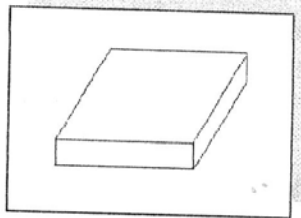
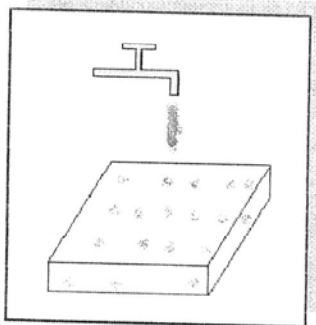


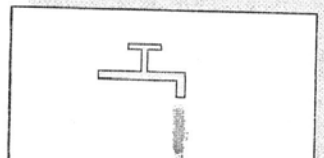
Esponja seca: esponja sem água U.R.=0%



Esponja não saturada: ao colocarmos um ponto de água, a esponja absorve. $0 < \text{U.R.} < 100\%$.



Esponja saturada: se continuarmos colocando água, chegará um ponto em que a esponja ficará saturada. U.R.=100%.



A quantidade de água em forma de vapor que o ar pode conter depende de dois fatores importantes: **Pressão e Temperatura.**

Pressão: a alteração da pressão influencia nas condições do ar comprimido. Quanto maior a pressão para uma mesma temperatura maior a U.R.

Um ambiente submetido a pressão de 1 Barg e com U.R.=50% terá sua U.R. aumentada para 90% quando tiver a pressão aumentada para 3 Barg.

Voltemos a analogia entre o ar e a esponja:

Esponja não saturada: a esponja já contém alguma quantidade de água. $0 < \text{U.R.} < 100\%$

Esponja saturada: ao comprimirmos a esponja, chegará um ponto em que a esponja ficará saturada.
U.R. = 100%

Esponja saturada com excesso de água: se comprimirmos um pouco mais, começará a gotejar.
U.R. = 100%

Esponja não saturada (com menos água): ao voltarmos as condições iniciais, a esponja conterá uma quantidade menor de água do que inicialmente. $0 < \text{U.R.} < 100\%$

Temperatura: Com a mudança de temperatura altera-se a capacidade do ar de reter umidade. Quando a temperatura sobe a U.R. aumenta e quando cai a U.R. diminui.

Ponto de orvalho: é a temperatura em que a umidade contida no ar comprimido, à uma determinada pressão, começa a condensar. É o ponto em que a U.R. atinge 100%, isto é, o ar está saturado.

Um exemplo típico para demonstrar este fenômeno ocorre quando tiramos um recipiente da geladeira, nota-se uma formação de condensado na parte externa, isto é proveniente do choque térmico desta superfície mais fria (temperatura do ponto de orvalho) com o ar do ambiente, que está a uma temperatura maior, fazendo com que haja a condensação de parte do vapor de água contido neste ar.

PONTO DE ORVALHO ATMOSFÉRICO: é o ponto de orvalho medido a pressão atmosférica

Explicação: a temperatura na qual o vapor de água contido no ar comprimido numa certa pressão iniciaria a sua condensação.

Unidade: °C

Padrão de referência: Ponto de orvalho @ pressão atmosférica

Explicação: a temperatura na qual o vapor de água contido no ar comprimido iniciaria a sua condensação após a sua despressurização.

Unidade: °C

Exemplo: Cálculo da umidade absoluta e da relativa ao sair de um secador de ar comprimido (Ponto de orvalho @ pressão de operação = +2°C) sendo a pressão de 7 Barg e a temperatura de 30°C.

Umidade absoluta: Temos a tabela de umidade absoluta x Ponto de Orvalho @ pressão atmosférica, portanto devemos calcular o nosso Ponto de orvalho @ pressão atmosférica pelo gráfico.

Entrada: Ponto de orvalho @ pressão de operação = +2°C

Pressão de 7 Barg

Saída: Ponto de orvalho @ pressão atmosférica = -21°C

Tabela

Entrada: Ponto de orvalho @ pressão atmosférica = -21°C

Saída: $(0,7566 \text{ g/m}^3 + 0,6232 \text{ g/m}^3) / 2 = 0,69 \text{ g/m}^3$

Umidade relativa

Cálculo: massa de vapor de água existente no ar comprimido em relação a massa de vapor de água que o ar comprimido poderia conter nessa temperatura e pressão sem iniciar a condensação.

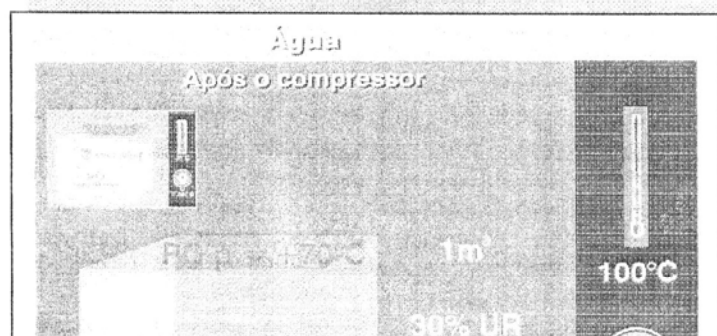
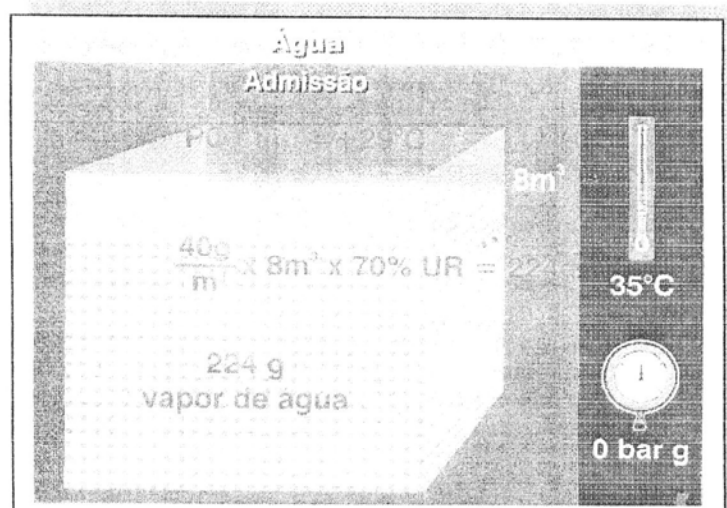
Massa de vapor de água existente no ar comprimido = $0,69 \text{ g/m}^3$

Massa de vapor de água que o ar poderia conter na temperatura de 30°C e pressão de 7 Barg sem iniciar a condensação = Ponto de orvalho @ pressão de operação = + 30°C

Temos a tabela de umidade absoluta x Ponto de orvalho @ pressão atmosférica, portanto devemos calcular o nosso Ponto de orvalho @ pressão atmosférica pelo gráfico.

(PRESSÃO ATMOSFÉRICA)

P.O. °C	QUANTIDADE g/m ³	U.R. (%) 20°C	PPM VOLUME	PPM PESO
-74	0.0016	0.01	1.41	0.86
-70	0.0028	0.02	2.58	1.58
-66	0.0049	0.03	4.63	2.83
-62	0.0084	0.05	8.13	4.98
-58	0.0142	0.08	13.96	8.55
-54	0.0235	0.14	23.52	14.40
-50	0.0382	0.22	38.89	23.81
-46	0.0610	0.35	63.18	38.68
-42	0.0957	0.55	100.94	61.80
-38	0.1480	0.86	158.73	97.18
-34	0.2254	1.30	245.86	150.53
-30	0.3385	1.96	375.41	229.84
-26	0.5015	2.90	565.44	346.19
-24	0.6075	3.51	690.55	422.79
-22	0.7336	4.24	840.68	514.70
-18	1.0600	6.12	1234.56	755.85
-14	1.5150	8.75	1791.84	1097.05
-10	2.1390	12.36	2571.83	1574.59
-6	2.9900	17.27	3652.56	2236.27
-2	4.1360	23.89	5135.78	3144.36
0	4.4870	25.92	6068.81	3715.61
2	5.5630	32.14	7016.06	4295.56
6	7.2650	41.97	9315.92	5703.64
8	8.2750	47.81	10701.01	6551.64
10	9.4050	54.33	12267.49	7510.72
14	12.0800	69.79	16079.45	9813.07



6 – EQUIPAMENTOS DE PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

Resfriador Posterior

Para resolvermos de maneira eficaz o problema inicial da água nas instalações de ar comprimido, o equipamento mais indicado é o resfriador posterior (ou Aftercooler), localizado logo após a saída do compressor, eliminando dessa forma a maioria do condensado que eventualmente pudesse ser produzido na linha de ar comprimido.

O resfriador posterior é um trocador de calor utilizado para resfriar o ar comprimido, e como consequência desse resfriamento conseguiremos retirar uma média de 70% da umidade inicial, o que na prática pode ser a solução para muitos casos de aplicação do ar comprimido. Na verdade o resfriamento do ar comprimido traz outros benefícios os quais poderemos citar:

- Forçar a condensação do ar comprimido, após a geração através dos compressores;
- Evitar que a linha de distribuição sofra dilatação, causada pela alta temperatura de descarga do ar;
- Reduzir a probabilidade de provocar choque térmico e contração na tubulação, acarretando trincamentos nas uniões soldadas, que viriam a ser pontos de fuga para o ar.

Há basicamente dois tipos de refrigeração para os resfriadores posteriores: ar ou água. O segundo é o que normalmente é mais utilizado, sendo que seu rendimento muitas vezes é maior que o tipo resfriador a ar. No entanto nem sempre é possível sua utilização devido a disponibilidade de água para fazê-lo, pois o custo operacional desse tipo pode ser maior, pois há que considerar toda a estrutura envolvida na captação, distribuição e refrigeração.

Deve-se observar cuidadosamente a temperatura da água fornecida para o resfriamento do ar (sugere-se como temperatura máxima da água de entrada de 28°C), do contrário se o fluido refrigerante for circulado com temperatura elevada, ou se o volume necessário não for obedecido, o desempenho do

RESERVATÓRIO de Ar Comprimido

Um sistema de ar comprimido é dotado geralmente de um ou mais reservatórios, desempenhando funções junto a todo o processo de produção.

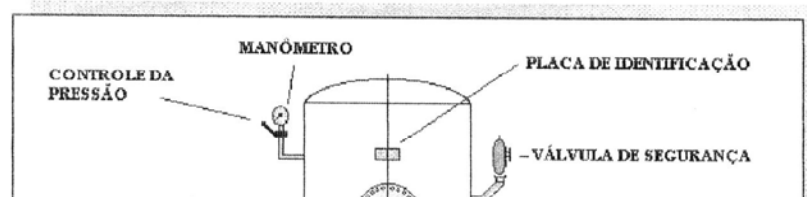
Em geral o reservatório possui as seguintes funções:

- Resfriar o ar auxiliando a eliminação do condensado (lembramos que este acessório pode até ajudar a diminuir a quantidade de umidade contida no ar, no entanto não é aconselhável, pois o mesmo é um vaso de pressão, portanto uma **bomba** em potencial);
- Armazenar ar comprimido (função básica);
- Compensar as flutuações de pressão em todo o sistema de distribuição;
- Estabilizar o fluxo de ar;
- Controlar marchas dos compressores, etc..

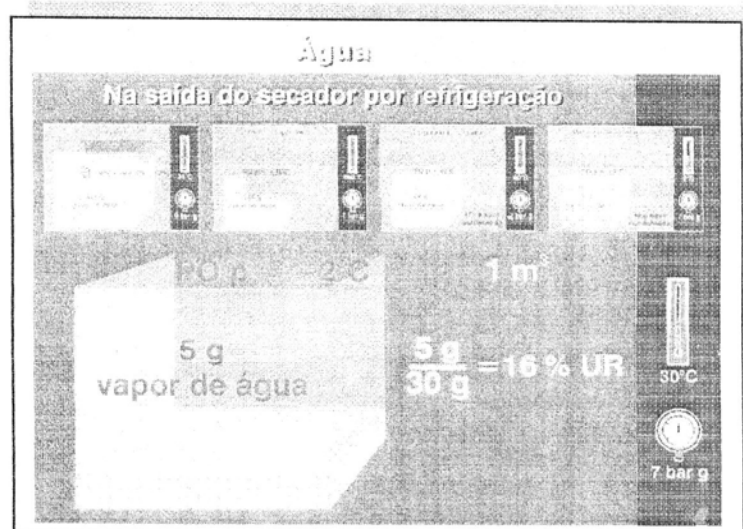
Os reservatórios devem ser instalados de modo que todos os drenos, conexões e aberturas de inspeção sejam facilmente acessíveis. Em nenhuma condição o reservatório deve ser enterrado ou instalado em locais de difícil acesso; deve ser instalado de preferência fora da casa dos compressores, na sombra, para facilitar a condensação da umidade e do óleo contidos no ar comprimido; deve possuir um dreno no ponto mais baixo para fazer a remoção deste condensado acumulado.

O volume do reservatório está em função da capacidade do compressor, do método de regulação da capacidade utilizado e do consumo de ar. O volume recomendado para o reservatório, é de aproximadamente 10% da capacidade do compressor, expresso na mesma unidade de volume utilizado.

Considerando uma instalação de ar comprimido contendo: compressor, resfriador posterior, secador e reservatório.



SECADORES



SECAGEM DO AR COMPRIMIDO

A presença de umidade no ar comprimido é sempre prejudicial para as automatizações pneumáticas, pois como já citado causa sérias conseqüências. É necessário eliminar ou reduzir ao máximo esta umidade.

Ar seco industrial, não é aquele totalmente isento de água; é o ar que após um processo de desidratação, flui com um conteúdo de umidade residual de tal ordem que possa ser utilizado sem qualquer inconveniente.

Há basicamente quatro processos de secagem do ar comprimido: expansão, sobre pressão, absorção, adsorção e refrigeração. Iremos examinar apenas os três mais importantes, tanto pelos estados finais obtidos quanto por sua maior difusão.

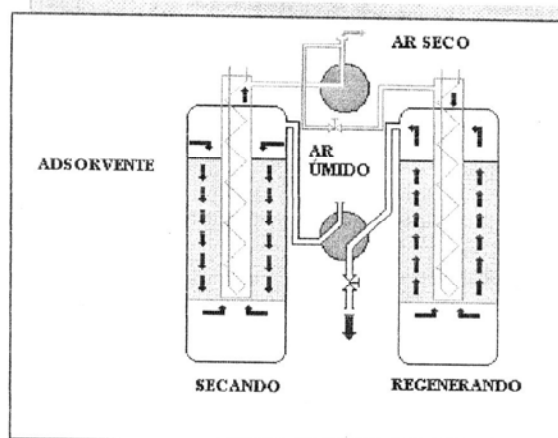
Existem dois tipos básicos de secadores por adsorção:

Torres Duplas e Tipo Rotativo.

Torres Duplas é o tipo mais comum. As torres são preenchidas com Óxido de Silício ou Silicagel (SiO_2), Alumina Ativada (Al_2O_3), Rede Molecular ou ainda Sorbeard.

Através de uma válvula direcional, o ar úmido é orientado para uma torre, onde haverá a secagem do ar. Na outra torre ocorrerá a regeneração da substância adsorvente, que poderá ser feita por injeção de ar quente, na maioria dos casos por resistores e circulação do ar de ar seco. Terminado o período de trabalho preestabelecido, há a inversão na função das torres, que poderá ser feito por controle manual ou automático.

Dos processos aqui citados, este é o que melhor ponto de orvalho pode ser conseguido, na ordem de -40°C , no entanto seu custo operacional é elevado, o que muitas vezes limita sua aplicação.



Secagem por REGRIGERAÇÃO

É o método mais comum comercialmente, e consiste em submeter o ar comprimido a uma temperatura suficientemente baixa, a fim de que a quantidade de água existente seja retirada em grande parte.

Durante o seu caminho de volta, o ar comprimido ganha temperatura e somente voltará a ocorrer condensação na linha se a temperatura do ar comprimido for resfriada abaixo de $+3^{\circ}\text{C}$. Com isto temos o ar comprimido "tecnicamente" seco, ou seja, isento de condensado de água.

Os secadores por refrigeração, compostos pelos seguintes equipamentos:

- Trocador de calor ar-ar: tem como função realizar um pré resfriamento no ar que está entrando e um pós aquecimento no ar que está saindo, colocando um em contato térmico com o outro.
- Separador de condensado (TURBOSEP): faz a separação e a drenagem (automática) da água condensada no sistema. Consistem de um turbo separador de alta eficiência (97%) incorporando um purgador automático tipo bóia ou temporizado.

Trocador de calor ar-refrigerante: troca calor entre o ar úmido e o fluido refrigerante para que ocorra a redução da temperatura até $+3^{\circ}\text{C}$ do ar comprimido.

Compressor frigorífico: para funcionamento do sistema de gás refrigerante (R12 ou R22). O compressor é hermético para todos os modelos.

Condensador: faz a troca térmica do sistema refrigerante com o ar ambiente. Pode ser resfriado a ar (padrão) ou a água (opcional).

Válvula de expansão termostática: mantém constante a temperatura do gás refrigerante no evaporador, garantindo o ponto de Orvalho de $+3^{\circ}\text{C}$ do ar comprimido.

Válvula compensadora de capacidade (HOT GAS): faz a auto compensação do sistema no caso de ocorrerem vazões menores que a nominal, sem que haja congelamento. Permite variação da vazão nominal de 0 à 100%.

*Determinação da Quantidade de Água
Retirada por um Secador de Ar Comprimido
por Refrigeração*

EXEMPLOS:

Secador por refrigeração:

- Acionamento de máquinas e equipamentos pneumáticos
- Jateamento
- Pintura
- Transporte pneumático
- Uso hospitalar
- Instrumentação

Secador por adsorção:

- Processos químicos
- Gases de uso especial
- Testes pneumáticos em equipamentos de refrigeração
- Instrumentação fina
- Equipamentos pneumáticos em câmaras frigoríficas
- Ar de processo

Temperatura do ar comprimido (T_t): o secador é dimensionado para operar com temperatura do ar comprimido na entrada de 38°C. Para diferentes temperaturas deve-se utilizar o fator de correção da tabela abaixo.

Determinando a temperatura ambiente (T_a)

Condições externas para verão (°C)*

CIDADES	TBS	TBU	TEMPERATURA MAXIMA	CIDADES	TBS	TBU	TEMPERATURA MAXIMA
I - Região Norte				IV - Região Centro-Oeste			
Macapá (AP)	34	28,5	34,7	Brasília (DF)	32	23,5	34,8
Mãeaus (AM)	35	29,0	36,9	Goiania (GO)	33	26,0	37,3
Santarém (PA)	35	28,5	37,3	Cuiabá (MT)	36	27,0	39,0
Belém (PA)	33	27,0	34,9	Campo Verde (MT)	34	25,0	37,0
				Ponta Preta (MT)	32	26,0	35,0
II - Região Nordeste				V - Região Sul			
João Pessoa (PB)	32	26,0		Cuiabá (PR)	30	23,5	33,3
São Luís (MA)	33	28,0	33,9	Londrina (PR)	31	23,5	34,0
Parnaíba (PI)	34	26,0	35,2	Foz de Iguaçu (PR)	34	27,0	38,0
Teresina (PI)	36	28,0	40,3	Florianópolis (SC)	32	26,0	36,0
Fortaleza (CE)	32	26,0	32,4	Joinville (SC)	32	26,0	36,0
Natal (RN)	32	27,0	32,7	Blumenau (SC)	32	26,0	36,0
Recife (PE)	32	26,0	32,6	Porto Alegre (RS)	34	26,0	39,0
Petrolina (PE)	36	25,5	38,4	Santa Maria (RS)	35	25,5	40,0
Maceió (AL)	33	27,0	35,0	Rio Grande (RS)	30	24,5	
Salvador (BA)	32	26,0	33,6	Pelotas (RS)	32	25,5	
Aracaju (SE)	32	26,0		Guaíba (RS)	29	22,0	
				Uruguaiana (RS)	34	25,5	
III - Região Sudeste							
Vitória (ES)	33	28,0	36,1				
Belo Horizonte (MG)	32	24,0	35,5				
Uberlândia (MG)	33	23,5	37,6				
Rio (RJ)	35	26,5	39,4				
São Paulo (SP)	31	24,0	34,9				
Santos (SP)	33	27,0	37,7				
Campinas (SP)	33	24,0	37,4				
Pirassununga (SP)	33	24,0	37,8				

7 – FILTROS COALESCENTES

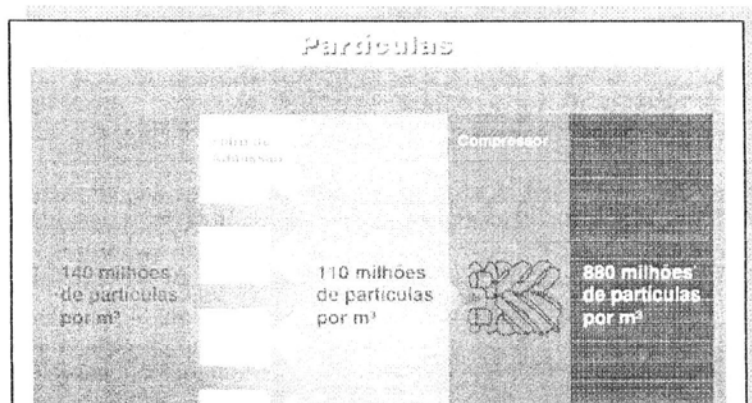
O ar é uma mistura de gases e contém água (em forma de vapor), óleo e partículas sólidas em suspensão como contaminantes. Para melhor analisarmos estes contaminantes identificaremos suas origens e conseqüências para o sistema como um todo.

ÁGUA

Origem: esta “dentro” do ar e se manifesta quando ocorrem alterações de pressão e ou temperatura.

A quantidade de água na forma de vapor que o ar ambiente à 20°C suporta é de 17 g/m³.

Conseqüências: ferrugens na tubulação, encharcamento de vedações, imperfeições em processos de pintura, erro de leitura de instrumentos, manutenção freqüente nos equipamentos pneumáticos, imprecisões em movimentos pneumáticos, etc..



PARTÍCULAS SÓLIDAS

Origem: provenientes da própria contaminação ambiental do ar atmosférico, dos compressores e da tubulação.

O ar ambiental industrial possui em torno de 140 milhões de partículas. Após o filtro de entrada do compressor este volume de partículas reduz para 112 milhões, sendo que 80% são menores que 2 microns.

Consequências: marcas em processos de pintura, erro de leitura de instrumentos, contaminação de alimentos e embalagens, emperramento de equipamentos pneumáticos, substituição freqüente dos equipamentos pneumáticos.

Após o processo de compressão soma-se a estes contaminantes a alta temperatura com que o ar comprimido sai para o sistema.

Para um perfeito funcionamento de uma sistema pneumático é necessário a utilização de equipamentos que visam eliminar estes problemas.

MECANISMOS DE CAPTAÇÃO DE PARTÍCULAS EM FILTRO COALESCENTE

Intercepção direta: ocorre quando uma gota ou partícula colide de frente com uma das microfibras.

Impacto inercial: acontece quando uma gota ou partícula no fluxo de ar não consegue passar pelo caminho tortuoso formado pelas fibras ordenadas de forma aleatória e acaba colidindo e aderindo à uma das microfibras.

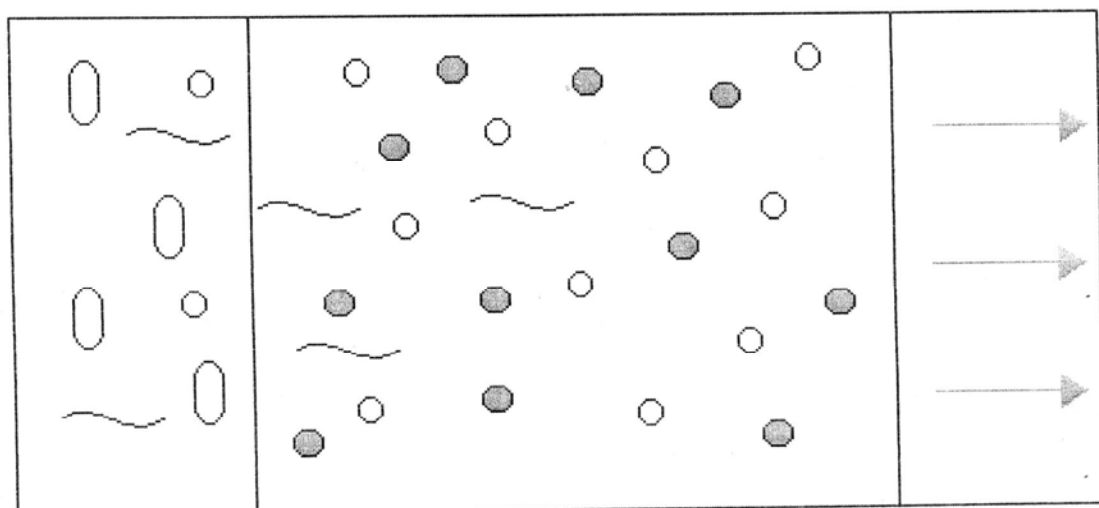
Difusão (Movimento Browniano): ocorre quando aerossóis e partículas sólidas extremamente pequenas vagam no fluido do ar, aumentando suas chances de colidirem uns com os outros e com as microfibras que formam o meio filtrante.



AR CONTAMINADO

FILTRO

AR PURO



INTERCEPTAÇÃO
DIRTA

IMPACTO
INERCIAL

DIFUSÃO/MOVIMENTO
BROWNIANO

FILTRO DE AR

Os filtros convencionais trabalham pelo sistema de malha (tela de nylon ou bronze sinterizado), que é semelhante a uma peneira. Este sistema apresenta como problemas:

- rápida obstrução, pois as partículas retidas "entopem" os orifícios de passagem, aumentando a perda de carga
- granulometria de 5, 10, 25, 50, e 100 microns
- impossibilidade de retenção de pequenas partículas, sendo que 80% das partículas, após o compressor são menores que 2 microns
- quanto menor a micragem, maior a obstrução por partículas
- ineficiência para eliminação de condensado e aerossóis de água e óleo

Já os filtros coalescentes apresentam um sistema de filtragem totalmente diferenciado. Estes filtros utilizam elementos de microfibras de borosilicato de densidade graduada, dispostas aleatoriamente formando um labirinto, permitindo porém, a permanência de vazios, que tem a função de garantir baixa resistência ao fluxo e impedir a rápida obstrução do elemento.

A palavra coalescente (aplicada para filtragem de ar) se refere a um processo em regime permanente de aerossóis de líquidos submicrônicos que são aglomerados em gotas maiores, através da colisão e aderência com a microfibras de borosilicato.

Além destes filtros permitem a retenção de partículas muito menores, da ordem de 0,01 micron, pelo mesmo método conseguem reter condensado e aerossóis de água e óleo.

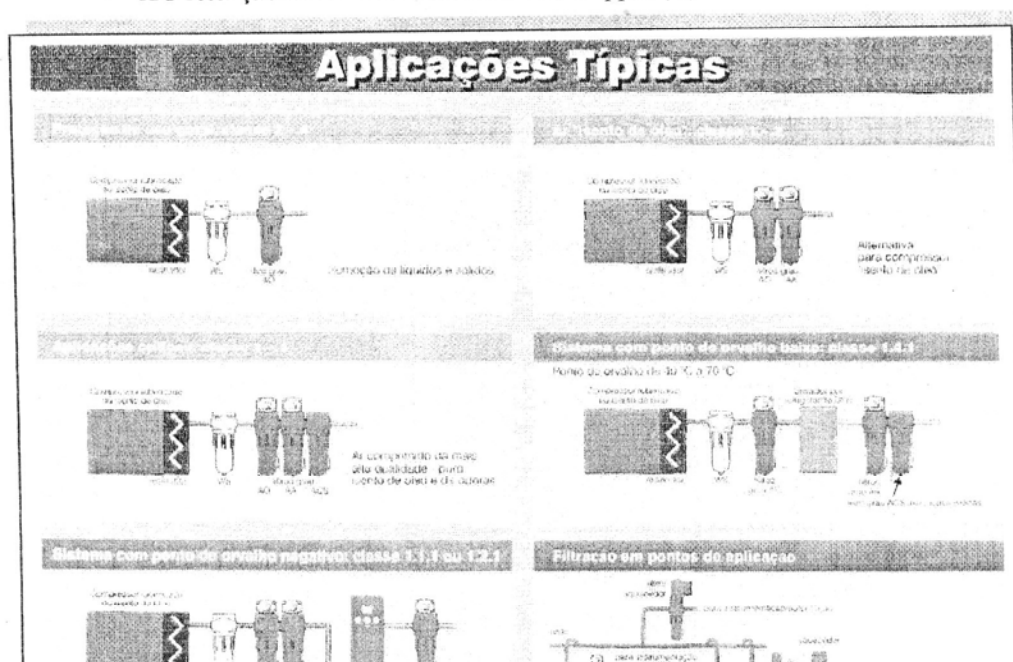
Selecionamento do Oil-X Plus

$$C = V \times f(P)$$

Pressão (barg)	1	3	5	7	9	11	13	15	17
f(P)	2.63	1.54	1.18	1	0.89	0.80	0.74	0.68	0.64

GRAU DE PROTEÇÃO

- **AO** - retenção de partículas sólidas de até 1 micron e remoção de água condensada e do óleo residual de 0,5 ppm (m)
- **AA** retenção de partículas de até 0,01 micron e remoção de óleo até residual de 0,01 ppm (m)
- **AC** retenção do óleo até residual de 0.003 ppm (m)



Observe a importância da temperatura do ar comprimido com relação do elemento AC, pois com a elevação da temperatura o comportamento do óleo na forma de aerossol faz com que grande parte deste óleo não seja retirada nos elementos de grau AO e AA, sobrecarregando o elemento AC, diminuindo assim sua vida útil.

INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO

Os filtros são instalados na vertical, assegurando que haja espaço suficiente abaixo para a troca do elemento filtrante. A substituição dos elementos (grau AO e AA) deve ocorrer anualmente ou quando o indicador do diferencial de pressão (incluso) superar à 0,7 Bar.

VIDA ÚTIL PARA ELEMENTOS AO E AA



O dimensionamento dos filtros coalescentes devem levar em consideração os seguintes fatores:

Vazão: é a vazão de ar comprimido à ser tratada pelo filtro.

Pressão: o filtro é dimensionado para trabalhar à 7 Barg. Para pressões diferentes deve-se aplicar o fator de correção definido pela tabela abaixo:

CORREÇÃO DE PRESSÃO FILTRO

PRESSÃO (Barg)	1	3	5	7	9	11	13	15	17
f(P)	2,63	1,54	1,18	1	0,89	0,80	0,74	0,68	0,64

Temperatura: define a espuma à ser utilizada no elemento < 66°C - modelo normal (espuma poliuretano)
66 a 120°C modelo TS (espuma poliéster).

SELECIONAMENTO DOS FILTROS COALESCENTE

Grau de filtração: é determinado pela aplicação à que se destina o ar comprimido (vide tabela orientativa abaixo).

APLICACAO	FILTRO(S)
Acionamento Pneumático	AO
Ferramentas Pneumáticas	AO
Jateamento	AO
Agitação Pneumática	AO + AA
Automação	AO + AA
Injeção de Plásticos	AO + AA
Instrumentação	AO + AA
Limpeza Pneumática	AO + AA
Medição e Controle	AO + AA
Pintura	AO + AA

8 - DISTRIBUIÇÃO DO AR COMPRIMIDO

Rede de Distribuição

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

A rede de distribuição do compressor, compreende todas as tubulações que saem do compressor, passando pelo Aftercooler, Secador, Reservatório e outros acessórios, e que unidas orientam o ar comprimido até os pontos individuais de utilização.

A rede possui duas funções básicas:

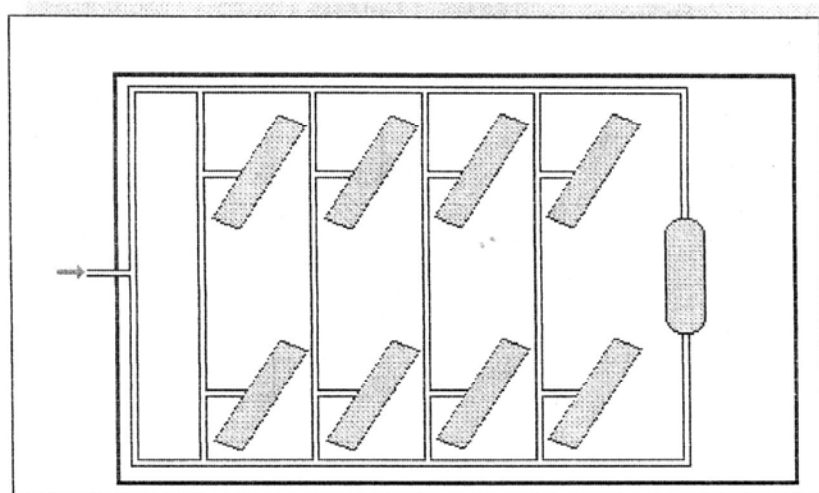
- Comunicar a fonte produtora com os equipamentos consumidores;
- Funcionar como um reservatório para atender as exigências locais.

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

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

Lay-Out

Visando melhor performance na distribuição do ar, a definição de lay-out é importante. Este dever ser construído em desenho isométrico, permitindo a obtenção do comprimento das tubulações nos diversos trechos. O lay-out apresenta a rede principal de distribuição, suas ramificações, todos os pontos de consumo, incluindo futuras instalações, válvulas de fechamento, conexões, curvaturas, separadores de

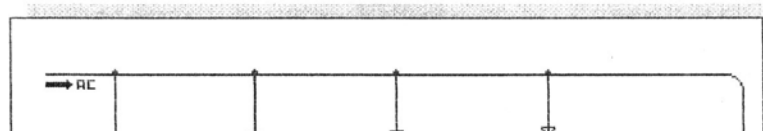


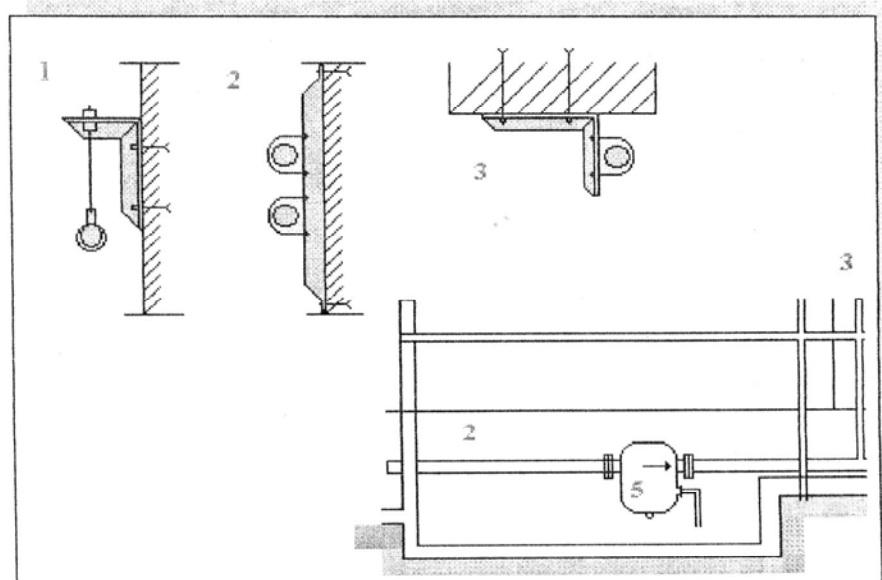
Válvulas de Fechamento na Linha de Distribuição

São de grande importância na rede de distribuição, para permitir a divisão da mesma em seções, facilitando a manutenção, inspeção e modificações, sem dessa forma paralisar o trabalho da produção.

As válvulas mais aplicadas até 2" são do tipo de Esfera ou diafragma; acima de 2" são utilizadas as válvulas do tipo gaveta.

Observação: as válvulas do tipo gaveta não oferecem praticamente nenhuma perda de carga ao escoamento, no entanto não oferecem vedação estanque.





Perda de Carga

É a perda de energia sob a forma de pressão que os fluidos sofrem ao se deslocar, ocasionando pelo atrito entre o fluido e as paredes da tubulação, turbulências geradas pela mudança brusca de direção provocada pela passagem em conexões, registros, válvulas, restrições e também por ramificações existentes nas tubulações.

Tubos da Rede Principal

Galvanização a fogo pelo processo de imersão a quente em zinco fundido de acordo com as Normas ABNT, NBR 6323 e NBR 7397, 7399 e 7400 quanto a qualidade deste revestimento protetor.

O teste hidrostático é realizado unitariamente a uma pressão de teste de 50 kgf/cm^2 (700 p.s.i.). Os tubos são fornecidos em barras de 6,00 metros de comprimento rosqueados nas extremidades com roscas cônicas BSP (Whitworth Gás) e com protetores plásticos. (*) NBR 5580 - antiga EB-182

Ligações entre os tubos

Processam-se de diversas maneiras: rosca, solda, flange, acoplamento rápido, devendo apresentar a mais perfeita vedação.

As ligações roscadas são as mais comuns, devido ao seu baixo custo e facilidade de montagem e desmontagem, no entanto não oferece a estanqueidade necessária para que se evite vazamentos na linha de ar comprimido. Evidentemente a ligação preferida para estes casos é a soldada, mas seu custo na maioria das vezes a torna impraticável e ou desnecessária.

Inclinação

As tubulações devem possuir uma determinada inclinação no sentido do fluxo, favorecendo assim a condução do condensado até os pontos de drenagem preestabelecidos.

O valor desta inclinação é de 0,5 a 2% do comprimento da tubulação, mas isto nem sempre é o que acontece, servindo assim como parâmetro orientativo.

Exemplo 6:

Qual o desnível para uma rede com comprimento de 220m ?

Solução:

Se tivermos uma rede com comprimento de 220m, teríamos como inclinação 1,1m (utilizando 0,5%, o que na prática mostra um valor muito elevado. Como solução para este caso, apresentamos duas alternativas:

1. Se desejarmos manter um lance apenas para esses 220m de tubulação poderíamos adotar com

Drenagem de Umidade

Com os cuidados vistos anteriormente para eliminação do condensado, pode restar ainda uma umidade remanescente, a qual deve ser removida ou até mesmo eliminada em caso de condensação mesma.

Para que a drenagem eventual seja feita, devem ser instalados **PURGADORES** que podem ser **MANUAIS** ou **AUTOMÁTICOS**, com preferência para o último.

Os pontos de drenagem devem se situar em todos os locais baixos da tubulação, fim de linha, onde houver elevação de linha, etc.. Neste pontos, para auxiliar a eficiência da drenagem, podem ser construídos bolsões, que retém o condensado e o encaminham para o purgador. Estes bolsões, construídos, não devem possuir diâmetros menores que o da tubulação. O ideal é que sejam do mesmo diâmetro ou eventualmente maior.

Separadores de Umidade

Como mencionamos, restará no ar comprimido uma pequena quantidade de vapor d'água em suspensão, e os pontos de drenagem comuns não conseguirão provocar sua eliminação.

Com este intuito, pode-se instalar **SEPARADORES DE UMIDADE**, cujo princípio de funcionamento é simples: o fluxo de ar vindo pela tubulação é obrigado a fazer mudanças bruscas de direção; o ar muda facilmente de direção, porém as gotículas de umidade chocam-se contra os defletores e neles aderem, formando gotículas maiores, que escorrem para o dreno.

Os Separadores de Umidade devem ser instalados a uma distância de 30m entre si, favorecendo assim boa qualidade do ar comprimido.

Separadores de condensado

Os separadores de condensado combinam duas técnicas de eficiência comprovada: a Ação Centrífuga e a Separação por Impacto - para remover grandes quantidades de água dos sistemas de ar comprimido, com a ventagem adicional de também reter resíduos de impurezas e de desgaste de tubulação.

Seu desenho, baseado e patenteado, assegura



Vazamentos

As quantidades de ar perdidas através de pequenos furos, acoplamentos com folgas, vedações defeituosas, etc., quando somadas podem alcançar valores elevados.

A importância econômica desta contínua perda de ar, torna-se mais evidente quando comparada com o consumo de um equipamento e a potência necessária para realizar a compressão. Desta forma um vazamento na rede pode representar um consumo consideravelmente maior de energia, que pode ser verificado através da Tabela 5.

É impossível eliminar por completo todos os vazamentos, porém estes devem ser reduzidos ao máximo com uma manutenção preventiva do sistema no mínimo 2 vezes por ano, onde devem ser verificados: substituição de juntas de vedação defeituosas, engates, mangueiras, tubos, válvulas, aperto das conexões, etc..

Diâmetro do furo	mm	pol	Escape do ar	Potência para	necessária compressão	
tamanho real			6 kgf/cm ² m ³ /min	85 psi c.f.m.	CV KW	
Ø	1	3/64	0,06	2	0,4	0,3
Ø	3	1/8	0,6	21	4,2	3,1
Ø	5	3/16	1,6	57	11,2	8,3
Ø	10	3/8	6,3	220	44	33

Dimensionamento da Rede de Distribuição

Linhas subdimensionadas provocam perda de carga consideravelmente altas. Para que o fornecimento de ar seja feito na pressão desejada, é necessário um acréscimo de potência no compressor, pois a pressão de trabalho deve ser aumentada para cobrir as perdas de carga na linha, muitas vezes sobrecarregando o compressor, aumentando seu desgaste e o índice de manutenção. Outro ponto negativo das linhas subdimensionadas é o fato de apresentarem altas velocidades de circulação, dificultando a separação da umidade contida no ar, tornando ineficiente todas as precauções tomadas para sua eliminação.

Dimensionamento pelo Método da Perda de Carga

Para realizar o dimensionamento dos tubos que compõem a rede, é necessário:

- Fluxo máximo requerido;
- Pressão;
- Relacionar todas as válvulas, conexões e acessórios existentes na rede, assim como o comprimento equivalente à perda de carga que oferecem;
- Comprimento da tubulação;
- Prever futuras ampliações de modo a permitir o aumento do consumo de ar, sem causar aumento na queda de pressão.

Um fator importante é a velocidade de circulação do ar comprimido, que deve ser da ordem de 6 a 10m/s.

Através das equações a seguir poderemos calcular a perda de carga e ou o diâmetro da tubulação da rede de distribuição.

$$p = \frac{84512 \cdot Q^{1,86} \cdot Lt}{D^5 \cdot \Delta p}$$

$$d = 10 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,85412 \cdot Q^{1,86} \cdot Lt}{\Delta p \cdot p}}$$

onde: d = diâmetro interno da tubulação (mm)
Q = vazão de ar (m³/min)
Le = comprimento equivalente (m)
Lf = comprimento físico (m)
Lt = comprimento total (m) = Le + Lf
p = pressão absoluta de trabalho (bar)

Solução:

Para que possamos determinar o comprimento equivalente dos elementos da tubulação, necessitamos ter a bitola da mesma. No entanto essa é nossa incógnita; dessa forma faremos um cálculo preliminar para que possamos ter uma noção de que bitola de tubulação será necessária.

$$d = 145,6 \cdot \sqrt{\frac{Q}{R \cdot V}}$$

considerando: $Q = 12,51 \text{ m}^3/\text{min}$

$V = 7,5 \text{ m/s}$

$$R = \frac{(7,5 + 1,033)}{1,033} = 8,26$$

Substituindo temos,

$$d = 145,6 \cdot \sqrt{\frac{12,51}{8,26 \cdot 7,5}}$$

$d = 65,24 \text{ mm}$, o que se traduz em diâmetro comercial de aproximadamente 2. 1/2".

Portanto os comprimentos equivalentes serão:

29.3,9 = 113,1m

05.2,8 = 14,0m

13.2,8 = 36,4m

05.0,14 = 0,7m

Total 164,2m

$$L_t = L_f + L_e = 165,164,2$$

9 - TABELA DE DIMENSIONAMENTO DE TUBULAÇÕES COMPRIMENTO EM METROS DE TUBULAÇÃO

	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	
40	19,11 3/4"	19,82 3/4"	20,44 3/4"	20,99 3/4"	21,49 1"	21,95 1"	22,76 1"	23,48 1"	24,11 1"	24,69 1"	25,21 1"	25,7 1"	26,15 1"	26,57 1"	26,97 1.1/4"	27,34 1.1/4"	M/M
50	20,74 3/4"	21,51 1"	22,18 1"	22,78 1"	23,33 1"	23,82 1"	24,71 1"	25,48 1"	26,17 1"	26,79 1.1/4"	27,37 1.1/4"	27,89 1.1/4"	28,38 1.1/4"	28,84 1.1/4"	29,97 1.1/4"	29,68 1.1/4"	M/M
60	22,18 1"	23 1"	23,72 1"	24,36 1"	24,94 1"	25,5 1"	26,42 1"	27,25 1.1/4"	27,98 1.1/4"	28,65 1.1/4"	29,26 1.1/4"	29,83 1.1/4"	30,35 1.1/4"	30,84 1.1/4"	31,3 1.1/4"	31,73 1.1/4"	M/M
70	23,51 1"	24,39 1"	25,15 1"	25,83 1"	26,45 1"	27,01 1.1/4"	28,01 1.1/4"	28,89 1.1/4"	29,67 1.1/4"	30,38 1.1/4"	31,03 1.1/4"	31,63 1.1/4"	32,18 1.1/4"	32,7 1.1/4"	33,19 1.1/4"	33,65 1.1/4"	M/M
80	24,69 1"	25,61 1"	26,41 1"	27,13 1.1/4"	27,8 1.1/4"	28,37 1.1/4"	29,42 1.1/4"	30,34 1.1/4"	31,16 1.1/4"	31,91 1.1/4"	32,59 1.1/4"	33,21 1.1/4"	33,8 1.1/4"	34,34 1.1/4"	34,85 1.1/4"	35,34 1.1/2"	M/M
90	25,82 1"	26,78 1.1/4"	27,62 1.1/4"	28,37 1.1/4"	29,04 1.1/4"	29,66 1.1/4"	30,76 1.1/4"	31,73 1.1/4"	32,59 1.1/4"	33,36 1.1/4"	34,07 1.1/4"	34,73 1.1/4"	35,34 1.1/2"	35,91 1.1/2"	36,39 1.1/2"	36,9 1.1/2"	M/M
100	26,84 1.1/4"	27,83 1.1/4"	28,71 1.1/4"	29,48 1.1/4"	30,2 1.1/4"	30,83 1.1/4"	31,97 1.1/4"	32,97 1.1/4"	33,87 1.1/4"	34,67 1.1/4"	35,51 1.1/2"	36,09 1.1/2"	36,73 1.1/2"	37,32 1.1/2"	37,88 1.1/2"	38,41 1.1/2"	M/M
110	27,79 1.1/4"	28,82 1.1/4"	29,73 1.1/4"	30,53 1.1/4"	31,26 1.1/4"	31,92 1.1/4"	33,11 1.1/4"	34,15 1.1/4"	35,07 1.1/2"	35,91 1.1/2"	36,67 1.1/2"	37,38 1.1/2"	38,03 1.1/2"	38,65 1.1/2"	39,22 1.1/2"	39,77 1.1/2"	M/M
120	28,69 1.1/4"	29,76 1.1/4"	30,69 1.1/4"	31,52 1.1/4"	32,27 1.1/4"	32,96 1.1/4"	34,18 1.1/2"	35,25 1.1/2"	36,21 1.1/2"	37,07 1.1/2"	37,86 1.1/2"	38,59 1.1/2"	39,27 1.1/2"	39,9 1.1/2"	40,5 1.1/2"	41,06 2"	M/M
130	29,58 1.1/4"	30,67 1.1/4"	31,64 1.1/4"	32,49 1.1/4"	33,27 1.1/4"	33,97 1.1/4"	35,24 1.1/2"	36,34 1.1/2"	37,32 1.1/2"	38,21 1.1/2"	39,03 1.1/2"	39,78 1.1/2"	40,48 1.1/2"	41,13 2"	41,74 2"	42,32 2"	M/M
140	30,39 1.1/4"	31,52 1.1/4"	32,51 1.1/4"	33,39 1.1/4"	34,18 1.1/4"	34,91 1.1/2"	36,21 1.1/2"	37,34 1.1/2"	38,35 1.1/2"	39,27 1.1/2"	40,1 1.1/2"	40,87 1.1/2"	41,59 2"	42,26 2"	42,89 2"	43,49 2"	M/M
150	31,2 1.1/4"	32,35 1.1/4"	33,37 1.1/4"	34,27 1.1/2"	35,1 1.1/2"	35,83 1.1/2"	37,17 1.1/2"	38,33 1.1/2"	39,37 1.1/2"	40,31 1.1/2"	41,16 2"	41,96 2"	42,69 2"	43,38 2"	43,99 2"	44,6 2"	M/M
160	31,91 1.1/4"	33,1 1.1/4"	34,14 1.1/4"	35,06 1.1/2"	35,9 1.1/2"	36,66 1.1/2"	38,02 1.1/2"	39,21 1.1/2"	40,27 1.1/2"	41,23 2"	42,11 2"	42,92 2"	43,68 2"	44,38 2"	45,04 2"	45,67 2"	M/M
170	32,66 1.1/4"	33,87 1.1/4"	34,93 1.1/4"	35,88 1.1/2"	36,73 1.1/2"	37,51 1.1/2"	38,91 1.1/2"	40,13 1.1/2"	41,21 2"	42,19 2"	43,09 2"	43,92 2"	44,69 2"	45,42 2"	46,09 2"	46,73 2"	M/M

V A Z A O
E M
P . (

10 - TABELA DE PERDA DE CARGA

COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE VÁLVULAS E CONEXÕES P/ ESCOAMENTO TURBULENTO EM METROS DE TUBO RETILÍNEO NOVO																				
CONEXÕES		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
90° COTOVELO COMUM	ROSQ	1,10	1,34	1,58	2,00	2,25	2,60	2,80	3,40	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	0,30	0,37	0,50	0,62	0,73	0,95	1,10	1,30	1,80	2,20	2,70	3,70	4,30	5,20	5,50	6,40	7,00	7,60	9,10
90° CURVA RAIO LONGO	ROSQ	0,67	0,70	0,83	0,98	1,00	1,10	1,10	1,20	1,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	0,33	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88	1,00	1,30	1,50	1,70	2,10	2,40	2,70	2,80	3,00	3,40	3,70	4,30
45° CURVA	ROSQ	0,21	0,28	0,39	0,52	0,64	0,83	0,97	1,20	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	0,14	0,18	0,25	0,34	0,40	0,52	0,61	0,80	1,10	1,40	1,70	2,30	2,70	3,40	4,00	4,60	4,90	5,50	6,70
TEE FLUXO EM LINHA	ROSQ	0,52	0,73	0,99	1,40	1,70	2,30	2,80	3,70	5,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	0,21	0,25	0,30	0,40	0,45	0,55	0,58	0,67	0,85	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,30	2,50	2,90
TEE FLUXO PELO RAMAL	ROSQ	1,30	1,60	2,00	2,70	3,00	3,70	3,90	5,20	6,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	0,61	0,80	1,00	1,30	1,60	2,00	2,30	2,90	3,70	4,60	5,50	7,30	9,10	10,40	11,30	13,10	14,30	15,80	18,90
180° CURVA RAIO LONGO	ROSQ	1,10	1,30	1,60	2,00	2,30	2,60	2,80	3,40	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	0,34	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,68	1,00	1,30	1,50	1,70	2,10	2,40	2,70	2,80	3,00	3,40	3,70	4,30
VÁLVULA GLOBO ABERTA	ROSQ	6,70	7,30	8,80	11,30	12,80	16,50	18,90	24,00	33,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	11,6	12,20	13,70	16,50	18,00	21,40	23,50	28,70	36,60	45,70	47,90	79,30	94,50	118,90	-	-	-	-	-
VÁLVULA GAVETA	ROSQ	0,17	0,20	0,25	0,34	0,37	0,46	0,52	0,58	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	-	-	-	-	-	0,80	0,83	0,85	0,88	0,95	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
VÁLVULA ANGULAR	ROSQ	4,60	4,60	5,20	5,50	5,50	5,55	5,55	5,55	5,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	4,60	4,60	5,20	5,50	5,50	6,40	6,70	8,50	11,60	15,20	19,20	27,40	36,60	42,70	48,80	57,90	64,00	73,00	9,10
VÁLVULA RETENÇÃO PORTINHOLA	ROSQ	2,40	2,70	3,40	4,00	4,60	5,80	6,70	8,20	11,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	1,20	1,60	2,20	3,00	3,70	5,20	6,40	8,30	11,60	15,20	19,20	27,40	36,60	42,70	-	-	-	-	-
UNIÃO FILTRO Y	ROSQ	0,07	0,07	0,08	0,11	0,12	0,14	0,14	0,16	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FLANG	1,50	2,00	2,30	5,50	8,10	8,30	8,80	10,40	12,80	16,20	18,60	-	-	-	-	-	-	-	-