial* ou *difusor em anel*. Esse movimento leva à desaceleração do fluido e conseqüente elevação de pressão. Prosseguindo em seu deslocamento, o ar é recolhido em uma caixa espiral denominada *voluta* e conduzindo à descarga do compressor. Antes de ser descarregado, o escoamento passa por um bocal divergente, o *difusor de voluta*, onde ocorre um suplementar processo de difusão. Operando em fluxo contínuo, os compressores centrífugos aspiram e descarregam o gás exatamente nas pressões externas, ou seja, há uma permanente coincidência entre a relação de compressão interna e a relação de compressão externa. Essa máquina é incapaz de proporcionar grandes elevações de pressão, de modo que os compressores dessa espécie normalmente utilizados em processos industriais são de múltiplos estágios.

⇒ Axial



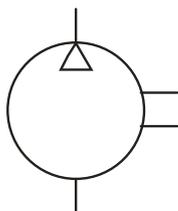
É um tipo de turbo compressor sofisticado. Os compressores axiais são dotados de um tambor rotativo onde palhetas em séries são montadas em arranjos circulares igualmente espaçados, conforme mostra a foto abaixo. Quando o rotor é posicionado na máquina, essas rodas de palhetas ficam intercaladas por arranjos semelhantes fixados ao longo da carcaça. Cada par formado por um conjunto de palhetas móveis e outro de palhetas fixas se constitui num estágio de compressão. As palhetas móveis possuem uma conformação capaz de transmitir ao ar a energia proveniente do acionador, acarretando ganhos de velocidade e entalpia do escoamento. As palhetas fixas, por sua vez, são projetadas de modo a produzir uma deflexão no escoamento que forçará a ocorrência de um processo de difusão. Como a elevação de pressão obtida num estágio axial é bastante pequena, os compressores dessa espécie são sempre dotados de vários estágios.



IMPORTANTE

As salas de compressão devem estar instaladas em locais com baixa insolação; serem limpas, arejadas e longe de fontes geradoras de contaminantes.

Simbologia



Resfriar

Resfriador Posterior

Sua função é reduzir a temperatura do ar que deixa o compressor para níveis próximos da temperatura ambiente, obtendo-se uma grande condensação do vapor de água. O separador mecânico de condensados do resfriador posterior responde pela remoção de aproximadamente 70% dos vapores condensados do fluxo de ar comprimido.

Dois tipos de resfriador posterior encontram-se disponíveis no mercado:

- Resfriador posterior refrigerado a água
- Resfriador posterior refrigerado a ar

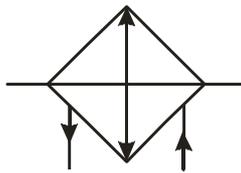
Resfriador Refrigerado a Água

O ar comprimido proveniente do sistema de compressão quente e úmido é forçado a entrar no refrigerador passando pelo interior de um tubo principal que contém uma serpentina de tubos por onde circula água resfriando o ar comprimido. O condensado que se forma é removido por um sistema posterior de aletas que retém o condensado por impacto direto. O condensado é removido do refrigerador pelo sistema de drenagem. Estes modelos podem remover até 75% do condensado presente no ar comprimido.

Resfriador Refrigerado a Ar

O ar comprimido proveniente do sistema de compressão quente e úmido é forçado a entrar no refrigerador passando pelo interior de tubos aletados (radiador) onde é resfriado pelo ar ambiente que é soprado por um ventilador. Estes modelos podem remover entre 60 a 70% do condensado presente no ar comprimido.

Simbologia



Secar

A função dos secadores é eliminar a umidade (líquido e vapor) do fluxo de ar comprimido. Um secador deve estar apto a fornecer o ar comprimido com o Ponto de Orvalho especificado pelo usuário.

Ponto de Orvalho é a temperatura na qual o vapor começa a condensar. Há dois conceitos principais para secadores de ar comprimido:

- Por refrigeração (cujo Ponto de Orvalho padrão é +3°C)
- Por adsorção (com Ponto de Orvalho mais comum de -40°C).

Ponto de Orvalho - se refere à temperatura a partir da qual o vapor d'água contido na porção de ar de um determinado local sofre condensação.

A norma ISO-7183 diferencia os secadores em função da localização geográfica dos mesmos. Faixas de temperatura de operação mais altas são definidas para equipamentos instalados em regiões mais quentes do planeta, exigindo uma adaptação dos mesmos as condições mais adversas.

Secador por Refrigeração

O ar comprimido é seco pelo princípio de redução da temperatura do ponto de orvalho. A unidade refrigeradora reduz a temperatura do ar gerando condensados, que são eliminados. Esse ar antes de retornar para utilização pode sofrer filtragem a fim de remover partículas em suspensão.

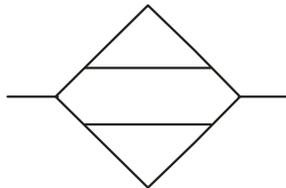
Secador por Adsorção (fisissorção)

O ar comprimido é seco ao entrar em contato com material adsorvente (alumina) que através de uma reação físico química retém em sua superfície a umidade contida no ar comprimido. Trata-se de um processo reversível. O secador por adsorção é composto por duas colunas, enquanto uma realiza a secagem do ar a outra através de fluxo de ar frio ou aquecido é regenerada.

Secador por Absorção (processo químico de secagem)

O Ar é seco ao entrar em contato com material adsorvente, material secante. A água ou vapor de água ao entrar em contato com este material secante combina-se quimicamente, gerando uma combinação material secante água. Esta combinação deverá ser removida periodicamente. O material secante deverá ser repostado periodicamente, com a finalidade de manter as características de secagem iniciais. Contaminante como óleo influencia no funcionamento adequado do secador e devem ser eliminados com filtros apropriados.

Simbologia



Armazenar

O reservatório de ar comprimido tem a função de estabilizar, eliminar as oscilações de pressão na rede de distribuição como também é uma garantia de reserva. Os reservatórios também têm a função de efetuar troca de calor com o meio, através de sua grande superfície em contato com o ar ambiente, removendo parte da umidade do ar como água. Alguns modelos de compressor já trazem o reservatório incorporado à unidade de compressão. Os reservatórios podem ser ainda instalados na horizontal ou na vertical.



Um reservatório deve sempre atender a PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível) do sistema, ser projetado, fabricado e testado conforme um conjunto de normas nacionais e internacionais (NR-13, ASME, etc.), possuir os acessórios mínimos (manômetro e válvula de segurança) obrigatórios instalados e receber uma proteção anti-corrosiva interna e externa de acordo com sua exposição à oxidação.

O tamanho do reservatório de ar comprimido depende de:

- Volume fornecido pelo compressor
- Consumo de ar comprimido
- Rede de distribuição (volume complementar)
- Tipo de regulação
- Diferença de pressão desejada na rede de distribuição

Simbologia



IMPORTANTE

A drenagem do condensado deve ser realizada periodicamente, preferencialmente no início do dia de trabalho, depois do reservatório passar por longo período em contato com ar atmosférico promovendo uma melhor troca de temperatura com conseqüente separação de uma grande parte de água.

Drenos manuais nunca devem ser abertos totalmente. A água que será drenada deverá sair formando um3 filete de água contínuo. Quando iniciar a fuga de ar comprimido o dreno deverá ser fechado. Verifique se a drenagem foi bem executada. Abra um pouco a válvula, de sair novamente condensado, deixe escoar até início de nova fuga de ar comprimido e feche a válvula de drenagem.

Cuidado: Drenagens com a válvula totalmente aberta são rápidas, porém ineficientes, pois logo inicia um spray de água que sugere o fim do condensado.

Cuidado: válvulas automáticas de drenagem podem deixar de funcionar por travamento, queima da bobina, falha no temporizador, provocando acúmulo de condensado.

Condensado acumulado no interior do reservatório reduz o volume livre para armazenamento do ar comprimido, obrigando o compressor a partir mais vezes que o projetado.

Uma forma de verificar se o dreno automático encontra-se funcionando é verificar no piso a formação de uma mancha circular no piso abaixo do dreno.

Distribuir

Após as etapas anteriores é necessário um eficiente sistema de rede de distribuição para o ar comprimido. Estes sistemas de distribuição devem ser planejados para atender as necessidades nos pontos de consumo, com a menor perda possível e ter capacidade para sofrer alterações e ampliações. Para isso deve-se considerar:

- Pressão de ar suficiente nos pontos de consumo
- Perdas de ar (vazamentos) próximo a zero
- Capacidade adequada
- Qualidade de ar adequada
- Lay-out bem planejado e documentado
- Acessórios eficientes
- Controle

IMPORTANTE

Atualmente muitos materiais se encontram disponíveis para a confecção de redes de distribuição do ar comprimido.

Mangueiras de borracha, tubos de PVC, tubos de cobre, tubos de inox, tubos de aço e tubos de galvanizado. Mangueira de borracha deve ser utilizada somente em pequenos trechos ou em trechos de ligação entre um elemento que vibre é uma parte fixa, como é um meio isolante o ar comprimido não irá perder temperatura e se manterá quente até o ponto de utilização. O condensado em forma de vapor irá se condensar no equipamento, prejudicando o seu funcionamento e reduzindo sua vida útil e elevando horas de manutenção. Os tubos de PVC, para água, não foram projetados para suportar a pressão, a temperatura e a exposição a contaminantes industriais. Apesar de serem de fácil manuseio podem causar sérios acidentes. Os demais tubos são os adequados para confecção da rede de ar comprimido. Atualmente encontram-se também redes de ar disponíveis em alumínio e em polímero termosoldável. Ambas alternativas são resistentes, leves e com superfícies internas lisas.

Prejuízo Invisível

Como já foi dito o ar atmosférico, mesmo depois de passar pelos processos de compressão e armazenamento permanece incolor e inodoro. Em razão destas duas características vazamentos de ar comprimido ainda são comuns e instalações industriais. Como a perda do ar comprimido por vazamentos, novamente para atmosfera não gera nenhum resíduo visível, o que eleva o consumo de ar comprimido e principalmente de energia elétrica necessária para o acionamento dos compressores.

Nas instalações industriais vazamentos de ar são freqüentes. Eliminar estes vazamentos requer ações simples ou mais complexas.

A tabela abaixo apresenta o consumo de energia causado pelos vazamentos, vai nos mostrar a importância de eliminarmos os vazamentos na rede de distribuição.

Ø do Furo (mm)	Perda de Ar (m ³ /min)	Potência de Compressão (kW)	Consumo Mensal de energia (kWh)
1	0,06	0,3	216
3	0,6	3,1	2.232
5	1,62	8,3	5.976
10	6,3	33	23.760

Valores da tabela para pressão de 6bar

Exemplo:

Uma rede de distribuição de ar comprimido, com pressão de trabalho de 6 kgf/cm² (bar), têm instalados 20 engates rápidos e cada engate encontra-se com um vazamento de 0,5 l/s.

Temos então um vazamento total de 10l/s.

Um compressor para poder produzir o volume perdido tem um consumo de energia de 3,1kW.

Um valor médio pago pelo kW/h para as concessionárias de energia encontra-se em R\$ 0,146077, CPFL 12/2008.

Sendo assim em um ano de trabalho 24 horas diárias e 22 dias/mês vamos ter um gasto de extra de R\$ 2869,18.

A aquisição de 20 novos engates rápidos a um preço total de R\$ 626,22 (preço de engates rápidos em 01/2009).

Podemos concluir que o investimento em 20 novos engates rápidos terá um retorno rápido do investimento em 2,6 meses, com os vazamentos eliminados.

IMPORTANTE

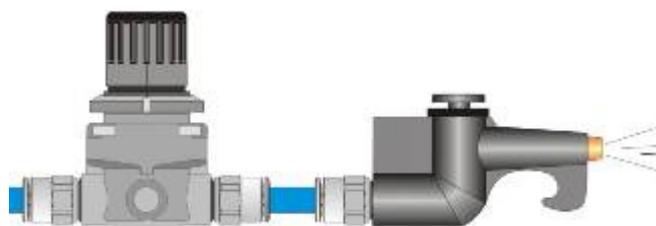
O ar comprimido não deve ser utilizado para limpar roupas, bancadas, varrer o chão e principalmente para secar as mãos após o uso de algum tipo de desengraxante.

CUIDADO

Bico de limpeza utilizado sem nenhum tipo de controle de pressão, pressão de rede mais ou menos 8 kgf/cm², é uma fonte de desperdício com consumo superior a 20m³/h e produzem ruído acima do máximo aceito pelo ouvido humano que está entre 70 e 75 db. Gera desperdício de ar comprimido, consumo desnecessário de energia elétrica como comprometem a saúde auditiva dos usuários.



Para evitar o consumo excessivo e ruído elevado, a solução é utilizar um regulador de pressão em cada ponto que tenha bico de limpeza, com pressão máxima de 3 kgf/cm². O consumo de ar comprimido é reduzido drasticamente, ficando abaixo de 6 m³/h e com ruído inferior a 75 db. Os reguladores de pressão podem ser regulados na bancada, lacrados e ficar sem o manômetro. Isso impede a alteração na regulagem e o valor regulado fica desconhecido. O manômetro com valor baixo induz o funcionário, visualmente, que a pressão é baixa e não tem o mesmo resultado. Também existem bicos de limpeza que já tem redutor de ruído, mas em razão da característica construtiva do bico este não consegue atuar de forma concentrada, o jato de ar é mais disperso. Avalie a sua aplicação antes de definir o tipo de bico de limpeza mais adequado.



Promover a manutenção adequada em engates rápidos, principalmente nos engates rápidos onde a frequência de conexão e desconexão é elevada acima de 10 por dia, ocorre desgaste no sistema de retenção dos pinos (esferas) ou do pino de engate, não permitindo uma retenção adequada e vedação

deficiente o que permitirá vazamentos. Neste caso os engates rápidos e os pinos de engate devem ser substituídos.

O uso de espigões para mangueiras em milímetro montados com mangueiras de diâmetro em polegada não se consegue dar o aperto correto na abraçadeira e ocorrerá vazamento. O contrário em um primeiro instante veda sobre pressão, mas com o tempo haverá dano à estrutura da mangueira, rachaduras e ou pequenas trincas com posterior vazamento. Evitar estes tipos de montagem.

Conexões com características diferentes devem ser evitadas e ou substituídas. Ver capítulo específico para conexões.

Hoje existem métodos específicos para a detecção dos vazamentos, mas o bom e velho uso da esponja com sabão pode ser um grande aliado na caça aos vazamentos. Crie equipe com responsáveis em detectar e eliminar os vazamentos.

Abaixo alguns métodos de verificação:

- com aparelho de ultrasom
- por medição quantitativa
- por medição direta e
- por tempo em alívio

Tratar

A norma ISO 8573-1 é uma orientação de qualidade para o ar comprimido em relação aos seus principais contaminantes. Todos os equipamentos que foram citados anteriormente contribuem de alguma forma em auxiliar, cada um em uma parte do tratamento geral do ar comprimido, com a redução de um tipo de contaminante.

O ar comprimido é contaminado por partículas sólidas, vapor d'água, vapores de hidrocarbonetos, dióxido e monóxido de carbono etc. No processo de compressão o ar comprimido também é contaminado pela lubrificação do compressor, e por partículas sólidas provenientes do desgaste dos componentes móveis.

A rede de distribuição também pode vir a contribuir na contaminação do ar comprimido arrastando ferrugem e outras partículas.

Sendo assim a norma ISO 8573-1 classifica os contaminantes do ar comprimido e suas unidades de medida conforme tabela abaixo:

	Sólidos (μm)	Água ($^{\circ}\text{C}$)	Óleo (mg/m^3)
1	0,1	-70	0,01
2	1	-40	0,1
3	5	-20	1
4	15	+3	5
5	40	+7	25
6	x	+10	x
7	x	ñ especific.	x

Preparação do Ar Comprimido

O ar comprimido que chega ao ponto de aplicação já sofreu todo um processo de tratamento e para uma utilização adequada ele ainda deve passar por uma preparação final, com a remoção de partículas finais em suspensão, regular a pressão em conformidade com a especificada em projeto, lubrificar caso necessário, monitorar a pressão e possuir sistemas de fechamento rápido e partida suave. Para a

obtenção dos melhores resultados os equipamentos descritos devem ser utilizados individualmente ou em conjunto.

Para cada equipamento que será abordado neste material haverá uma simbologia correspondente. A simbologia é uma forma de representação dos equipamentos pneumáticos e esta em conformidade com a norma ISO 1219-1.

IMPORTANTE

A simbologia mostra as principais características dos equipamentos pneumáticos, permitindo interpretar a sua função em um circuito pneumático, mas não dá nenhuma informação sobre as suas características construtivas.

Filtro de Ar

Função

A função principal do filtro de ar é promover a retenção das partículas sólidas em suspensão de tamanho diretamente proporcional a capacidade de retenção do elemento filtrante. Estas partículas são provenientes do processo de compressão como do desgaste natural ou de uma limpeza inadequada da rede de distribuição de ar comprimido.

Princípio de Funcionamento

O ar comprimido ao entrar pela conexão (A) no corpo filtro (1) é forçado contra o defletor superior (2) que possui uma série de aletas. Estas aletas conferem ao ar comprimido movimento de rotação. Com este movimento age nas partículas sólidas e no condensado em suspensão, força centrífuga que desloca para a periferia do filtro todas as partículas para serem separadas mecanicamente por ação desta força.

O ar segue para a parte inferior do filtro, ainda rotacionando e acompanhando a campânula (3) que envolve o elemento filtrante (4). Esta campânula (3) faz que este movimento de rotação seja prolongado para uma melhor separação das partículas antes que o ar comprimido entre em contato com o elemento filtrante (4).

Ao entrar em contato com o elemento filtrante (4), inicia-se o processo de filtração de fora para dentro, retendo as partículas que restaram, após a separação por rotacionamento, em suspensão e de igual ou maior valor que o grau de retenção do elemento filtrante; seguindo para a utilização conexão (B) do corpo do filtro.

O condensado e as partículas separadas pelo rotacionamento do ar são levados para a parte inferior do filtro, copo (6), ficando depositados até que ocorra uma drenagem. Os drenos (7) possuem várias características construtivas e funções, que vão ser abordadas mais a frente.

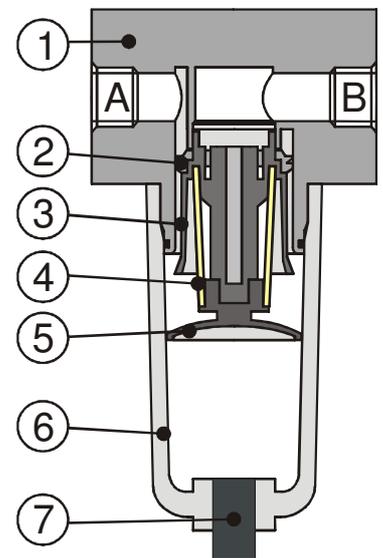
Abaixo do elemento filtrante encontra-se o defletor inferior (5), que além de efetuar a fixação do elemento filtrante também evita que o ar que se encontra em rotação, remexa o condensado acumulado na parte inferior, mantendo-o estável e evitando possível retorno deste ao sistema.

O defletor inferior (5) também funciona como um indicador de nível para o condensado, que nunca deverá ficar acima do defletor.

IMPORTANTE

O filtro de ar não elimina o condensado que se encontra em forma de névoa ou aerossol. É um erro de aplicação utilizar o filtro de ar para eliminar o condensado. Como vimos anteriormente o filtro de ar elimina somente parte do condensado pela ação da força centrífuga.

Montar filtro de ar próximo da saída dos compressores, também não elimina o condensado. O ar sai com temperatura muito elevado, em razão do processo de compressão e água em suspensão encontra-se no estado gasoso, vapor de água. Esta retorna ao estado líquido ao entrar em contato com as paredes mais frias da rede de distribuição e ao passar pelas e curvas, tees, registros, reduções e derivações da rede de distribuição de ar comprimido, tornando-se um complicador para a correta utilização dos equipamentos pneumáticos se não for removida.



Elemento Filtrante

O elemento filtrante é confeccionado em diversos materiais. O bronze sinterizado tem sido um dos materiais mais utilizados e vem perdendo espaço para elementos com a mesma eficiência confeccionados em plástico poroso. Podemos encontrar ainda elementos confeccionados em tela de nylon. A porosidade padrão de mercado é 25 a 40 μ m e como opção 5 μ m.

IMPORTANTE

O elemento filtrante convencional funciona como uma peneira, quanto maior o grau de filtragem maior a obstrução, com sua superfície comprometida reduzem os espaços livres por onde o ar comprimido pode passar, comprometendo o rendimento do equipamento. Os elementos filtrantes de bronze sinterizado e tela de nylon podem ser limpos, mas perdem a eficiência. Já os elementos de plástico poroso, devem ser substituídos, não havendo nenhum tipo de manutenção.

Para uma sobrevida nos elementos de tela de nylon e bronze sinterizado é possível remover a sujeira com o auxílio de uma escova de mão ou de dente, após a imersão em querosene que facilitará a remoção da sujeira depositada.. Cuidado para não rasgar a tela de nylon. Após passar um jato de ar comprimido de dentro para fora.

Drenagem

Realizada para eliminação do condensado acumulado no interior do filtro e pode ser obtida de várias maneiras conforme o tipo de drenos disponível. Existem no mercado diversos tipos de drenos.

- Dreno Manual – requer a intervenção do homem. A drenagem deverá sempre ser realizada com pressão no filtro de ar. Abrir o dreno, permitir o escoamento do condensado e antes de fechar o dreno, deixar passar um pouco de ar para evitar deposição de partícula sólida no anel de vedação.
- Dreno Manual Semi-Automático – requer a intervenção do homem somente se o acúmulo de condensado for elevado e não seja possível promover uma depressurização no circuito. Quando não houver pressão no filtro de ar, este tipo de dreno permanecerá aberto. Com pressão ele se fecha. Sempre que ocorrer uma depressurização o dreno abre permitindo a expulsão do condensado acumulado. Este tipo de dreno possui uma conexão fêmea, normalmente de 1/8 BSP para colocar uma conexão que permitirá a canalização do condensado drenado para um ponto de coleta.
- Dreno Semi-Automático (tipo bóia) – estes drenos trabalham por queda de pressão. Não havendo pressão no interior do copo o dreno encontra-se aberto. Compressão no interior do copo o dreno fecha. Todo o circuito pneumático quando em funcionamento gera queda de pressão, que pode ser observado no manômetro da preparação de ar. Havendo e somente havendo condensado no interior do copo e quando ocorrer queda de pressão é que ocorrerá a drenagem.
- Dreno Semi Automático (tipo diafragma semi-rígido) – estes drenos também funcionam por queda de pressão. A pressão de ar empurra o conjunto haste diafragma semi-rígido contra o acento vedando o orifício de drenagem. O diafragma semi-rígido fica em constante contato com o copo. O condensado é forçado a passar para a parte inferior do diafragma que devido à diferença de área abre quando ocorre queda na pressão e permite a drenagem do condensado.
- Dreno Automático – este tipo de dreno é constituído de uma bóia protegida por uma tela externa que evita o contato com partículas sólidas. Não havendo condensado no interior do filtro de ar a bóia é mantida na posição inferior com a ação do ar comprimido. Em se acumulando condensado, a bóia inicia deslocamento até atingir o limite superior. Neste instante é liberado o orifício interno, que a vedação no centro da bóia mantinha fechado. O ar comprimido que entra por este orifício desequilibra o conjunto permitindo a expulsão do condensado acumulado. Com a expulsão do condensado a bóia retorna a posição inferior fechando novamente o dreno, até que ocorra novo acúmulo de condensado. Este tipo de dreno possui uma conexão fêmea, normalmente de 1/8 BSP para colocar outra conexão que permitirá a canalização do condensado drenado.

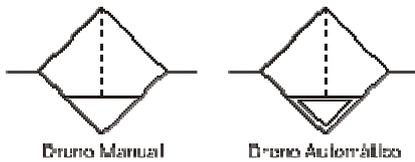
IMPORTANTE

Os drenos semi-automáticos e automáticos devem ser utilizados somente para eliminação de condensado. Condensado com excesso de óleo proveniente do sistema de compressão, formam

uma mistura pastosa que dificulta o deslocamento da bóia levando até o travamento impedindo que a drenagem seja realizada.

O dreno com diafragma semi-rígido não é muito aconselhável em razão do contato constante do diafragma com o copo, o que pode gerar riscos e travamento pelo atrito do conjunto interno, impedindo o funcionamento correto do dreno.

Simbologia Filtro de Ar com:



Filtro Coalescente

Função

O filtro coalescente tem a função de remover partículas com dimensão inferior a já removida pelos filtros de ar convencionais, como também eliminar do ar comprimido, vapores e aerossóis em suspensão. Para podermos diferenciar um filtro de ar convencional com um coalescente vamos comparar o tamanho das partículas removidas por estes filtros.

Dimensão das Partículas

Quando nos referimos às partículas em suspensão à unidade de medida é micron, identificado pelo símbolo μm . O micron é igual à milésima parte do milímetro.

- Fio de cabelo humano ≈ 80 micron de diâmetro
- Grão de sal de cozinha ≈ 100 micron

O olho humano consegue visualizar sem o auxílio de nenhum equipamento até 40 micra.

Sendo assim os filtros coalescentes são responsáveis por fazer a remoção final das partículas em suspensão no ar comprimido evitando perdas nos processos industriais tais como:

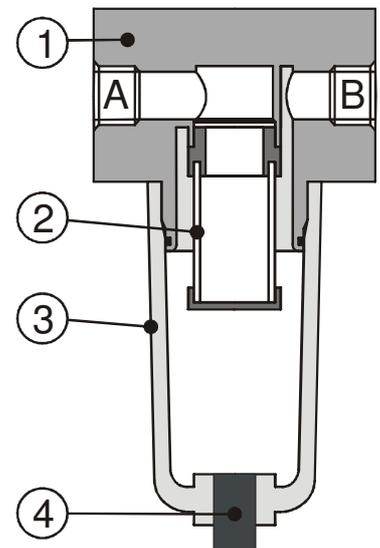
- Manchas e marcas em processo de pintura
- Erro de leitura em instrumentos
- Contaminação de alimentos e embalagens
- Desgaste prematuro de equipamentos

Os estudos apontam que o ar ambiente industrial possui aproximadamente 140 milhões de partículas em suspensão. Após passarem pelo filtro de admissão nas salas de compressão ou de compressores individuais este volume é reduzido para aproximadamente 112 milhões de partículas, sendo que 80% destas partículas são inferiores a 2 micron.

Como os elementos filtrantes dos filtros de ar tem a maior capacidade de remoção de partículas em 5 micron uma quantidade enorme de contaminantes ainda necessita ser removida. Os filtros coalescentes devem ser utilizados para a realização desta limpeza final.

Coalescência Definição

Coalescência é aglutinação, a soma de partículas líquidas que se encontra em suspensão no ar comprimido em forma líquida ou aerossol e que são retidas quando o ar comprimido é forçado a passar pela estrutura do elemento filtrante composto de manta de borossilicato transformando-se em uma partícula com maior massa que se desloca pela estrutura do elemento filtrante escorrendo e depositando na sua parte inferior que é conhecida como zona úmida.



Princípio de Funcionamento

A filtração nos coalescentes é realizada de dentro para fora e três princípios mecânicos de filtração são utilizados para uma remoção adequada das partículas e aerossóis.

- Impacto Direto
- Interceptação e
- Difusão

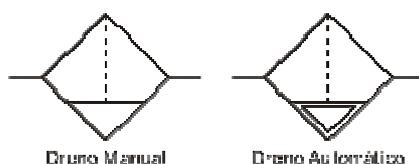
Os elementos filtrantes possuem várias características construtivas variando de acordo com o fabricante. Os elementos coalescentes são confeccionados com microfibras de borossilicato de densidade graduada, dispostas aleatoriamente formando um labirinto, deixando vazios que tem a função de garantir baixa resistência ao fluxo e impedir a rápida obstrução do elemento filtrante.

IMPORTANTE

Os filtros coalescentes com maior eficiência são os filtros com copos de metal e os com copo em polímero são uma adaptação do filtro de ar convencional em filtro coalescente, não tendo a mesma eficiência. Os elementos coalescentes em filtros adaptados não têm o comprimento ideal para deixar a zona úmida distante da reentrada do ar. O filtro de ar adaptado em filtro coalescente tem uma boa capacidade de retenção do particulado em suspensão, porém, sua aplicação restringe-se a instalação muito próxima ao ponto de uso. Não devem ser utilizados em redes de distribuição.

Os filtros coalescentes devem ser instalados sempre com um pré-filtro que ficará com a responsabilidade de reter as partículas maiores garantindo uma maior vida útil ao elemento coalescente.

Simbologia Filtro Coalescente com:



Filtro de Carvão Ativado

Função

O filtro com elemento de carvão ativado é utilizado para efetuar a remoção de vapor de óleo e remover a maioria dos odores de hidrocarbonetos.

Princípio de Funcionamento

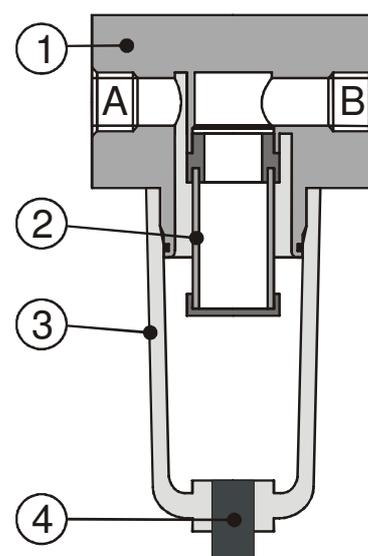
O processo de filtração ocorre de fora para dentro. O elemento filtrante é composto por estrutura permeável preenchida com carvão ativado.

Carvão ativo ou ativado - carvão é carbono e carvão ativado é aquele que foi tratado com oxigênio para abrir milhares de pequeninos poros entre os átomos de carbono.

"O uso de técnicas de fabricação especiais resulta em carvões altamente porosos com áreas de 300 a 2.000 m² de superfície por grama".

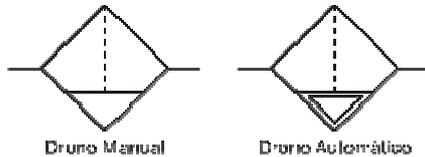
Absorver é importante aqui. Quando um material absorve algo, anexa-se à superfície de outro material por atração química. A enorme área de superfície do carvão ativado dá a ele vários lugares de ligação. Quando certas substâncias químicas passam próximas da superfície do carbono, unem-se a essa superfície e são aprisionadas.

O carvão ativado é bom em aprisionar outras impurezas que contenham carbono como base (substâncias químicas orgânicas), ar comprimido com vapores de óleo e ou odores de hidrocarbonetos como também substâncias como o cloro. Muitas outras substâncias químicas não



são atraídas pelo carbono (sódio, nitratos, etc.) passando direto por ele. Isso significa que um filtro de carvão ativado vai remover certas impurezas, mas irá ignorar outras. Isso também significa que, uma vez que todos os locais de ligação estejam preenchidos, um filtro de carvão ativado para de funcionar, sendo necessária a sua substituição.

Simbologia Filtro Carvão Ativado com:



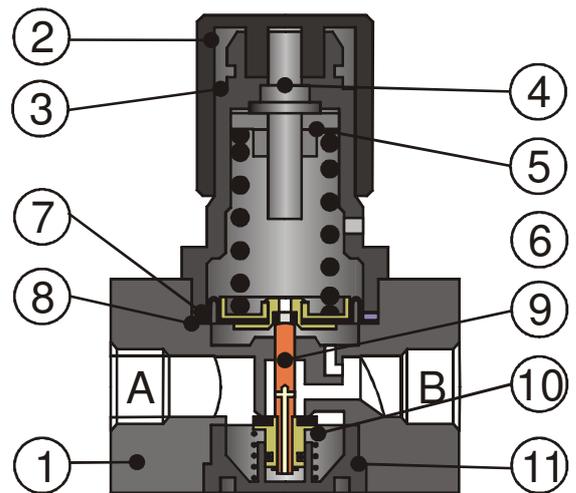
Regulador de Pressão

Função

Manter a pressão de trabalho no circuito pneumático estável sem interferências dos picos de mínimas e máximas pressões provenientes do sistema de compressão.

Princípio de funcionamento

Enquanto a manopla de regulagem (2) não for acionada o ar comprimido fica retido na conexão de entrada (A) no interior do corpo (1) do regulador de pressão e o manômetro não indicará nenhum valor de pressão, permanecendo seu ponteiro no zero da escala. O ar fica retido em razão do conjunto haste disco (obturador) (9) estar sendo empurrado por ação da mola de compensação (10) contra o acento interno do corpo (1) do regulador de pressão bloqueando a passagem de ar. A pressão de entrada neste momento, é plena, igual a pressão fornecida pela sistema de compressão. Quando a manopla de regulagem (2) for acionada, esta inicia o processo de compressão da mola de regulagem (7), comandado pelo parafuso de regulagem (4) e pelo disco de compressão (5) que comprimem a mola contra o diafragma. O diafragma comprimido pela mola de regulagem o deslocamento do conjunto haste disco (obturador) do acento do regulador de pressão, permitindo a passagem de ar comprimido para utilização. Este ar que foi liberado passa a ocupar os volumes livres dos componentes pneumáticos. O valor de pressão começa a subir e tende a se igualar ao valor de pressão da alimentação. No interior do regulador existe um pequeno orifício que comunica o lado da utilização (B) com a parte inferior do diafragma. Como a mola de regulagem desloca o diafragma com uma força correspondente a um determinado valor de pressão; ocorrerá no lado oposto do diafragma uma força contrária a da mola que como a pressão tende a igualar a pressão de entrada, passa a vencer a força da mola de regulagem, até que o conjunto haste disco entre novamente em contato com o acento do regulador de pressão, fechando a passagem de ar comprimido para utilização. Neste momento o regulador de pressão fecha-se e permanece fechado até que ocorra um novo ciclo no circuito pneumático, que provoca queda de pressão permitindo que o regulador de pressão opere novamente.



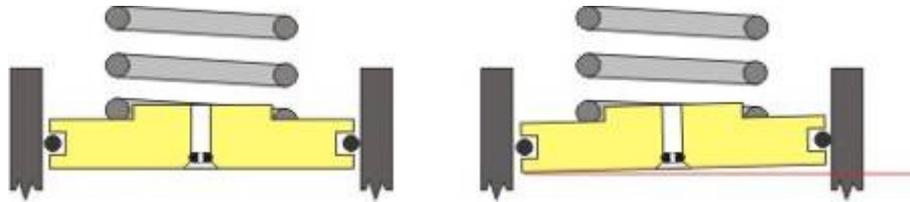
A maioria dos reguladores de pressão possui sangria, que é um orifício localizado no centro do diafragma para permitir a liberação do excedente de pressão.

Características Construtivas

Não importa o fabricante dos reguladores de pressão, todos têm os mesmos princípios de funcionamento. A maior diferença construtiva encontra-se no diafragma, na sangria e no conjunto haste disco.

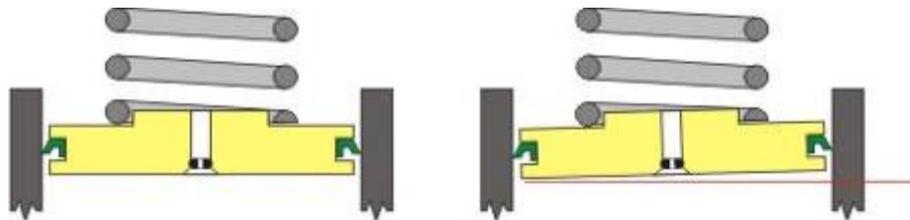
Tipo de Diafragma

- Êmbolo com vedação “O”ring – produzidos em latão ou alumínio não apresentam estabilidade no interior do corpo do regulador de pressão, elevado atrito no ponto de contato e respostas lentas com imprecisão do valor da pressão regulada. Vazão limitada. Qualquer desgaste ou dano na vedação é possível efetuar a sua substituição.

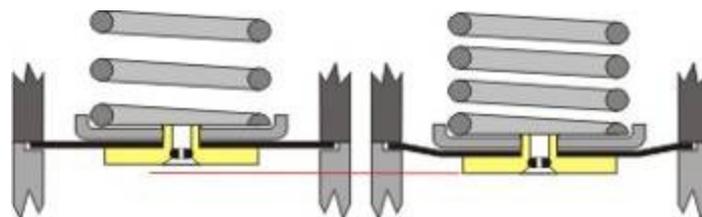


A linha vermelha exemplifica a baixa estabilidade do êmbolo ou desalinhamento.

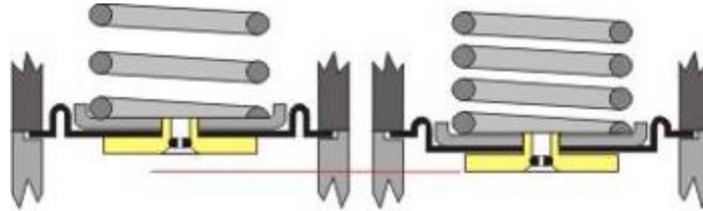
- Êmbolo com vedação “U” – produzidos em latão ou alumínio, não apresentam estabilidade no interior do corpo do regulador de pressão, tem o atrito reduzido, mas não aprimora o tempo de resposta e a precisão do valor regulado. Vazão limitada. Qualquer desgaste ou dano na vedação é possível efetuar a sua substituição.



- Diafragma Plano – produzidos em manta de borracha plana com reforço. A manta é montada em sanduíche pelo apoio da mola (aço zincado) e pelo disco (latão) que tem uma parte do pescoço dobrada para fazer um recravado de fixação do conjunto. Este modelo não provoca nenhum atrito com o corpo do regulador, permitindo resposta rápida e melhor precisão do valor regulado. Vazão limitada. Devido a pouca elasticidade da manta o diafragma é forçado constantemente desgastando o conjunto provocando perdas, vazamentos. Qualquer dano o diafragma deverá ser substituído.



- Diafragma Pré-Conformado – produzido em manta de borracha com reforço. Possui uma conformação que funciona como uma extensão. A manta é montada em sanduíche pelo apoio da mola (aço zincado) e pelo disco (latão) que tem uma parte do pescoço dobrada para fazer um recravado de fixação do conjunto. Este modelo não provoca nenhum atrito com o corpo do regulador, permitindo resposta mais rápida e melhor precisão do valor regulado. O grande diferencial deste tipo de diafragma é a conformação que não provoca nenhum tensionamento horizontal na manta do diafragma elevando sua vida útil e permitindo obter maiores vazões. Qualquer dano o diafragma deverá ser substituído.



A linha vermelha mostra que o deslocamento com diafragma pré-conformado é muito superior ao diafragma plano.

Conjunto Haste Disco

- Sem balanceamento
- Balanceado com pressão de saída
- Balanceado com pressão de entrada

Tipo de Sangria

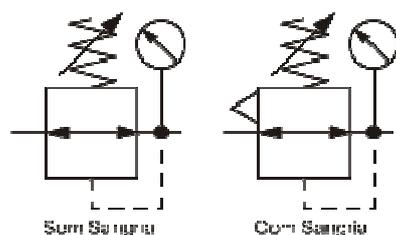
- Sem sangria – o diafragma não possui o orifício central. Utilizado em reguladores de pressão que trabalham com fluídos cujo excesso de pressão não pode ser descarregado para a atmosfera. Exemplo: gases nobres, água
- Com sangria convencional – o diafragma possui um orifício central que varia o seu diâmetro entre 1 a 1,5 mm em uma vedação de encosto e base de apoio para a haste do conjunto haste disco. Exemplo: aplicações gerais
- Com sangria rápida – o diafragma possui um orifício central que varia o seu diâmetro entre 1 a 1,5 mm em uma vedação de encosto e base de apoio para a haste do conjunto haste disco. Este tipo de sangria o conjunto haste disco é balanceado compressão de entrada permitindo um alçamento do diafragma de forma rápida e conseqüente liberação do excedente de pressão em velocidade maior que nos reguladores convencionais. Exemplo: aplicações gerais
- Com sangria controlada – o diafragma possui um orifício central que varia entre 1 a 1,5 mm de diâmetro sem vedação de encosto. Ocorre uma vedação metal / metal entre o diafragma e a haste do conjunto haste disco. Como esta vedação não é perfeita ocorre constantemente micro vazamento que desequilibra o sistema obrigando a reposição da perda imediatamente. Este princípio faz a função do regulador de pressão convencional ser muito próxima de um regulador de precisão. Exemplo: solda a ponto.

IMPORTANTE

Os reguladores de pressão não devem ser utilizados como registro. Seu mecanismo interno de regulagem não foi concebido para movimentos repetitivos. Para a função de bloqueio da alimentação de ar comprimido o correto é utilizar uma válvula seccionadora de 3 vias. Válvulas de esfera são normalmente utilizadas pelo seu custo reduzido, mas são de 2 vias e não despressurizam a linha, cuidado.

Os tipos de sangria citados anteriormente não obrigatoriamente são encontrados nas diversas marcas de equipamentos pneumáticos.

Simbologia Regulador de Pressão:



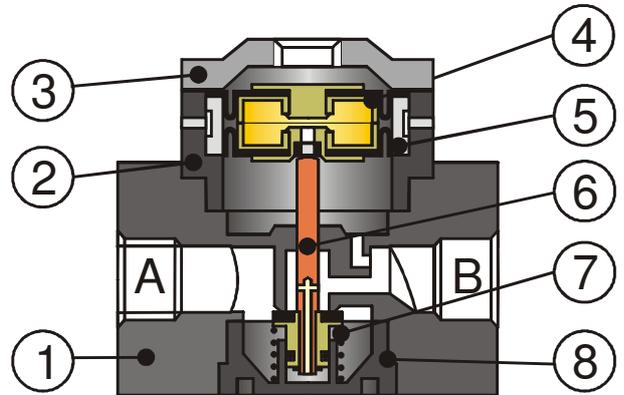
Regulador de Pressão Pilotado

Função

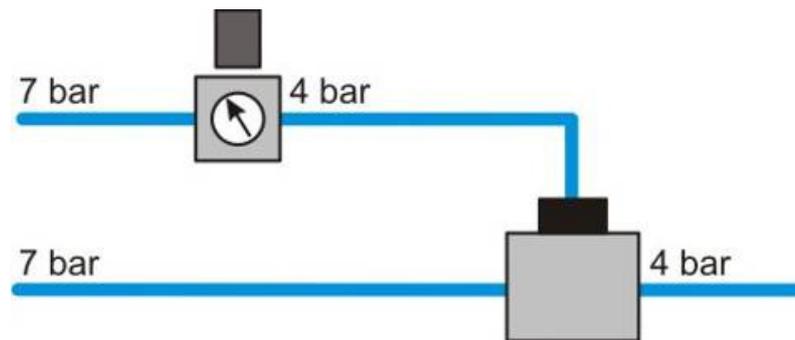
É a mesma dos reguladores de pressão.

Princípio de Funcionamento

Estes reguladores, não possuem manopla de acionamento. Necessita de um outro regulador de pressão, chamado de regulador piloto, para efetuar a regulagem do regulador pilotado. O valor de pressão que o regulador de pressão pilotado libera é igual ao valor de pressão regulada no regulador piloto. O ar do regulador piloto entra pela conexão na tampa (3) que agirá diretamente sobre um conjunto de diafragmas (5). Enquanto a pressão no diafragma do regulador pilotada não for suficiente para vencer a força contrária, promovida pela mola de compensação (7) pela pressão de entrada (A) no conjunto haste disco o regulador de pressão permanecerá fechado. Ao aumentarmos progressivamente o valor de pressão de comando ocorrerá a movimentação do conjunto haste disco permitindo o fluxo de ar para utilização (B). A partir deste instante o regulador de pressão pilotado tem as mesmas características de trabalho dos demais reguladores de pressão.



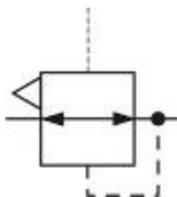
O esquema abaixo mostra como é a ligação de comando entre o regulador piloto e o pilotado.



Aplicação

O regulador de pressão pilotado pode ser encontrado com conexão entre 3/8" BSP até 2"½ BSP. São reguladores para serem instalados em locais de difícil acesso ou que não ofereçam segurança ao operador, comando a distância. Como são reguladores para altas vazões os mecanismos de comando interno seriam proporcionais ao regulador o que dificultaria o manuseio como sua instalação em painéis.

Simbologia Regulador de Pressão Pilotado



Regulador Pressão Proporcional / Eletrônico

Função

É a mesma dos reguladores de pressão mecânicos.

Princípio de Funcionamento

Estes reguladores de pressão não possuem manopla de regulagem como nos reguladores convencionais. O sistema mecânico de regulagem foi substituído por um sistema eletrônico. O regulador de pressão proporcional converte um sinal elétrico, tensão ou corrente, de um sistema externo em sinal de pressão.

Aplicação

São reguladores para aplicações em equipamentos de tensionamento, compressão, envase, transferência, etc.

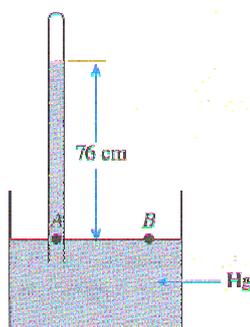
Medição da Pressão

Pressão Atmosférica

A Terra está envolta por uma camada de ar, denominada atmosfera, constituída por uma mistura gasosa. Essa camada não pode ser mensurada, porque à medida que aumenta a altitude, o ar se torna muito rarefeito, isto é, com pouca densidade. Como o ar é composto por moléculas, é atraído pela força de gravidade da Terra, portanto tem peso. Devido ao seu peso, a atmosfera exerce uma pressão, a **pressão atmosférica**.

A pressão atmosférica age em todas as direções, perpendicularmente a superfície e com a mesma intensidade.

O valor da pressão atmosférica pode ser medido com uma experiência idealizada pelo físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), físico e matemático italiano que foi discípulo de Galileu.



Pegamos um tubo de vidro de 1m de comprimento, fechado numa das extremidades, e o enchemos completamente com mercúrio. Fechamos com o dedo a extremidade aberta, invertemos o tubo e o imergimos num recipiente que também contenha mercúrio. Ao retirar o dedo, observamos que o tubo não se esvazia completamente.

O mercúrio nele contido escoou para o recipiente até que o desnível atinja cerca de 760mm.

É a pressão atmosférica que impede que o tubo se esvazie até o fim. Ela comprime a superfície exposta do mercúrio e, desse modo, sustenta o líquido que ficou no interior do tubo.

A pressão atmosférica diminui com o aumento da altitude. Isso ocorre porque o peso do ar sobre as camadas elevadas da atmosfera é menor do que aquele que age sobre as camadas mais baixas. Ao nível do mar, a pressão atmosférica é, em média, de 760mm de mercúrio.

Altitude (m)	Pressão Atmosférica (mmHg)	Altitude (m)	Pressão Atmosférica (mmHg)
0	760	1200	658
200	742	1400	642
400	724	1600	627
600	707	1800	612
800	690	2000	598
1000	674	3000	527

Em pneumática força e pressão são grandezas físicas importantes.

Precisamos entender estas duas grandezas para um bom entendimento do funcionamento e aplicação dos equipamentos pneumáticos.

Pressão é a relação entre uma força e superfície sobre a qual ela atua.

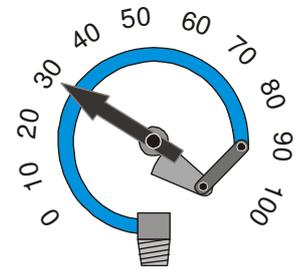
Os equipamentos utilizados para efetuar a medição da pressão nos circuitos pneumáticos são os vacuômetros e os manômetros.

A característica construtiva destes equipamentos pode variar de acordo com a precisão necessária, podendo ser construídos com:

- Tubo de Bourdon
- Membrana
- Fole

Tubo de Bourdon

Consta de um tubo metálico de secção elíptica, tendo uma de suas extremidades em contato com a fonte de pressão e a outra extremidade fechada de tal forma que a pressão efetiva do dispositivo provoca a deformação do tubo de Bourdon, transferindo o movimento a um mecanismo que transfere movimento ao ponteiro, para que seja visualizado um valor numérico de pressão indicado no mostrador. O tubo de Bourdon é o mais empregado de todos e consiste, como se vê, na transformação de pressão medida em movimento indicador.



Os tubos de Bourdon industriais podem ter diversos tamanhos, conforme sejam constituídos de uma simples forma de letra C, uma espiral ou ainda de uma helicóide, dependendo da pressão a ser medida. O tipo C é para uso geral até 1000 kgf/cm². O espiral é para pressão entre 1 a 15 kgf/cm² e o helicoidal para pressão maior que 15 kgf/cm². Os dois últimos modelos são manômetros de maior precisão.

Na pneumática os manômetros normalmente utilizados podem ser com entrada traseira (horizontal) ou com entrada na base (vertical). Os manômetros ainda podem ser fixados diretamente em um ponto para tomada de pressão (regulador de pressão) como também instalada em superfícies planas (painéis) através de flanges de fixação.

Cuidados na Especificação e Utilização

Para se obter o melhor resultado na utilização dos manômetros é preciso considerar o valor de pressão de trabalho (regulada) com o valor final da escala indicado no mostrador. Como o tubo de Bourdon é um elemento mecânico e que sofre ação direta da pressão é importante respeitar os limites técnicos e evitar danos no mecanismo interno. O tubo de Bourdon sofre inicialmente deformação elástica que não provocará nenhum dano desde que respeitado os limites técnicos para os valores de pressão de trabalho. Caso o manômetro seja utilizado com valor de pressão superior ao limite técnico poderá ocorrer deformação plástica que com a constância implicará em dano permanente tornando os valores indicados não confiáveis.

O valor máximo de pressão regulada nunca deverá ultrapassar 60% do valor final da escala do manômetro.

O valor mínimo de pressão regulada nunca deverá ser inferior a 10% do valor final da escala do manômetro.

Para uma especificação adequada e em conformidade com o valor final da escala devem-se respeitar os valores indicados na tabela abaixo:

Escala Manômetro	Valor Máximo	Valor Inadequado
0 – 2 kgf/cm ²	1,5 kgf/cm ²	0,2 kgf/cm ²
0 – 4 kgf/cm ²	2,5 kgf/cm ²	0,5 kgf/cm ²
0 – 6 kgf/cm ²	4,0 kgf/cm ²	0,5 kgf/cm ²
0 – 10 kgf/cm ²	6,0 kgf/cm ²	1,0 kgf/cm ²
0 – 12 kgf/cm ²	7,0 kgf/cm ²	1,5 kgf/cm ²
0 – 16 kgf/cm ²	9,5 kgf/cm ²	1,5 kgf/cm ²

IMPORTANTE:

A especificação do manômetro encontra-se ligada diretamente à faixa de trabalho do regulador de pressão.

Exemplo:

Regulador de pressão com faixa de regulação de 0 – 6 kgf/cm²

Pressão de trabalho de 5 kgf/cm²

Habitualmente a tendência também é de especificar um manômetro com a mesma faixa do regulador de pressão, o que é um erro, pois o manômetro irá trabalhar muito próximo do fundo da escala.

O correto é especificar um manômetro com escala de 0 – 10 kgf/cm², onde o valor da pressão de trabalho é inferior ao valor máximo de 60% do fundo de escala.

Maior vida útil e precisão no valor de leitura.

A constante queda de pressão, em razão da característica dos circuitos pneumáticos faz com que os manômetros sofram movimentos constantes e muitas vezes bruscos no mecanismo interno que se transfere ao ponteiro, não permitindo uma leitura correta e principalmente acelerando a redução da vida útil, a confiabilidade no valor indicado ou até mesmo a inutilização do manômetro. Para evitar estes problemas os manômetros podem trazer sistemas de amortecimento. Alguns manômetros trazem internamente o sistema imerso em glicerina, muito utilizado na hidráulica. Já na pneumática os manômetros trazem no interior da conexão uma redução no orifício de passagem. Este funciona como uma válvula de controle de fluxo não deixando que o ar no momento da despressurização saia do interior do tubo de Bourdon, fazendo o ponteiro indicar um valor inferior e na pressurização logo na seqüência indicar um valor igual ou superior ao regulado.

Simbologia Manômetro



Filtro Regulador de Pressão

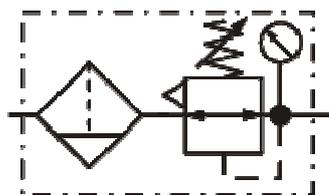
Função

Filtrar e regular a pressão de trabalho com redução de espaço ocupado. Este componente é a soma do filtro de ar mais regulador de pressão em uma única peça.

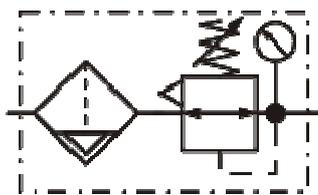
Princípio de Funcionamento

Mantém a mesma característica de funcionamento do filtro de ar e do regulador de pressão. A única diferença é que o ar após ter passado pelo elemento filtrante segue internamente para o regulador de pressão.

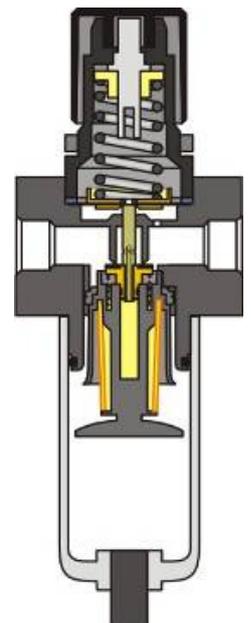
Simbologia



Dreno Manual



Dreno Automático



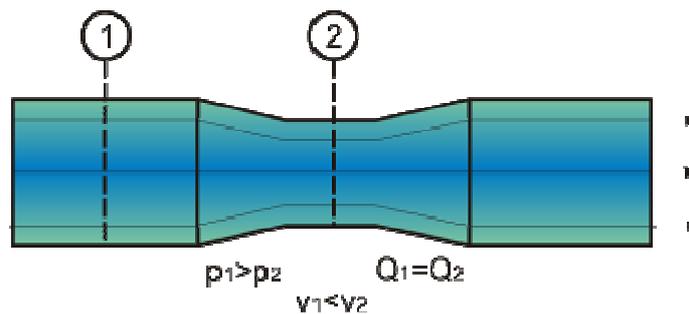
Lubrificador

Função

O lubrificador é o responsável por armazenar e liberar conforme o consumo de ar comprimido em razão dos ciclos do circuito pneumático para que toda a parte móvel dos componentes pneumáticos receba a lubrificação adequada.

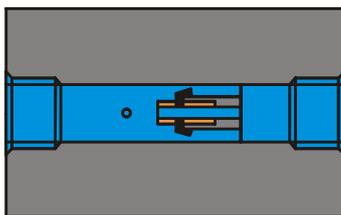
Princípio de Funcionamento

O ar ao entrar no lubrificador, pressuriza o copo abastecido com óleo, através de um orifício de comunicação perpendicular a conexão de entrada de ar. Enquanto os equipamentos pneumáticos não forem acionados o lubrificador não libera óleo, pois o mesmo somente entra em funcionamento quando ocorrer fluxo de ar internamente. Para podermos entender corretamente o seu funcionamento, é preciso fazer referência ao princípio físico do tubo de Venturi.

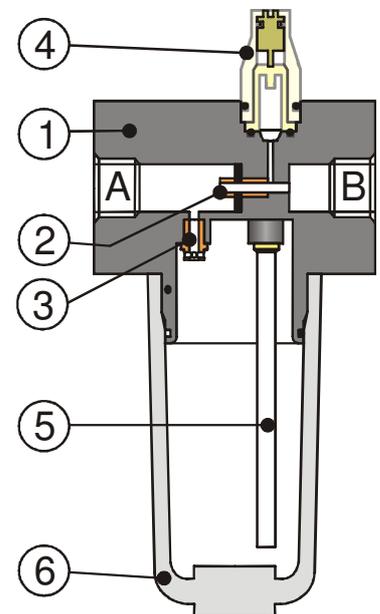


Este princípio descreve o comportamento de um fluido quando este passa por uma restrição. Uma determinada vazão Q , em razão do princípio de Bernoulli, não muda, a velocidade aumenta e a pressão diminui.

O ar comprimido ao entrar no lubrificador (A) também é desviado (3) para pressurizar o copo. Alguns lubrificadores possuem um pequeno defletor (3) que impede o fluxo de direto sobre o óleo armazenado evitando a formação de micro bolhas de ar no óleo. O ar para atingir a conexão de utilização (B) deverá passar inicialmente pelo tubo de Venturi (2) onde ocorrerá o aumento da velocidade e queda de pressão. Para não ocorrer perda de vazão o ar flui pelas laterais do Venturi, como mostra a figura abaixo:



Junto do pequeno tubo existe um diafragma que força parte do ar a entrar pelo Venturi e sede quando ocorre fluxo permitindo a passagem de um maior volume de ar comprimido.



O centro do tubo de Venturi esta ligado diretamente com a cúpula visora (4). Quando ocorre o fluxo de ar comprimido no interior da cúpula haverá um valor de pressão inferior ao valor de pressão que o óleo esta sendo comprimido no interior do copo (6). O óleo então em transferido para a cúpula visora (4) através do tubo pescador (5). O óleo ao chegar à cúpula visora será obrigado a passar por um sistema de controle, uma pequena válvula de fluxo que liberará mais ou menos óleo conforme a necessidade de lubrificação dos equipamentos em uso. Este pequeno volume de óleo, gota de óleo, ao ser liberado encontrará o ar comprimido passando a alta velocidade no interior do Venturi e esta gota será pulverizada em micro gotas que serão transportadas pelo ar comprimido em forma de aerossol até os pontos que necessitem de lubrificação. Os lubrificadores de linha somente liberaram o óleo para a lubrificação se houver fluxo de ar comprimido, ou seja, quando o equipamento pneumático estiver parado não haverá consumo de óleo lubrificante.

IMPORTANTE:

O óleo de lubrificação, não importa o fabricante, deverá atender a especificação ISO VG 32.

Nota: Não misture sobras de óleo de fabricantes diferentes.

Qualquer outro tipo de óleo, que não atenda a especificação acima, poderá comprometer o funcionamento adequado dos equipamentos pneumáticos como também obrigará a manutenções corretivas desnecessárias.

A grande maioria dos equipamentos pneumáticos fabricados atualmente são auto lubrificados, não necessitam de lubrificação em razão da graxa de montagem utilizada e das vedações com perfis diferenciados, que reduzem os atritos internos.

Se os equipamentos pneumáticos auto lubrificados receberem lubrificação, a lubrificação não mais poderá ser eliminada uma vez que o óleo lubrificante faz a remoção da graxa de montagem.

Custo com a lubrificação.

No exemplo abaixo o cálculo é feito somente levando-se em consideração o óleo lubrificante.

Dados:

1 gota de óleo = 0,03 ml (volume aproximado de uma gota de óleo)

30 gotas/min = 0,9 ml

1 hora de trabalho = 54 ml

8 horas diárias = 432 ml

22 dias/mês = 9504 ml = 9,5 l

Preço médio de 1 litro de óleo ISO VG 32 R\$ 12,00.

$9,5 \text{ l} \times \text{R\$ } 12,00 = \text{R\$ } 114,00/\text{mês}$

Total em 12 meses = R\$ 1.368,00 em um único equipamento.

Este custo é somente para o lubrificante. Em algumas empresas ainda é preciso considerar custo com transporte, armazenamento, repositores e etc.

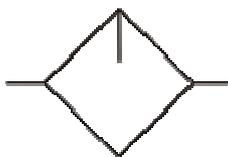
É possível concluir que investimento em geração e preparação do ar comprimido conforme norma xxxx em um primeiro momento é uma despesa muito significativa, mas que se deixar de utilizar a lubrificação recupera-se o investimento em curto espaço de tempo.

IMPORTANTE

Ar comprimido que contenha excesso de água, não removida pelo sistema de tratamento de ar irá se misturar com o óleo. Como água e óleo possuem densidades diferentes o óleo fica por cima da água e o lubrificador irá coletar água e pulverizar esta para os equipamentos pneumáticos comprometendo o desempenho e vida útil. Esta água apresenta pouca transparência e com pequenas partículas em suspensão.

Em muitos casos esta água também pode vir contaminada com óleo, carbonizado, de lubrificação dos compressores, formando uma mistura de cor branca na maioria das vezes e em algumas situações uma mistura de cor marrom claro. Esta água contaminada, mais o óleo, formam uma mistura mais viscosa o que compromete totalmente o funcionamento do lubrificador. É preciso promover manutenção em ambos os casos e evitar a permanência no interior do lubrificador destes contaminantes.

Simbologia Lubrificador



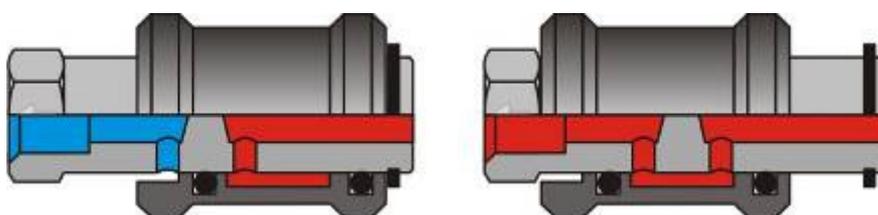
Válvula Seccionadora

Função

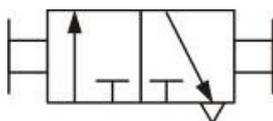
Bloquear o ar de alimentação e depressurizar o circuito pneumático rapidamente.

Válvula Deslizante

É uma válvula de corredeira, onde uma empunhadura desloca-se sobre um corpo cilindro com conexões na extremidade. Também é conhecida como válvula de fecho rápido. A válvula quando está fechada não deixa o ar comprimido passar para o equipamento pneumático mantendo o equipamento pneumático depressurizado. Ao se deslocar a empunhadura para o lado oposto, o fluxo de ar comprimido é liberado. Neste modelo não é possível colocar silenciador para reduzir o ruído de escape do ar comprimido para a atmosfera.



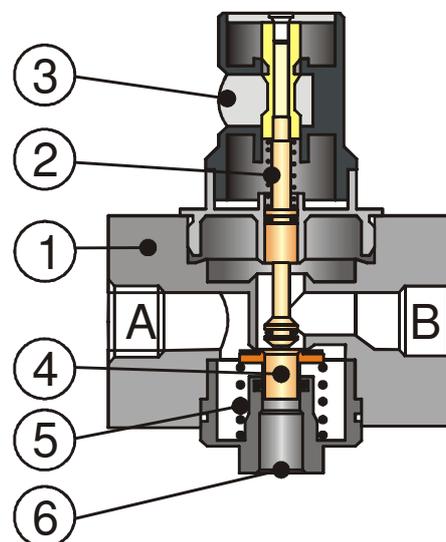
Simbologia



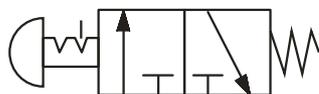
Válvula Seccionadora Manual

Válvula de acionamento manual é uma válvula de vedação por carretel, acento ou tipo guilhotina. Essas válvulas possuem local para colocação de cadeados com a finalidade de impedir que seu acionamento seja efetuado, durante uma manutenção. Estas válvulas podem receber diversos cadeados ou cadeados dependentes, cuja função é garantir que a pressurização do equipamento somente acontecerá quando da retirada do último cadeado, informando que todos os responsáveis por uma possível manutenção terminaram seus serviços e que a máquina encontra-se liberada para avaliações ou mesmo produção.

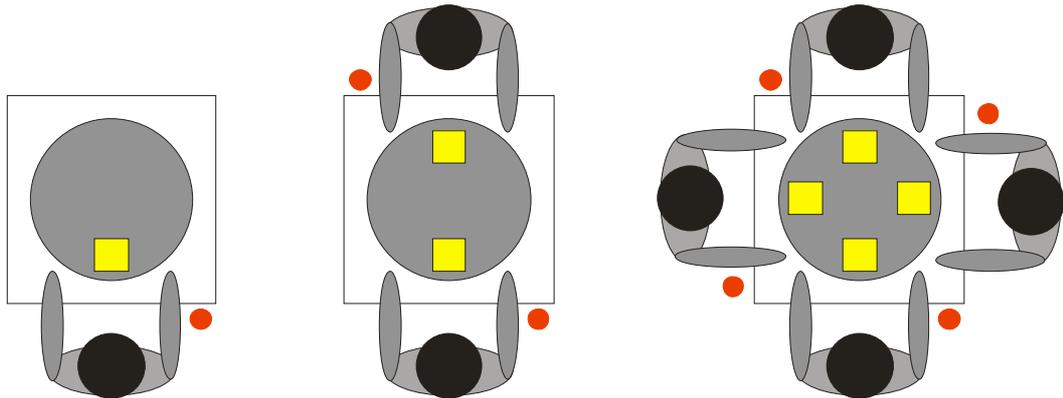
Podem ser montadas na preparação de ar ou em pontos estratégicos do equipamento para facilitar o acionamento pelo operador em caso de emergência. A via de escape destas válvulas é diferente das válvulas deslizantes, pois permitem que seja colocado um silenciador de escape ou que seja feita uma canalização desta via.



Simbologia

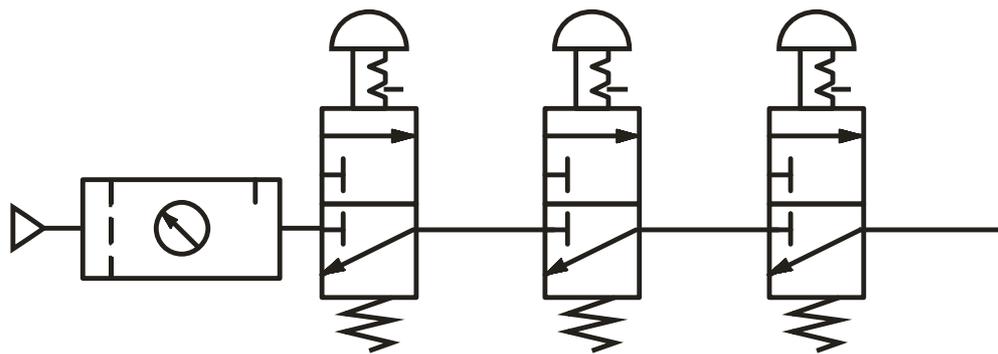


Exemplo:



Na figura acima cada operador pode agir em caso de finalização de um processo ou como emergência diretamente na válvula seccionadora que interromperá e despressurizará o equipamento. Para este caso as válvulas seccionadoras quando for mais de uma posição de trabalho devem estar ligadas em série. Qualquer válvula seccionadora que seja acionada, independente da posição de trabalho interromperá o fluxo de todas as posições de trabalho.

Abaixo esquema para três posições distintas de trabalho.

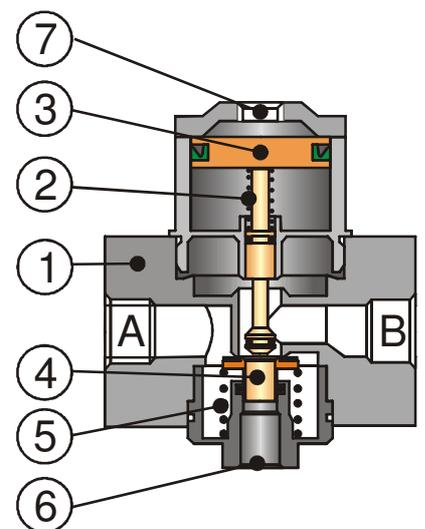


Válvula Seccionadora Pneumática

São válvulas que necessitam de outra válvula para efetuar o seu acionamento. Podem ser válvulas com vedação por carretel ou acento.

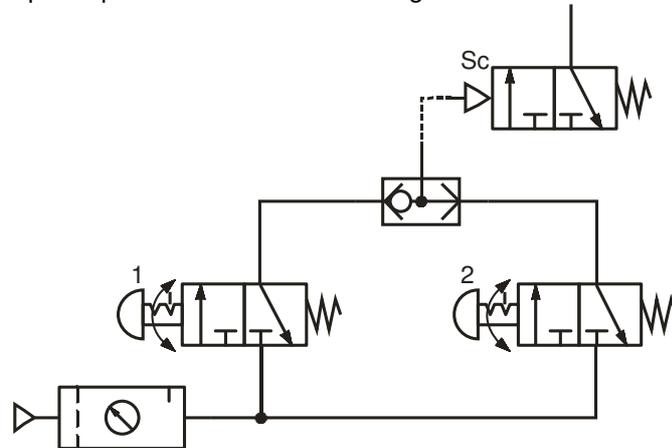
Pode ser montada na preparação de ar ou individualmente. Pode receber se necessário, comandos de mais de um local diferente, conforme a necessidade de segurança requerida no equipamento. A via de escape deste modelo de válvula permite a colocação de um silenciador de escape ou que seja feita a canalização desta via.

Simbologia



Exemplo:

Tomando como base a mesma figura do exemplo para válvulas seccionadoras manual, com válvula seccionadora pneumática podemos ter somente uma válvula seccionadora montada junto do conjunto de preparação de ar e em cada posição de trabalho será colocada uma válvula de botão cogumelo para ser acionada individualmente pelo operador em caso de emergência.



O esquema acima é para uma aplicação com duas posições de trabalho distintas e independentes.

Válvula Seccionadora Elétrica

São válvulas acionadas eletricamente. Podem ter bobinas incorporadas de 15mm e com tensão definida ou bobinas de 22mm com tensão conforme a necessidade.

Pode ser montada na preparação de ar ou individualmente. Pode receber se necessário, comandos de mais de um local diferente, conforme a necessidade de segurança requerida no equipamento. A via de escape deste modelo de válvula permite a colocação de um silenciador de escape ou que seja feita a canalização desta via.

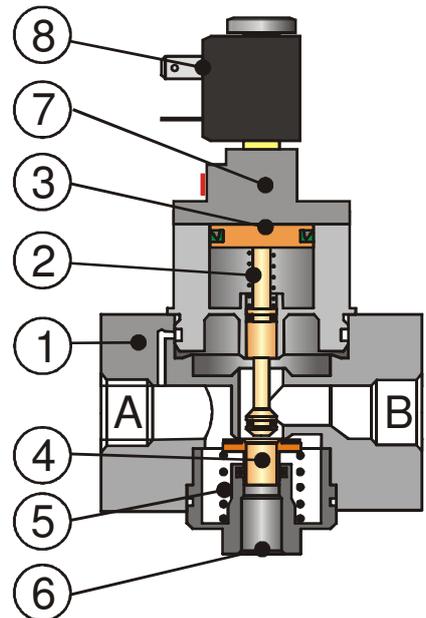
Estas válvulas também podem ser utilizadas com válvulas direcionais de alta vazão.

Simbologia



Exemplo:

Tomando como base a mesma figura do exemplo para válvulas seccionadoras manual, com válvula seccionadora pneumática podemos ter somente uma válvula seccionadora montada junto do conjunto de preparação de ar e em cada posição de trabalho será colocada uma válvula de botão cogumelo para ser acionada individualmente pelo operador em caso de emergência.



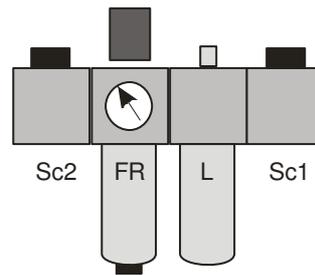
IMPORTANTE

A válvula seccionadora normalmente é montada nos conjuntos de preparação de ar. Como a sua função é bloquear a alimentação do ar ela deverá ser o primeiro componente do conjunto de preparação de ar, pois despressuriza todos os componentes facilitando a manutenção.

CUIDADO

Conjuntos de preparação de ar com lubrificador e que tenham a válvula seccionadora acionada diversas vezes, por motivos de processo provocaram lubrificação em sentido contrário, devido ao fluxo de ar contido no circuito e que percorre todos os componentes em sentido a via de escape da válvula seccionadora. Todos os componentes anteriores ao lubrificador receberam uma quantidade de óleo lubrificante podendo prejudicar o seu funcionamento. Pode-se confirmar essa ocorrência se for detectado óleo no copo do filtro de ar ou do filtro regulador. Este óleo pode causar incerteza e uma avaliação incorreta, como sendo este óleo proveniente do sistema de compressão.

Sugestão: Monte o conjunto com duas válvulas seccionadoras, uma para despressurizar o circuito e outra para despressurizar o conjunto de preparação de ar.



Válvula de Abertura Progressiva

As válvulas de abertura progressiva liberam o ar comprimido por um determinado tempo de forma controlada para depois liberar o fluxo máximo. Evitam que os atuadores na reposição do ar comprimido no circuito realizem movimentos bruscos e trancos que são transferidos aos dispositivos, podendo danificá-los. Também são conhecidas como válvulas de partida suave.

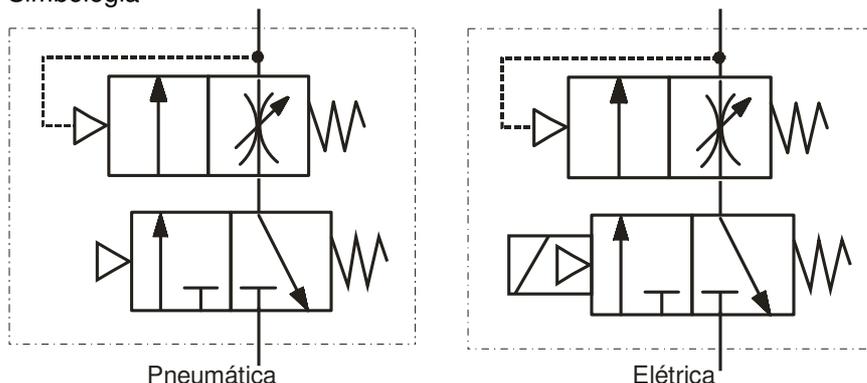
Princípio de Funcionamento

As válvulas de abertura progressiva podem ter pequenas diferenças construtivas, mas todas são com comando elétrico. Algumas com bobina elétrica avulsa que a especificação da bobina é em separado da válvula e outras que a bobina é parte integrante da válvula.

Também é possível encontrar a válvula de abertura progressiva sendo dependente da válvula seccionadora, para se obter o resultado final é preciso montar o conjunto.

A válvula na situação inicial encontra-se fechada, não permitindo a passagem do ar comprimido. Quando o ar comprimido chega a válvula de abertura progressiva este inicialmente entra por passagem livre com uma válvula de controle de fluxo ajustável. Quando este ar controlado iniciar o preenchimento dos espaços vazios a pressão interna começa a aumentar gradativamente e com isso os atuadores iniciam a movimentação suave. Este mesmo por um orifício de comunicação já na conexão de utilização alimenta uma câmara que necessita de um valor mínimo para atuar. Quando o sistema entra todo em equilíbrio com este valor de pressão a válvula de abertura progressiva se abre totalmente liberando então o fluxo máximo para o circuito pneumático.

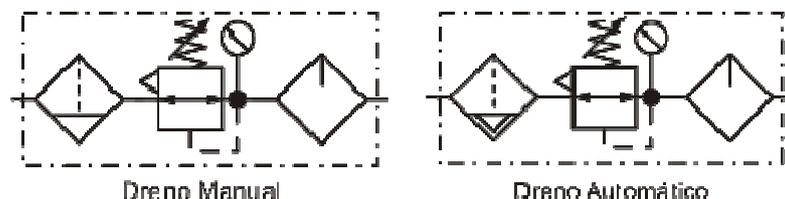
Simbologia



Conjuntos de Preparação de Ar

Os conjuntos de preparação de ar são unidades montadas com os componentes que vimos anteriormente conforme a aplicação. Os conjuntos são fornecidos montados ou podem ser montados posteriormente pelo usuário.

Simbologia Preparação de Ar (Filtro de Ar + Regulador de Pressão + Lubrificador)

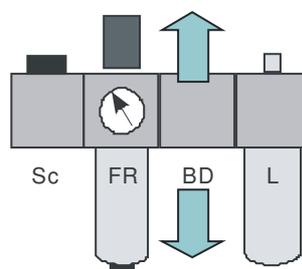


Simbologia Simplificada



Blocos de Derivação

Os blocos de derivação permitem que na montagem do conjunto de preparação de ar seja possível o uso do ar comprimido se que ele passe pelo componente posterior ao bloco de derivação. Necessita-se de ar comprimido filtrado e regulado, mas não com óleo lubrificante, então o bloco de derivação deverá ser montado entre o filtro regulador e o lubrificador, como mostra a figura abaixo.



As derivações não obrigatoriamente necessitam de ser feitas com os blocos de derivação, podem ser feitas com blocos de distribuição ou mesmo com conexões "T" ou cruzetas. A diferença é que a montagem com o bloco de derivação é mais agradável aos olhos, pois os blocos possuem as características de perfil dos demais componentes do conjunto de preparação de ar.

Alguns fabricantes fornecem o bloco de derivação com uma válvula de retenção incorporada. A função desta retenção é impedir uma despressurização instantânea do circuito pneumático, como segurança, caso venha a haver comprometimento do fornecimento de ar comprimido.

Referências Bibliográficas

- SIGHIERI, Luciano; NISHINARI, Akiyoshi. Controle Automático de Processos Industriais – Instrumentação. São Paulo: Editora Edigar Blücher Ltda. 1973.
- STEWART, Harry. Pneumática e Hidráulica. São Pulo: Hemus Livraria e Editora Ltda. 1981.
- BELFORTE, Guido; BERTETTO, Andrea Manuello; MAZZA, Luigi. Automazione Industriale – Pneumatica Corso Completo. Milano: Tecniche Nuove, 2000.
- DRAPINSKI, Januzs. Hidráulica e Pneumática industrial Móvel. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, 1979.
- Metal Work Pneumatic. Manuale di Pneumatica. Linea Didattica
- MOREIRA, Ilo da Silva; Compressores Instalação, Funcionamento e Manutenção. São Paulo: Senai. 1991.
- Tratamento Ar Comprimido – HB-Dominick Hunter Equipamentos Ltda.
- Introdução à Pneumática – Festo Didatic
- Princípios Básicos – Schrader Bellows
- Pneumatics For All – Camozzi SPA

Sites Consultados

- http://www.mspc.eng.br/fldetc/arcompr_110.shtml#qualid
- http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/et_T05.htm
- <http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=295>
- <http://www.camphost.com.br/ktsystem/artigo/pneumatica-o-tratamento-correto-do-ar-comprimido>
- <http://www.asta.com.br/v2/index.php?cat=pressao&p=52&id=conceitos>
- http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/Instrumentacao_Press%C3%A3o_pg3_pg22.pdf
- <http://www.instrumentacao.net/pressao/elementos.php>
- http://www2.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_G2.pdf
- http://www.em.pucrs.br/lfrm/alunos/luc_gab/compressores.html
- <http://www.hbdh.com.br/noticia.php?id=1&pg=6>
- http://www.compair.pt/About_Us/Compressed_Air_Explained--05Air_treatment_methods.aspx
- http://www.smg.gov.mo/dm/learnmet/p_atmosp.htm
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Compressor#Compressores_de_palheta
- http://www.google.com.br/search?hl=pt-BR&q=hommo+sapiens+descoberta+do+fogo&btnG=Pesquisar&meta=lr%3Dlang_pt
- <http://ciencia.hsw.uol.com.br/questao209.htm>
- http://www.etepiracicaba.org.br/apostilas/mecanica/mecanica_2ciclo/automacao.pdf
- <http://www.laship.ufsc.br/PDF/ApostilaPDF/SistHPContAutP2.pdf>
- <http://www.pfmilcent.eng.br/apos%20compr%2022007.pdf>
- http://www.raccosafety.com.br/Edicao13_Declaracao_de_guerra_ao_ruido.pdf
- http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672006000400010&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- http://www.camfilfarr.com/cou_bras/filtertechnology/proffilt/adsorption.cfm