

Manuais de Cálculos em Hidráulica e Pneumática



CalVazão

**Cálculo de Perda de Energia
por Vazamento de Ar**

TECFLU

Bollmann Tecnologia Fluitrônica Ltda.

LASHIP EMC
Hidráulica & Pneumática UFSC

Laboratório de Sistemas
Hidráulicos e Pneumáticos

**EMC
UFSC**

MANUAIS PARA CÁLCULOS DE HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA

MANUAL 1

CÁLCULO DO VAZAMENTO EM REDES DE AR COMPRIMIDO

PROGRAMA CALVAZÃO

TECFLU - BOLLMANN TECNOLOGIA FLUITRÔNICA LTDA.
LASHIP - Laboratório de Sistemas Hidráulicos e
Pneumáticos EMC/UFSC

EQUIPE TÉCNICA

PROF. ARNO BOLLMANN, Dr. Ing.

Coordenador

RICARDO ALEXANDRE PEREIRA BORBA

Bolsista - Curso de Engenharia de Produção Mecânica/UFSC

NADER MANOUTCHEHRI

Bolsista - Curso de Engenharia Mecânica/UFSC

Bel. Comp. GABRIEL TAVARES DE OLIVEIRA CASTELLANI

Ciências da Computação/UFSC

TECFLU - BOLLMANN TECNOLOGIA FLUITRÔNICA LTDA.

Diretor-Presidente: Arno Bollmann, Dr. Ing.

Florianópolis-SC

Tel/Fax.: (048) 234-2951

LASHIP - Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

Supervisor: Prof. Victor Juliano De Negri, Dr. Eng.

Departamento de Engenharia Mecânica/UFSC

Florianópolis - SC Tel.: (048) 231-9396 Fax: (048) 234-1519

E-mail: laship@emc.ufsc.br

APRESENTAÇÃO

Este manual para o CÁLCULO DO VAZAMENTO EM REDES DE AR COMPRIMIDO, com o programa computacional CALVAZÃO, agora já em segunda edição, é o primeiro volume de uma série de MANUAIS PARA CÁLCULOS DE HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA. O programa, em ambiente Windows, de uso extremamente simples, permite o cálculo rápido da perda de ar comprimido por vazamentos, e por conseguinte, da perda de energia e custo mensal associados.

Os engenheiros, os técnicos, os estudantes de engenharia e de cursos técnicos, de todos os campos de atuação e em particular aqueles das áreas de hidráulica e pneumática procuram, atualmente, obter meios de realizar projetos e cálculos com maior qualidade, sem perder a rapidez e a praticidade.

Essa demanda pode ser atendida hoje, levando-se em conta as diversas vantagens do uso da informática, especialmente as facilidades de se introduzir cálculos mais rigorosos e bases de dados mais amplas e atualizadas, associadas ao conhecimento especializado da hidráulica e pneumática.

Neste contexto é que se uniram os esforços do LASHIP - Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos e da TECFLU - Bollmann Tecnologia Fluitrônica Ltda., para a produção da série de MANUAIS PARA CÁLCULOS DE HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA. Esses manuais objetivam oferecer *softwares* de uso simples e imediato para projetos e cálculos importantes do cotidiano da hidráulica e da pneumática. Em vários casos, deverão substituir antigos nomogramas, tabelas e gráficos já obsoletos.

A publicação deste manual contou com o importante apoio da Metalúrgica SCHULZ S.A., fabricante dos compressores SCHULZ.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO: Importância da economia de ar comprimido ...	7
2. PRINCIPAIS MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DO VAZAMENTO	8
3. O MÉTODO DA QUEDA DE PRESSÃO	9
3.1 Fundamentos do método	9
3.2 O programa CalVazão para o cálculo do vazamento e de seus custos	11
3.3 Exemplo completo - descrição do uso do programa calvazão	18
3.3.1 Levantamento dos Dados	18
3.3.2 Procedimento	20
4. O MÉTODO DOS TEMPOS DE LIGAÇÃO DOS COMPRESSORES	21
5. DETECÇÃO, CAUSAS E CORREÇÃO DOS VAZAMENTOS DE AR COMPRIMIDO	23
6. ANEXO: Obtenção da equação para o cálculo do vazamento pelo método da queda de pressão	25
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

DETERMINAÇÃO DO VAZAMENTO EM REDES DE AR COMPRIMIDO

1. INTRODUÇÃO: IMPORTÂNCIA DA ECONOMIA DE AR COMPRIMIDO

As perdas de energia pelo vazamento do ar comprimido podem chegar a valores elevados. Os custos de compressão do ar são altos devido ao baixo rendimento global dos compressores, causado pela limitação do seu rendimento termodinâmico e pelas suas significativas perdas volumétricas, além do atrito mecânico.

A energia consumida na compressão do ar depende principalmente do valor da pressão final, do número de estágios, da refrigeração intermediária, das perdas volumétricas, do tipo construtivo e do tamanho do compressor. Para o caso típico de uma pressão final de 12 bar, num compressor alternativo de dois estágios e capacidade da ordem de 30 a 100 m³/min normais, a potência média consumida para a compressão do ar é da ordem de 5 KW por m³/min referido às condições técnicas normais.

Acrescente-se ainda que os vazamentos estão presentes durante as 24 horas do dia.

A tabela abaixo apresenta o consumo de energia causado por vazamentos em furos de 1 a 10 mm, para uma pressão interna de 6 bar.

Diâmetro do furo (mm)	Vazamento 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

A título de exemplo, considere-se o vazamento de uma rede de ar comprimido correspondente ao de um furo de 10 mm, ou seja, de 6,3 m³/min. O consumo mensal de energia, para repor esta perda, seria de 23.760 kWh. *Para um custo típico de R\$ 0,10 por kWh, este vazamento de ar estaria provocando um prejuízo mensal de R\$ 2.376,00!*

Este manual tem como objetivo oferecer ao leitor a possibilidade de se obter facilmente a perda de energia e seu custo mensal provocados pelo vazamento de ar. São apresentados dois métodos de cálculo.

O disquete incluído neste manual, contém o programa CALVAZÃO que permite um cálculo simples e rápido do vazamento de ar e do seu custo mensal, através do método da queda de pressão.

2. PRINCIPAIS MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DO VAZAMENTO

As duas formas usuais para se obter, na prática, as vazões de ar perdidas nos vazamentos, são:

- *o método da queda de pressão:* isola-se uma rede de ar comprimido, ou parte dela, e se mede a perda de pressão que ocorre num determinado intervalo de tempo;

- *o método dos tempos de ligação dos compressores*: os tempos em que o compressor que alimenta a rede permanece ligado e desligado, permitem o cálculo da fração da capacidade do compressor que corresponde ao vazamento.

O método mais simples de executar é o segundo, porém, como se verá adiante, normalmente é o menos exato.

O método da queda de pressão, mais exato, é também muito simples. O maior número de cálculos que ele exige é facilitado pelo programa CALVAZÃO, disponível no disquete anexo a este manual.

3. O MÉTODO DA QUEDA DE PRESSÃO

3.1 FUNDAMENTOS DO MÉTODO

Este método consiste basicamente em se isolar uma determinada rede de ar comprimido, ou parte dela, obter seu volume interno, e medir a queda de pressão que ocorre no intervalo de tempo observado.

Observe-se que neste intervalo de tempo não se deve usar o ar comprimido em parte nenhuma da instalação isolada. A queda de pressão ocorrerá unicamente devido aos vazamentos existentes. Apesar de não serem utilizados, os equipamentos devem estar conectados à pressão da rede, pois podem ocorrer consideráveis vazamentos também nos seus componentes.

O processo de depressurização ocorre a volume constante e é relativamente lento. Aplicando-se a equação da continuidade ao volume de controle em observação e considerando-se que o processo de depressurização ocorre isométrica e isotermicamente, pode-se obter facilmente a seguinte expressão, que calcula o valor do vazamento:

$$Q_{vN} = \frac{V(P_1 - P_2)}{t \times P_0} \cdot \frac{T_0}{T_a} \quad (1)$$

onde:

Q_{vN}	é o vazamento do ar referido às condições técnicas normais (ISO 6358)	m^3/min
P_1 e P_2	são as pressões medidas no início e no fim do intervalo de tempo considerado	bar
P_0	pressão atmosférica	bar
V	volume do ar comprimido isolado	m^3
t	intervalo de tempo observado	min
T_0	temperatura absoluta da condição técnica normal : 293 K	K
T_a	temperatura absoluta do meio ambiente	K

Normalmente o valor de T_0 / T_a é muito próximo à unidade, podendo ser também desconsiderado nos cálculos.

No item 6 se apresenta a dedução teórica da equação (1)

A título de exemplo, considere-se uma instalação de ar comprimido em que o reservatório possui um diâmetro de 60 cm e um metro de comprimento. Existem 60 m de tubulação de duas polegadas e 60 metros de tubos de $\frac{3}{4}$ de polegada. Algumas mangueiras ainda perfazem um volume de mais 25,490 dm^3 . Observou-se que em apenas 15 minutos a pressão inicial de 7 bar caiu até a um valor de 4 bar. Utilizando-se a equação (1), obtém-se que o vazamento em questão é de 0,094 m^3/min normais.

Nos itens seguintes, se descreve o programa computacional CALVAZÃO para o cálculo do vazamento em instalações de ar comprimido segundo o método descrito acima e se apresenta um exemplo detalhado com instruções para o seu uso. Além da vazão

de perda de ar, o programa calcula a energia perdida e os custos correspondentes.

3.2 O PROGRAMA CALVAZÃO PARA O CÁLCULO DO VAZAMENTO E DE SEUS CUSTOS

Apresentação

O programa para cálculo de vazamentos em redes de ar comprimido foi desenvolvido em linguagem Visual Basic, que proporciona a sua utilização em ambiente Windows, versões Windows 3.11 e Windows 95. Sua interface, simplifica em muito os procedimentos, proporcionando uma rápida aprendizagem do uso por todo o corpo técnico da empresa.

O programa CALVAZÃO, através de sua biblioteca de tubos e conexões, simplifica em muito o cálculo do volume total da rede, composta, geralmente, por trechos de canalização de vários comprimentos e bitolas e por diversos tipos de conexões.

Uma vez obtido o volume total da rede e dadas a pressão inicial, a pressão final e o tempo decorrido entre uma e outra, o programa indica imediatamente o volume de ar comprimido perdido através de vazamentos, a energia elétrica desperdiçada e o custo gerado para a empresa.

Instalando o CALVAZÃO

A instalação de CALVAZÃO é simples. Se o sistema operacional for o Windows 3.11, escolha a opção Arquivo/Executar. Digite **a:\setup** na janela de execução e pressione ENTER. Caso o sistema operacional for o Windows 95, clique em Iniciar/Executar. Então digite **a:\setup** na janela de execução e pressione ENTER.

Primeiros Passos

Ao se carregar o programa, a primeira janela a aparecer é a janela principal. Ela é composta por três partes: dados de entrada, volume e resultados.

Dados de Entrada		Volume		Resultados	
(P1) Pressão inicial (bar):	9	Volume do Reservatório de Ar (m³):	0	Vazamento (m³/min):	0.01059
(P2) Pressão final (bar):	8	Volume Total (m³):	0.272552	Energ Perdida (kwh/mês):	2.287.4546
Tempo (min):	25.4			Custo Mensal (R\$):	137.25
Pressão atmosférica (bar):	1.01325				
Custo da Energia Elétrica (R\$/kWh):	.06				
Potência Consumida na Compressão de 1m³/min (kW)/(m³/min):	5				

Fig. 1 - Janela principal do CALVAZÃO

Na parte de dados de entrada são inseridos todos os dados coletados em campo.

Como dados de entrada tem-se:

- Pressão Inicial: pressão em que se iniciou o teste.
- Pressão Final: pressão em que se terminou o teste.
- Tempo: intervalo de tempo em que ocorreu a queda de pressão.

- Pressão Atmosférica: valor *default* para a pressão atmosférica em bar (1,01325 bar).
- Custo da Energia Elétrica: valor em unidades monetárias do custo do KWh para a empresa. Ao se carregar o programa aparecerá o último valor inserido.
- Potência Consumida na Compressão: é a potência elétrica que o compressor consome para comprimir $1\text{m}^3/\text{min}$ de ar. Na janela principal aparece o valor *default* de $5\text{ (KW)}/(\text{m}^3/\text{min})$. Este dado pode variar um pouco de acordo com o compressor. Se desejar um cálculo mais preciso, verifique o valor correto junto aos manuais do seu equipamento.

A parte de volume é um complemento do programa para auxiliar o usuário na determinação do volume da rede em questão. Caso este valor já seja conhecido basta inseri-lo na área de *volume total*.

- Volume do Reservatório de Ar: corresponde ao volume do reservatório de ar comprimido. Este valor deve ser adicionado toda vez que não for possível isolar o reservatório da rede a ser analisada.
- Comprimento da Tubulação: clicando uma vez no botão TUBULAÇÃO aparece a janela *Comprimento Total da Rede*. Nesta janela basta inserir o comprimento da tubulação de determinada bitola e pressionar ENTER para que o programa calcule o volume correspondente. Estes volumes são calculados a partir de um banco de dados que contém os diâmetros internos dos tubos de aço galvanizado classe leve, conforme ABNT NBR 5580.

Comprimento Total da Rede

Entre com comprimento (m):

Diâmetro [pol]	Comprimento[m]	Volume[m ³]
1/4"	0	0,
3/8"	0	0,
1/2"	0	0,
3/4"	60,28	0,023755
1"	35	0,022171
1 1/4"	0	0,
1 1/2"	8,5	0,011945
2"	30	0,069472
2 1/2"	24,6	0,093056
3"	0	0,
4"	0	0,

Total

Fig. 2 - Janela para o cálculo do volume da tubulação

- Conexões: clicando-se uma vez no botão CONEXÕES aparece a janela de conexões. Esta janela contém as conexões mais comuns em redes de ar comprimido. Desta forma, para se considerar também o volume de ar contido nas conexões basta dar um clique na conexão desejada e em seguida inserir a quantidade de acordo com a bitola em questão e clicar no botão OK. Após adicionadas todas as conexões da rede basta clicar no botão FECHAR. Os volumes contidos no banco de dados do programa correspondem a conexões NPT média pressão classe 150.

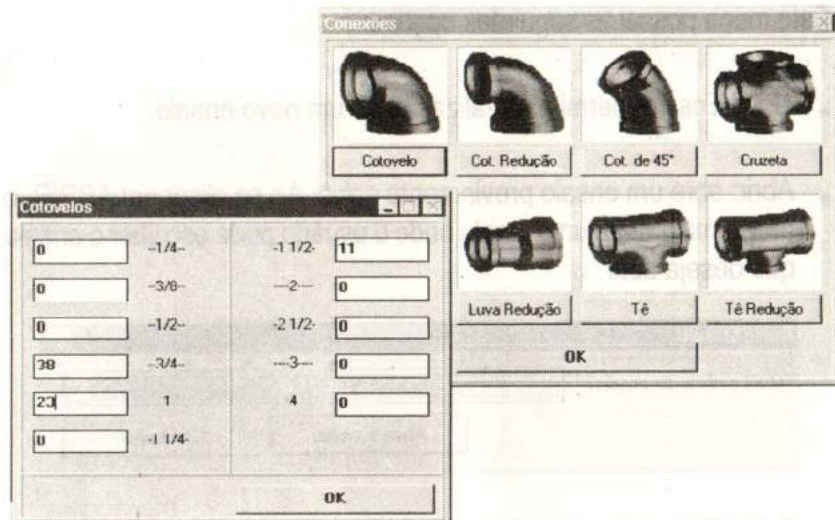


Fig. 3 - Janelas de Conexões

A última parte da janela principal do CALVAZÃO (fig.1) corresponde aos resultados do ensaio. Estes são indicados automaticamente a medida que os dados vão sendo atualizados.

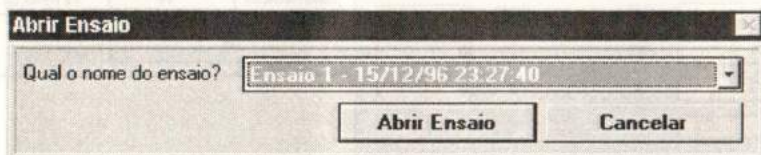
Ainda na janela principal, o menu ARQUIVO permite ao usuário gerenciar e armazenar os ensaios realizados em uma empresa e fazer um acompanhamento do comportamento dos vazamentos de uma determinada rede.



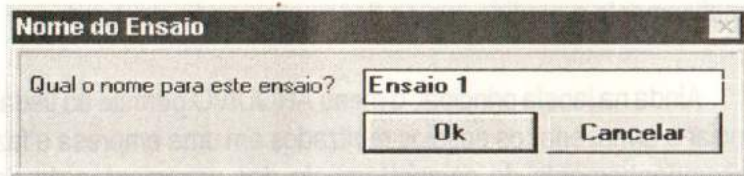
Fig. 4 - Menu Arquivo

Este menu possui as seguintes opções:

- Novo Ensaio: permite a realização de um novo ensaio.
- Abrir: abre um ensaio previamente salvo. Ao se clicar em ABRIR, o programa mostra uma janela onde o usuário pode escolher o ensaio que deseja abrir.



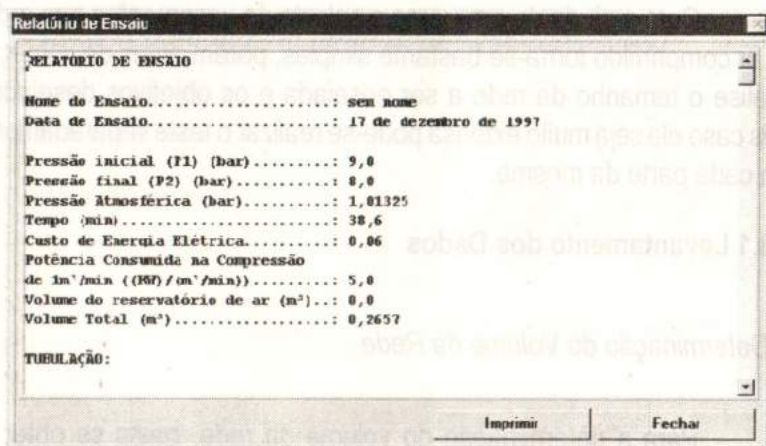
- Salvar/Salvar Como: salva o ensaio atual. Ao se clicar em SALVAR o programa mostra uma janela onde o usuário nomeia o ensaio que deseja salvar. Clicando em SALVAR COMO pode-se salvar alguma alteração em um ensaio dando-lhe outro nome.



- Remover Ensaio: permite apagar um ensaio previamente salvo. Ao se clicar em REMOVER ENSAIO o programa mostra uma janela onde o usuário escolhe o ensaio que deseja apagar.



- Relatório: permite visualizar os dados do ensaio em questão. Caso o usuário deseje imprimir o relatório basta clicar no botão IMPRIMIR.



- Sair: sai do programa CALVAZÃO, para tanto basta clicar em SAIR.

Criando *Back-up's* dos Ensaiois

Para se obter uma cópia de segurança dos ensaios, basta copiar os arquivos CALVAZAO.LDB e CALVAZAO.MDB para um disquete ou algum outro dispositivo de armazenamento.



Calvazao.ldb



Calvazao.mdb

Em caso de perda dos dados armazenados, deve-se copiar estes arquivos para o diretório ou pasta onde se encontra o programa CalVazão.

EXEMPLO COMPLETO - DESCRIÇÃO DO USO DO PROGRAMA CALVAZÃO

Com a ajuda do programa o cálculo de vazamentos nas redes de ar comprimido torna-se bastante simples, porém antes de começar, analise o tamanho da rede a ser ensaiada e os objetivos desejados, pois caso ela seja muito extensa pode-se realizar o teste separadamente em cada parte da mesma.

3.3.1 Levantamento dos Dados

A Determinação do Volume da Rede

Para a determinação do volume da rede, basta se obter os comprimentos e as bitolas dos tubos. Medir somente o comprimento e o diâmetro da tubulação entre a extremidade de uma conexão e outra. Anotar também o tipo e a bitola de todas as conexões da rede. Estes dados serão fornecidos ao programa que determinará o volume da rede e calculará o vazamento.

A medição do comprimento da rede é a parte mais importante para o cálculo do vazamento, pois a partir dele calcula-se o volume da rede de ar comprimido. Portanto quanto maior a precisão na tomada destes dados, melhores serão os resultados. Caso já se saiba de antemão o volume exato da rede em questão, basta inserir este dado na área de *volume total* da janela principal (fig. 1).

Para facilitar a aquisição das medidas e dos tipos de conexões em campo e depois repassá-las ao programa sugere-se, a criação de uma simples tabela como no exemplo abaixo.

TABELA PARA MEDIÇÃO DOS COMPRIMENTOS E BITOLAS DA REDE					
COMPRIMENTOS					
Bitola (pol)	Medida 01	Medida 02	Medida ...	Medida n	TOTAL(m)
½					
¾	10,52	21,34	5,83	60,28
1	12,00	8,00	—	35,00
1½	8,5	—	—	—	8,5
2	20,00	10,00	—	—	30,00
2 ½	11,00	3,00	5,59	24,60
3					
CONEXÕES					
Tipo	Cotavelo	Cotavelo	Tê	Cruzeta	Tê Red.
	1	¾	¾	1	1 x ¾
Quantidade	23	38	25	16	24
Tipo	Cotavelo 45°	Luva Red.	Tê Red.	Cotavelo	Tê
	¾	2 x 1	2 x 1½	1½	2 ½
Quantidade	14	24	8	11	5
Tipo	Luva	Cotavelo 45°			
	¾	1½			
Quantidade	35	22			

Tab. 1 - Exemplo de tabela para aquisição de dados da rede

Com o levantamento da rede em mãos pode-se calcular o volume da mesma inserindo estes dados na área de volume da janela principal (fig. 1).

O volume resultante deste exemplo é: **0,272552 m³**

A Coleta das Pressões, do Tempo e os Resultados

Para a coleta das pressões se faz necessário um manômetro com faixa de indicação de 0 a 16 bar ou outra bem próxima da faixa de pressão existente na rede. Já quanto ao valor da divisão de escala

sugere-se que este seja de 0,1. Para a medição dos tempos pode-se utilizar qualquer tipo de cronômetro.

A coleta do tempo relativo a queda de pressão causada pelos vazamentos pode ser feita rapidamente utilizando o procedimento descrito a seguir sem perda de confiabilidade no método.

3.3.2 Procedimento

Calcula-se o ponto médio entre a pressão em que o compressor liga e a pressão em que ele desliga. Em seguida coleta-se o tempo da queda de pressão de 1 bar em torno do valor médio.

No exemplo em questão obteve-se os seguintes resultados:

- Pressão em que o compressor liga: 7 bar
- Pressão em que o compressor desliga: 10 bar
- Média das pressões: 8,5 bar
- Pressão de início da aquisição do tempo: 9 bar
- Pressão de término da aquisição do tempo: 8 bar.
- Tempo: 25,4 min.

Inserindo-se estes dados juntamente com o custo da energia elétrica e a potência consumida pelo compressor para comprimir 1m³/min de ar, o programa já indica na janela principal (fig. 1) os resultados obtidos.

Neste exemplo os resultados obtidos foram:

Vazamento: **0,01059 m³/min**

Energia Elétrica Perdida: **2.287,45 KWh/mês**

Custo Mensal: **R\$ 137,25**

Para conferir se os dados inseridos estão corretos basta clicar no menu ARQUIVO e em seguida clicar em RELATÓRIO. Para salvar o ensaio siga as instruções descritas em *Primeiros Passos*.

4. O MÉTODO DOS TEMPOS DE LIGAÇÃO DOS COMPRESSORES

Este método é relativamente simples e tem como base a medição dos tempos em que o compressor permanece ligado e desligado na faixa de pressões normalmente adotada na sua regulagem. Como resultado, obtém-se a fração da capacidade do compressor que é perdida nos vazamentos.

Mais detalhadamente, o método se compõe das seguintes etapas:

1. assegurar-se que nenhum equipamento de ar comprimido esteja ligado, ou seja, que o único consumo de ar seja o dos vazamentos;
2. escolher uma faixa de pressões dentro da qual os compressores normalmente ligam e desligam, manual ou automaticamente, como por exemplo, ligar a 10 bar e desligar a 12 bar;
3. quando se atinge a pressão mínima, no exemplo 10 bar, o compressor liga e só vai desligar quando atinge a pressão máxima (12 bar , p. ex.); anotar este intervalo de tempo (t_l);
4. assim que o compressor desliga, a pressão começa a cair; marcar o tempo que transcorre para se chegar novamente à pressão mínima (10 bar , no ex.), e ligar novamente. Seja este o tempo t_d (tempo do compressor desligado);
5. o vazamento de ar, Q_v , será calculada da seguinte forma:

$$Q_v = \frac{t_L}{t_L + t_D} \cdot Q_c \quad (2)$$

onde:

Q_v é a vazão de vazamento do ar comprimido m^3/min

Q_c é a capacidade do compressor m^3/min

t_L é o tempo em que o compressor permanece ligado min

t_D é o tempo em que o compressor permanece desligado min

Exemplo de utilização do método dos tempos de ligação do compressor:

Um compressor de capacidade de $50 m^3/\text{min}$ permanece ligado durante um tempo de 2 minutos para que a pressão suba do seu valor mínimo, 10 bar, até o seu valor máximo, 12 bar. Assim que ele desliga, observa-se que decorrem 8 minutos até que a pressão caia novamente ao valor mínimo (10 bar). A vazão de vazamento será portanto:

$$Q_v = \frac{2}{2 + 8} \cdot 50 = 0,2 \cdot 50 = 10 m^3/\text{min}$$

Observe-se que a fração $t_L / (t_L + t_D)$ indica a fração da capacidade do compressor que se perde nos vazamentos. No exemplo acima, os vazamentos correspondem a 20% da capacidade do compressor.

Apesar de sua grande simplicidade, este método depende do conhecimento preciso da capacidade do compressor, da precisão do sistema de regulagem e da medição das pressões de ligar e desligar o mesmo. Estas informações normalmente não são disponíveis com a precisão necessária, o que torna o método geralmente menos exato que o método da queda de pressão, para o qual bastam as medições

feitas com um só manômetro, que pode ser especialmente montado na rede, com escala e precisão adequados.

5. DETECÇÃO, CAUSAS E CORREÇÃO DOS VAZAMENTOS DE AR COMPRIMIDO

Os grandes vazamentos são audíveis e podem ser detectados facilmente, principalmente nos horários em que todos os equipamentos e outras fontes de ruído estiverem desligadas. Mais difíceis de se perceber são os pequenos vazamentos. A forma mais simples, porém eficaz, é a tradicional prática de se colocar uma esponja com espuma ou somente água, nas uniões ou outros locais onde possa existir vazamentos, cuja existência será detectada pela formação de bolhas.

É praticamente impossível eliminar completamente os vazamentos de ar porém é possível minimizar essas perdas, conhecendo-se suas principais causas e tomando-se as providências cabíveis, relativamente simples de se implementar.

As principais causas de vazamento de ar e suas medidas preventivas ou corretivas, são:

- *perdas nas uniões rosqueadas*: são as principais causas de perdas na rede e nas conexões com os equipamentos. Para evitá-las é importante usar as roscas padronizadas BSP ou NPT. Verificar as condições de uso dos anéis de vedação ou o uso adequado de algum tipo de veda rosca em fita ou pasta. Tomar cuidado especial nas conexões de galvanizados, onde podem ocorrer superfícies de rosca muito irregulares, além de não combinarem com as roscas dos equipamentos pneumáticos.

- *perdas nas fissuras e nas conexões das mangueiras:* as fissuras ocorrem nas mangueiras suscetíveis ao ressecamento, principalmente em regiões que têm movimento. Ao se efetuar emendas ou conexões, verificar bem o estado das extremidades, principalmente quando já foram conectadas ou desconectadas várias vezes, cortando eventuais pontas já deformadas ou apresentando rachaduras. A adequação do diâmetro interno da mangueira com o externo do conector deve ser sempre levada em conta. Engates rápidos que são freqüentemente utilizados podem ter suas vedações prejudicadas.
- *fugas nas juntas de cilindros e válvulas:* os contaminantes presentes no ar ou desalinhamentos nos cilindros causam os maiores problemas nas juntas, provocando as perdas de ar. A umidade do ar, misturada ao óleo queimado do compressor, forma uma emulsão que ataca fortemente as juntas dos cilindros e das válvulas. No caso do cilindro ainda se deve observar que o desalinhamento entre o eixo da haste do cilindro e o da peça deslocada causam danos às juntas. A prevenção desses problemas é óbvia: refrigeração, secagem e filtração adequadas do ar comprimido e alinhamento dos cilindros com sua carga. A troca das juntas dos cilindros ou das válvulas é a correção necessária nos casos em que o problema já existe.

6. ANEXO

Obtenção da equação para o cálculo do vazamento pelo método da queda de pressão .

A rede de ar comprimido em estudo, ou parte dela, configura um volume de controle fixo, no qual há uma queda de pressão ocasionada por perda de massa de ar.

Uma das formas da equação da continuidade afirma que, em cada instante, "a diferença entre o fluxo de massa que entra no volume de controle e o fluxo que sai dele é igual à taxa de acumulação da massa no seu interior", ou seja:

$$\dot{m}_e - \dot{m}_s = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho dV \quad (A.1)$$

No nosso caso há apenas fluxo de massa de saída \dot{m}_s , que ocorre em todos os pontos de vazamento.

A massa específica ρ é variável no tempo, mas igual em qualquer ponto do interior do Volume de Controle VC.

Sendo assim, a expressão (A.1) se reduz a:

$$-\dot{m}_s = \frac{\partial}{\partial t} \left(\rho \int_{VC} dV \right) = \frac{\partial}{\partial t} (\rho V) \quad (A.2)$$

Como o volume de controle é constante, :

$$-\dot{m}_s = V \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (A.3)$$

Nas condições de temperatura e pressão em questão, o ar se comporta praticamente como um gás ideal. Sendo assim, aplicando a equação de estado para gases ideais, tem-se que:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (\text{A.4})$$

Substituindo (A.4) em (A.3), obtém-se:

$$\dot{m}_s = -V \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{P}{RT} \right) \quad (\text{A.5})$$

O processo de depressurização devido ao vazamento é lento e portanto podemos considerá-lo isotérmico, isto é, com a temperatura constante e igual à temperatura do meio ambiente T_a . A equação (A.5) reduz-se portanto a:

$$\dot{m}_s = -\frac{V}{RT_a} \cdot \frac{dP}{dt} \quad (\text{A.6})$$

O sinal negativo, por convenção, indica que a massa está saindo do VC. Podemos passar a considerar apenas o valor absoluto.

A vazão de ar Q_0 , referida à condição normal técnica, segundo a norma ISO 6358 ($t = 20^\circ\text{C}$; $P_{\text{atm}} = 1,013 \text{ bar}$; $\rho_0 = 1,204 \text{ kg/m}^3$, $\phi = 65\%$), será dada por:

$$Q_0 = \frac{\dot{m}_s}{\rho_0} = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{V}{RT_a} \cdot \frac{dP}{dt} \quad (\text{A.7})$$

Levando-se em conta que $\rho_0 = \frac{P_0}{RT_0}$, obtém-se:

$$Q_0 = \frac{V}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_a} \frac{dP}{dt} \quad (\text{A.8})$$

A equação (A.8) permite o cálculo instantâneo de Q_0 , para cada valor de dP/dt ao longo do tempo do vazamento. A partir das equações de escoamentos compressíveis pode-se verificar que o gradiente de pressão dP/dt varia com a própria pressão, que cai ao longo do tempo. Para se realizar um cálculo exato a partir da equação acima, dever-se-ia levantar a curva da variação da pressão com o tempo, no intervalo de pressão usual dentro do qual se trabalha na instalação em observação, obter a variação de dP/dt e integrar a equação ao longo do tempo considerado.

A faixa de variação da pressão P no interior da rede, no caso em estudo, é relativamente pequena (2 a 3 bar) frente aos seus valores absolutos (9 a 12 bar). Este fato, além de que os orifícios de vazamento não variam no tempo da observação e de que a despressurização devida ao vazamento é lenta e portanto isotérmica, permite considerar que a queda dP/dt é aproximadamente linear na faixa de variação da pressão em que os vazamentos são considerados. Portanto, o gradiente de pressão pode ser considerado constante e calculado pela expressão:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P_1 - P_2}{t} \quad (\text{A.9})$$

As pressões P_1 e P_2 são as pressões do início e do fim das medições. Quando o intervalo de pressão da equação (A.9) é da ordem de 3 bar, a linearização aí efetuada causa erros da ordem de 2 a 5% apenas. Este erro ainda pode ser minimizado se usarmos um valor medido no centro do intervalo considerado.

Substituindo (A.9) em (A.8), teremos finalmente:

$$Q_0 = Q_{VN} = \frac{V(P_1 - P_2)}{t \times P_0} \cdot \frac{T_0}{T_a} \quad (\text{A.10})$$

Caso se deseje maior precisão, pode-se dividir o diferencial de pressão $P_1 - P_2$ em pequenos intervalos, $\Delta p_1, \Delta p_2, \dots, \Delta p_n$ e medirmos tempos correspondentes $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$.

A expressão (A.10) pode então ser utilizada para o cálculo de Q_1, Q_2, \dots, Q_n respectivamente, para cada intervalo considerado, t_1, t_2, \dots, t_n .

O valor médio do vazamento, ao longo do tempo total de observação, será então obtido mais exatamente pela expressão:

$$Q_0 = Q_{VN} = \frac{Q_1 \cdot Dt_1 + Q_2 \cdot Dt_2 + \dots + Q_n \cdot Dt_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (\text{A.11})$$

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABHP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA. *Coletânea de Artigos Técnicos: Hidráulica e Pneumática*. São Paulo, pgs. 194 a 200. São Paulo, 1995.
2. _____. *Problema Invisível*. Revista ABHP. São Paulo, 1996. Ano XV, nº. 96, nov.-dez/96, pgs. 16 e 17.
3. ATLAS COPCO, *Manual do Ar Comprimido*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1976.
4. FOX, ROBERT W.; McDONALD, ALAN T.; *Introdução à Mecânica dos Fluidos*, 1981, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S. A.
5. SCHULZ, *Catálogo Técnico de Compressores de ar*. Joinville
6. STREETER, VICTOR L.. *Fluid Mechanics*. 4. Ed., McGraw-Hill Book Company. International Student Edition, Tokyo, 1966.
7. TRADE & TECHNICAL PRESS LTD. *Princípios de Pneumática*. Tradução: Josef Manasterski, Editora Polígono. São Paulo, 1970.
8. TUPY, *Catálogo Técnico de Conexões de FoFo*. Joinville
9. ZAMPROGNA, *Catálogo Técnico de Tubos de Condução Pretos e Galvanizados*, São Paulo.

MAIORES INFORMAÇÕES SOBRE ESTE E OUTROS MANUAIS DA SÉRIE

Estamos programando a publicação de novos manuais, nos moldes deste. O próximo a ser publicado, incluindo também um programa computacional, será o manual para a SELEÇÃO DO CONJUNTO CILINDRO E VÁLVULA DIRECIONAL. Visando satisfazer demandas existentes e com a melhor qualidade possível, solicitamos sua importante colaboração, enviando-nos sugestões de novos assuntos para as publicações seguintes, bem como sua avaliação do presente manual.

Teremos o maior prazer em mantê-lo informado sobre as novas publicações e sobre os aperfeiçoamentos a serem implementados nos manuais já existentes.

Corte aqui.....

AVALIAÇÃO DO MANUAL: _____

(se for preciso, continue, por favor, no verso da folha)

SUGESTÕES DE NOVOS ASSUNTOS: _____

Nome: _____

Endereço: _____

Telefone: _____ **Fax:** _____

E-mail: _____

FAVOR ENVIAR ESTE FORMULÁRIO PARA:

TECFLU – Bollmann Tecnologia Fluitrônica Ltda.

Rua Eduardo Laurentino da Silva, 93 - Córrego Grande

88037-420 FLORIANÓPOLIS – SC

Telefone/Fax: (048) 234-2951

E-mail: bollmann@portadig.com.br

A perda de energia por vazamentos de ar comprimido pode atingir valores consideráveis.

O software CalVazão, incluído neste manual, possibilita o cálculo rápido da vazão de ar perdida nos vazamentos e do custo mensal resultante.

Concebido para trabalhar em ambiente Windows, o programa CalVazão pode ser utilizado com muita facilidade.

