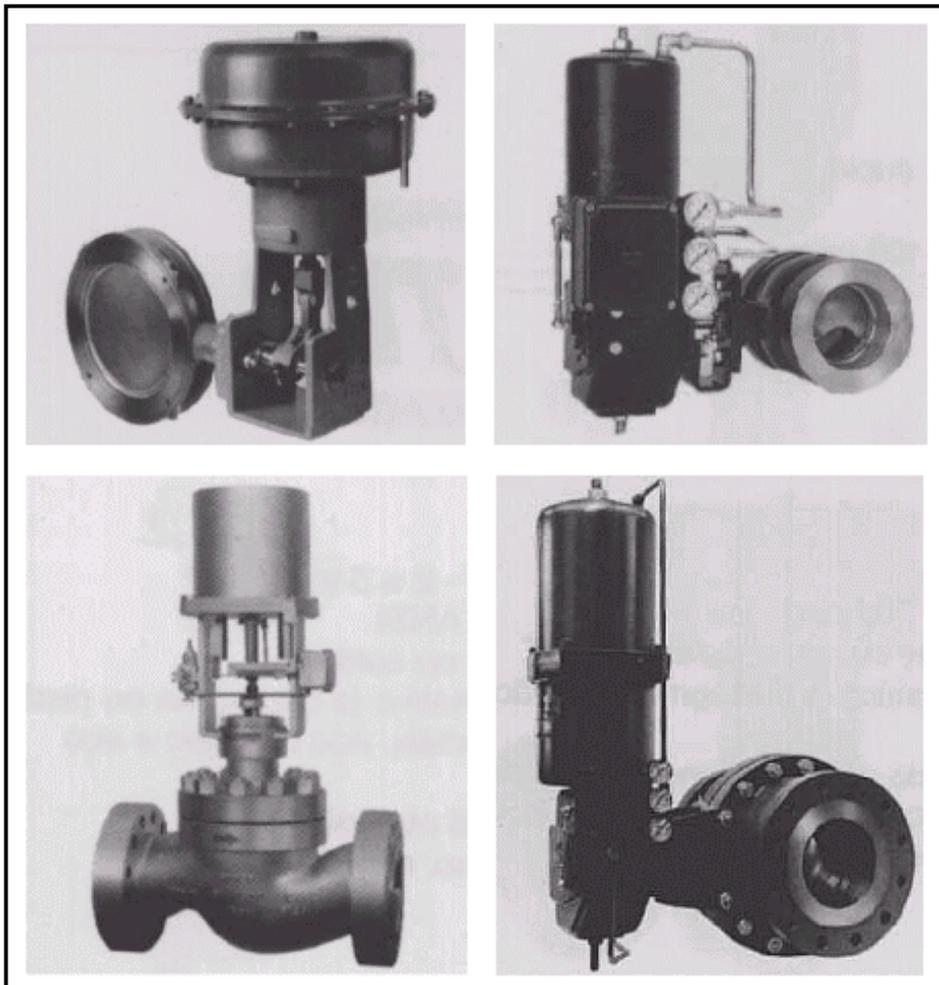


PCPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção

Instrumentação

Elementos Finais de Controle





ELEMENTOS FINAIS DE CONTROLE

@ SENAI – ES, 1999

Trabalho realizado em parceria SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão)

Coordenação Geral	Evandro de Figueiredo Neto (CST) Robson Santos Cardoso (SENAI)
Supervisão	Rosalvo Marcos Trazzi (CST) Fernando Tadeu Rios Dias (SENAI)
Elaboração	Adalberto Luiz de Lima Oliveira (SENAI)
Aprovação	Wenceslau de Oliveira (CST)

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
CTIIAF – Centro Técnico de Instrumentação Industrial Arivaldo Fontes
Departamento Regional do Espírito Santo
Av. Marechal Mascarenhas de Moraes, 2235
Bento Ferreira – Vitória – ES
CEP 29052-121
Telefone: (27) 3334-5211
Telefax: (27) 3334-5217

CST – Companhia Siderúrgica de Tubarão
Departamento de Recursos Humanos
Av. Brigadeiro Eduardo Gomes, nº 930
Jardim Limoeiro – Serra – ES
CEP 29163-970
Telefone: (27) 3348-1333

ÍNDICE

ASSUNTO	PÁGINA
1 – INTRODUÇÃO	01
2 – VÁLVULA DE CONTROLE	
2.1 – DEFINIÇÃO	01
2.2 – CLASSIFICAÇÃO DA VÁLVULA SEGUNDO SEU PRINCÍPIO DE ACIONAMENTO	01
3 – TIPOS DE VÁLVULAS DE CONTROLE	
3.1 – INTRODUÇÃO	01
3.2 – TIPOS DE CORPOS	02
3.3 – VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO LINEAR DA HASTE	03
3.3.1 – Sede Simples	03
3.3.2 – Sede Dupla	06
3.3.3 – Válvula de Controle Globo de 3 Vias	07
3.3.4 – Válvula Globo Tipo Gaiola	08
3.3.5 – Válvula de Controle Tipo Diafragma	12
3.3.6 – Válvula de Controle Bi-partida	12
3.3.7 – Interno de uma Válvula Globo	13
3.3.8 – Tipos de Guias do Obturador de uma Válvula Globo	18
3.3.9 – Castelo de uma Válvula	19
3.3.10 – Conjunto de Caixa Gaxeta	21
3.3.11 – Flange Inferior de uma Válvula	23
3.3.12 – Tipos de Conexões das Extremidades do Corpo da Válvula	24
3.3.13 – Juntas para Flange de uma Válvula	27
3.4 – VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO ROTATIVO DA HASTE	28
3.4.1 – Válvula de Controle Tipo Borboleta	28
3.4.2 – Válvula de Controle Tipo Esfera	33
3.4.3 – Válvula de Controle Tipo Segmento de Esfera	36
4 – MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE	
4.1 – INTRODUÇÃO	37
4.2 – MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO CORPO	37
4.2.1 – Requisitos Quanto a Pressão e Temperatura do Fluido	37
4.2.2 – Requisitos Quanto a Resistência à Corrosão	37
4.2.3 – Requisitos Quanto a Resistência à Erosão	38
4.3 – MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE INTERNOS	38
4.3.1 – Requisitos Quanto a Resistência à Corrosão	38
4.3.2 – Requisitos Quanto a Resistência à Erosão	38

ASSUNTO	PÁGINA
5 – CLASSE DE VEDAÇÃO DE UMA VÁLVULA	39
6 – CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO DE VÁLVULAS DE CONTROLE	
6.1 – INTRODUÇÃO	41
6.2 – CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO	41
6.3 – CURVAS DE CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO INERENTE	42
6.3.1 – Abertura Rápida	42
6.3.2 – Linear	43
6.3.3 – Igual a Porcentagem	43
6.3.4 – Parabólica Modificada	44
6.4 – CARACTERÍSTICA DE VAZÃO INSTALADA	45
6.5 – COMO SELECIONAR A CARACTERÍSTICA DE VAZÃO	47
7 – DIMENSIONAMENTO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE	
7.1 – INTRODUÇÃO	49
7.2 – CÁLCULO DO COEFICIENTE DE VAZÃO (Cv) DE UMA VÁLVULA	50
7.2.1 – Equação Geral para Fluidos Incompressíveis	50
7.2.2 – Equações Gerais para Fluidos Compressíveis-	58
7.2.3 – Equações gerais para Fluidos com Mistura de Fases	61
7.3 – ANÁLISE INTRODUTÓRIA À CAVITAÇÃO, VAZÃO BLOQUEADA E “FLASHING” ⁶²	
7.4 – CÁLCULO DE NÍVEL DE RUÍDO	87
7.4.1 – Ruído Mecânico	87
7.4.2 – Ruído Hidrodinâmico	87
7.4.3 – Ruído Aerodinâmico	89
8 – ATUADORES PARA VÁLVULAS DE CONTROLE	
8.1 – INTRODUÇÃO	95
8.2 – ATUADOR TIPO MOLA E DIAFRAGMA	95
8.3 – ATUADOR PNEUMÁTICO TIPO PISTÃO	96
8.3.1 – Atuador à Pistão com Deslocamento Linear	97
8.3.2 – Atuador à Pistão com Deslocamento Rotativo	97
8.4 – ATUADOR ELÉTRICO	97
8.5 – ATUADOR ELETRO-HIDRAÚLICO	98
8.6 – POSIÇÃO DE SEGURANÇA POR FALHA	98
9 – ACESSÓRIOS PARA UMA VÁLVULA DE CONTROLE	
9.1 – INTRODUÇÃO	100
ASSUNTO	PÁGINA
9.2 – POSICIONADORES	100
9.2.1 – Posicionador Pneumático	102

9.2.2 – Posicionador Eletro-Pneumático	102
9.2.3 – Posicionador Inteligente	103
9.2.4 – Aplicações Recomendadas para Uso do Posicionador	104
9.2.5 – Limitações no Uso do Posicionador	106
9.2.6 – Tipos de Posicionador em Função do Tipo de Atuador	106
9.3 – BOOSTERS PNEUMÁTICOS DE VOLUME E DE PRESSÃO	107
9.3.1 – Booster de Volume	108
9.3.2 – Booster de Pressão	108
9.4 – VÁLVULAS SOLENÓIDES	109
9.5 – CHAVES INDICADORAS DE POSIÇÃO	110
9.6 – VÁLVULA FIXADORA DE AR	111
9.7 – TRANSMISSOR DE POSIÇÃO	111
9.8 – TRANSDUTORES ELETROPNEUMÁTICOS	111
9.9 – CONJUNTO FILTRO-REGULADOR DE AR	112
9.10 – VOLANTES MANUAIS	113
10 – INSTALAÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE	
10.1 – INTRODUÇÃO	113
10.2 – RECOMENDAÇÕES BÁSICAS NA INSTALAÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE	114
APÊNDICE A – GUIA PARA SELEÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE	116
APÊNDICE B – MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE	136
APÊNDICE C – TABELAS TÉCNICAS E FATORES DE CONVERSÃO	157
EXERCÍCIOS PROPOSTOS	172

PREFÁCIO

O **SENAI-ES** e a **CST - Companhia Siderúrgica de Tubarão** agradecem ao **GRUPO HITER** pela autorização de reprodução de seu material didático, que foi de fundamental importância na elaboração desta apostila de Elementos Finais de Controle, e compartilham com a mesma o sucesso deste treinamento.

1 - INTRODUÇÃO

Apesar de nem sempre receber a devida atenção, a escolha do elemento final de controle mais adequado é de grande importância para o bom desempenho de uma malha de controle, pois ele é o responsável pela modificação de valores diversos para que a variável sob controle seja mantida no valor desejado. Existem diversos tipos de elementos finais de controle, tais como resistências elétricas, bomba, motor, etc., porém, sem dúvida a de maior uso e por isto a mais importante é a válvula de controle. Seus tipos, suas características, seu dimensionamento, etc.; serão objeto de estudo nesta apostila.

2 - VÁLVULA DE CONTROLE

2.1 - DEFINIÇÃO

De forma genérica pode-se dizer que se trata de um dispositivo cuja finalidade é a de provocar uma obstrução na tubulação com o objetivo de permitir maior ou menor passagem de fluido por esta. Esta obstrução pode ser parcial ou total, manual ou automática. Em outras palavras é todo dispositivo que através de uma parte móvel abra, obstrua ou regule uma passagem através de uma tubulação. Seu objetivo principal é a variação da razão do fluxo.

2.2 - CLASSIFICAÇÃO DA VÁLVULA SEGUNDO SEU PRINCÍPIO DE ACIONAMENTO

a) Manual

A operação da abertura e fechamento a ser realizada é feita pelo homem.

b) Auto-reguladora

A operação de abertura e fechamento é realizada utilizando a energia contida no fluido.

c) Controle

Utiliza-se uma força auxiliar para operação e, o acionamento é feito de acordo com os sinais provenientes dos controladores.

3 - TIPOS DE VÁLVULAS DE CONTROLE

3.1 - INTRODUÇÃO

Uma válvula de controle consiste basicamente de dois conjuntos principais o corpo e o atuador. O corpo e a parte da válvula que executa a ação de controle permitindo maior ou menor passagem do fluido no seu interior, conforme a necessidade do processo. O conjunto do corpo divide-se basicamente nos seguintes subconjuntos:

- a) corpo propriamente dito;
- b) internos;
- q) castelo, e
- d) flange inferior.

Nem todos os tipos de válvulas possuem obrigatoriamente o seu conjunto do corpo formado por todos os subcomponentes acima mencionados. Em algum tipo de válvulas, corpo e castelo formam uma só peça denominada apenas corpo; em outros nem existe o flange inferior. Porém, vamos por ora desconsiderar tais particularidades, optando por um conceito mais global, para posteriormente irmos restringindo-o à medida em que formos analisando cada tipo

de válvula de controle.

Sendo o conjunto do corpo, a parte da válvula que entra em contato direto com fluido, deve satisfazer os requisitos de pressão, temperatura e corrosão do fluido. Trata-se portanto de um vaso de pressão e como tal deve ser considerado.

3.2 - TIPOS DE CORPOS

Os tipos de válvulas são classificados em função dos respectivos tipos de corpos, e portanto, quando estivermos falando de tipos de válvulas subentenderemos tipos de corpos.

Podemos agrupar os principais tipos de válvulas em dois grupos:

- a) Deslocamento linear
 - 1) Globo Convencional;
 - 2) Globo Três vias;
 - 3) Globo Gaiola;
 - 4) Globo Angular;
 - 5) Diafragma;
 - 6) Bi – partido;
 - 7) Guilhotina.

- b) Deslocamento rotativo
 - 1) Borboleta;
 - 2) Esfera;
 - 3) Obturador Excêntrico;
 - 4) Segmento de Esfera.

Define-se por válvula de deslocamento linear, a válvula na qual a peça móvel vedante descreve um movimento retilíneo, acionada por uma haste deslizante; enquanto que uma válvula de deslocamento rotativo é aquela na qual a peça móvel vedante descreve um movimento de rotação acionada por um eixo girante.

Para cada tipo de processo ou fluido sempre temos pelo menos um tipo de válvula que satisfaça os requisitos teóricos de processo, independente da consideração econômica. Cada um desses tipos de válvulas possuem as suas vantagens, desvantagens e limitações para este ou aquele processo.

No decorrer deste curso, analisaremos todos esses aspectos, oferecendo assim uma sólida base para o usuário poder, selecionar a melhor válvula para a aplicação em questão.

3.3 - VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO LINEAR DA HASTE

3.3.1 - Sede simples

A figura 1 mostra várias montagens da denominada válvula globo tipo sede simples. É fabricada em diâmetros de 1/2" até 4" conexões das extremidades rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas, nas classes de 150, 300, 600, 1500 e 2500 lb.

Neste tipo de válvula, o fluido no interior de corpo passa através de um único orifício, conforme podemos notar pela figura 1.

Na figura 1-a, notamos que o obturador é guiado duplamente, isto é, na parte superior e inferior, e ainda um fato muito importante é que para a válvula fechar, o obturador deve movimentar-se para baixo. Tal tipo de montagem é denominada de normalmente aberta. Por outro lado, na figura 1-b, vemos a mesma válvula, só que o obturador está invertido. Neste caso para a válvula abrir o obturador tem que descer. Esta é, portanto, uma válvula normalmente fechada.

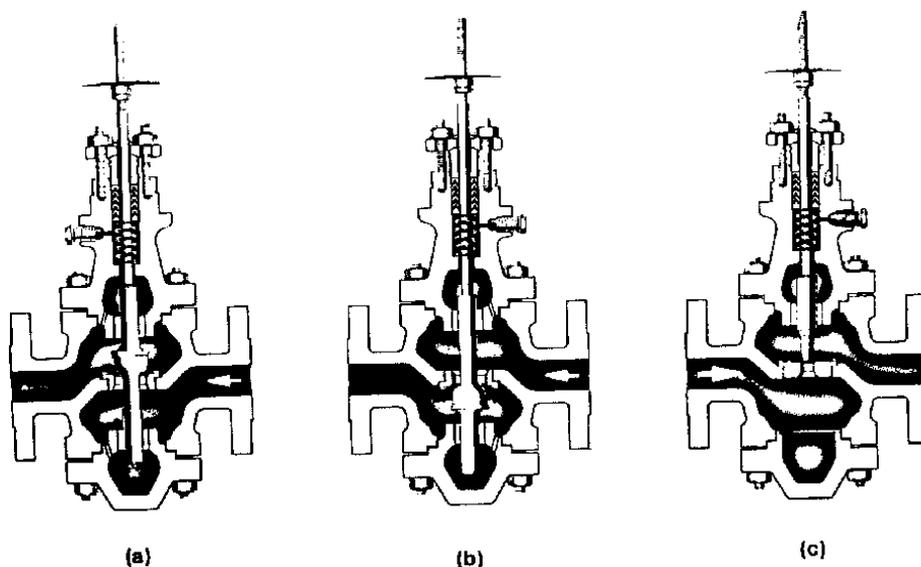


Fig. 1 - Válvula Globo Convencional Tipo Sede Simples

Na figura 1-c, vemos uma outra sede simples um pouco diferente das anteriores. O obturador é guiado apenas na parte superior e ao descer a válvula só pode fechar, não existindo a possibilidade do obturador ser instalado em posição invertida ou por baixo. Essa válvula em relação ao movimento de obturador de cima para baixo só pode fechar.

O fato de uma válvula ser normalmente aberta ou fechada é um fator muito importante a ser levado em consideração na escolha da válvula. Isso significa que na posição de descanso, ou

seja, sem força de atuação, a válvula pode ficar completamente aberta ou completamente fechada. Uma válvula normalmente aberta ficara totalmente aberta em caso de falta de suprimento de energia para operação do atuador, no caso de uma válvula normalmente fechada ocorrerá o inverso.

As principais características da válvula globo sede simples são: proporciona uma boa vedação e possui obturador estaticamente não balanceado. Assim sendo podemos atingir um vazamento, quando a válvula estiver totalmente fechada de, no máximo ate 0,01% da sua

capacidade de vazão máxima.

Os índices de vazamento obtidos, estando a válvula de controle totalmente fechada, são padronizados internacionalmente conforme a norma ANSI B16.104 - "AMERICAN NATIONAL STANDARD FOR CONTROL VALVE LEAKAGE" a qual define diversas classes de vazamento. Assim, de acordo com essa especificação, a válvula globo sede simples possui um nível de vazamento Classe IV. Devemos alertar que tais índices de vazamento são sempre considerados nas válvulas conforme saem de fabricação, ou seja, para válvulas novas e limpas.

É no fato do seu obturador não ser balanceado que reside a principal desvantagem da válvula sede simples, motivo pelo qual requer uma força de atuação suficientemente grande para vencer as forças estáticas de fluido agindo sobre o obturador, e poder movimentá-lo.

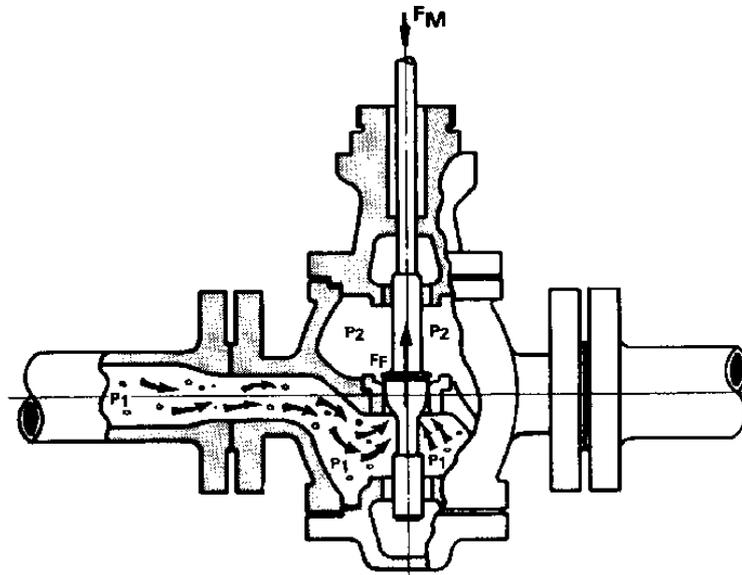


Fig. 2. - Atuação das Forças Dinâmicas Provenientes do fluido agindo contra o obturador de uma válvula globo sede simples.

O índice de vazamento definido anteriormente, é para válvulas de fabricação normal, ou suja, com assento metal-metal. Contudo podemos atingir um índice de menor vazamento (sem aumentar a força de assentamento do atuador), utilizando a construção de assentamento composto, ou seja, metal-borracha, metal-teflon, etc.

Este tipo de construção, muitas vezes ainda designado pelo seu nome em inglês, "soft-seat" é mostrado na figura 3.

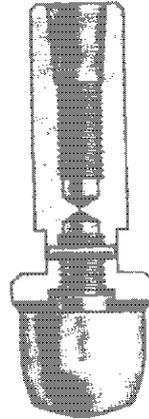


Fig. 3 - Detalhe da construção de um Obturador Sede Simples com Assento tipo Composto ("Soft Seat").

Obtemos desta forma um índice de vazamento praticamente nulo (da ordem de algumas bolhas de ar por minuto).

Um outro fato de muita importância nas válvulas globo sede simples, é a direção do fluxo em relação a posição do conjunto obturador e anel da sede. O fluido deve sempre entrar na válvula tendendo abri-la como mostra a figura 2. Uma flecha estampada no corpo indica o sentido de montagem da válvula na tubulação. Obtemos com isso as seguintes vantagens: aumento da vida útil das gaxetas e propiciamento de uma operação mais suave, evitando-se assim o fenômeno de "chattering".

Esse fenômeno pode ser facilmente explicado da seguinte forma: caso o fluxo entre na válvula tendendo fechá-la, quando o obturador aproxima-se do anel da sede, surge uma força dinâmica não balanceada produzida pela redução da pressão, após a restrição. Essa força, que tende puxar o obturador de encontro à sede, faz o obturador chocar-se continuamente contra a sede, devido a proximidade entre ambos, danificando por completo o assentamento da válvula, além de ainda produzir o indesejável ruído, de origem mecânica devido à oscilação vertical do obturador.

Porém pese ao acima mencionado, existem situações nas quais é imperativo a instalação da válvula sede simples com o fluxo tendendo fechar a válvula. Um exemplo disso é o caso de alta pressão diferencial.

Nestes casos devemos agir com critério e cuidado na especificação dos materiais dos internos no intuito de prolongarmos a sua vida útil.

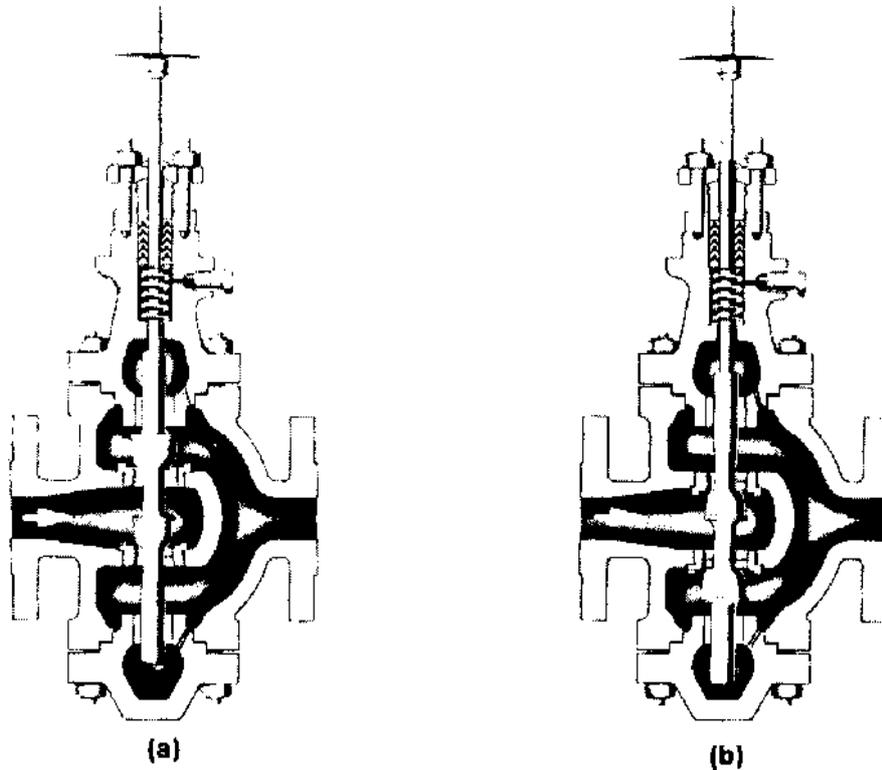


Fig. 4 - Válvula Globo Convencional Tipo Sede Dupla.

3.3.2 - Sede dupla

A figura 4 mostra duas montagens diferentes da válvula globo sede dupla, assim denominada pelo fato do fluxo passar através de duas passagens ou orifícios.

Na figura 4-a, vemos uma válvula com obturador que desce para fechar enquanto que na figura 4-b, a montagem do obturador é por baixo, tipo desce para abrir. A válvula sede dupla é portanto de corpo reversível.

É fabricada normalmente em diâmetros de 3/4" a 14", e com conexões das extremidades rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas, nas classes 150, 300, 600, 900 e 1500 lbs. A principal vantagem da válvula sede dupla é o fato dela ser estaticamente quase estável sem necessitar, portanto, de uma força de atuação tão grande quanto a válvula sede simples, conforme podemos deduzir com o auxílio da figura 5.

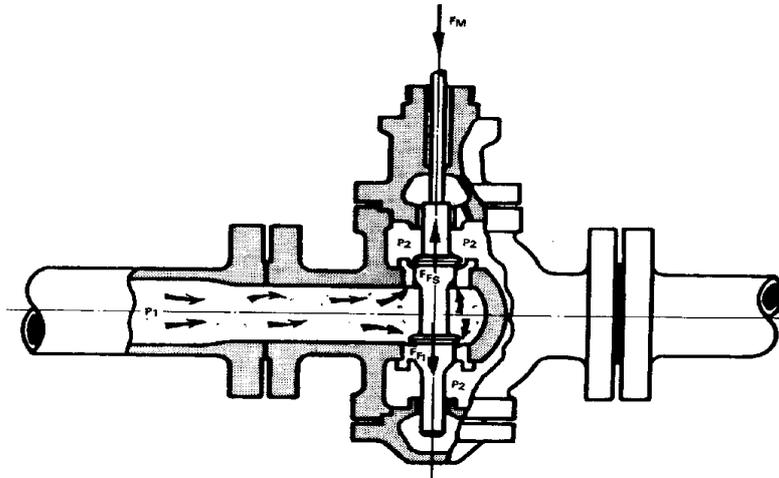


Fig. 5 - Atuação das Forças Dinâmicas Provenientes do Fluido Agindo Contra o Obturador de um Válvula Globo Sede Dupla.

Como desvantagem, as válvulas sede dupla, apresentam um vazamento, quando totalmente fechadas de no máximo 0,5% da sua máxima capacidade de vazão. Conforme a especificação normativa da ANSI B16.104, a válvula globo sede dupla de construção "standard", possui um índice de vazamento Classe II.

Existem possibilidades técnicas de construir um obturador sede dupla especialmente para alta estanqueidade utilizando-se do sistema de assento composto (metal-teflon, metal-elastômero, etc). Por ser uma adaptação altamente cara, somente é utilizada em casos de imperiosa necessidade, fato difícil de acontecer principalmente por existirem sempre mais do que uma solução teoricamente viável referente ao tipo de válvula a ser utilizada.

3.3.3 - Válvula de Controle Globo de 3 vias

Trata-se de uma adaptação das válvulas globo convencionais, para utilização em aplicações de mistura ou separação de fluidos.

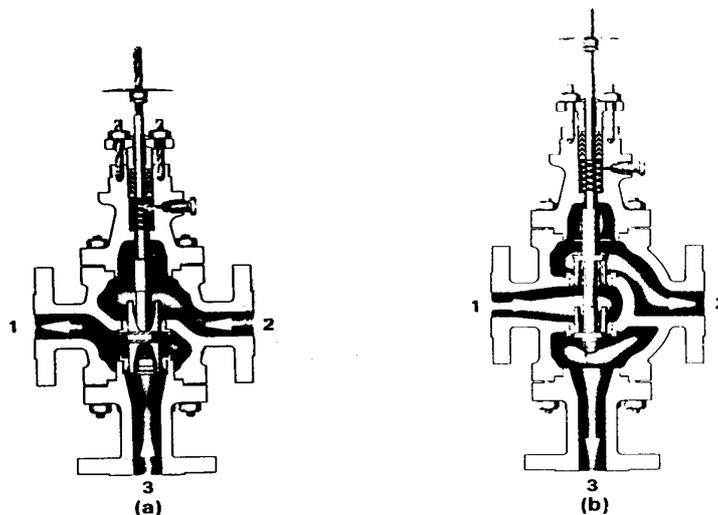


Fig. 6 - Válvula Globo de 3 Vias

Na válvula tipo convergente, conforme vemos pela figura 6-a, fluidos quaisquer e separados

entram pelas vias (2) e (3), misturando-se numa determinada e desejada proporção, saindo pela via (1) já misturados. A proporção da mistura é determinada pela posição do obturador relativa às duas sedes. Um deslocamento do obturador para cima faz diminuir a entrada do fluido por (2), aumentando simultaneamente a entrada do fluido por (3). É fabricada em diâmetros de 3/4" até 8" e com conexões nas extremidades rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas. Podemos notar neste tipo de válvula um novo modo de guia dupla: superior e no anel da sede.

Na figura 6-b vemos uma válvula 3 vias tipo divergente, na qual o fluido entra pela via (1) e sai em proporções definidas pelas vias (2) e (3). É fabricada em diâmetros de 3/4" até 12" com extremidades rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas.

Uma aplicação bastante conhecida da válvula 3 vias divergente é o de desvio de um trocador de calor conforme vemos pelo esquema da figura 7.

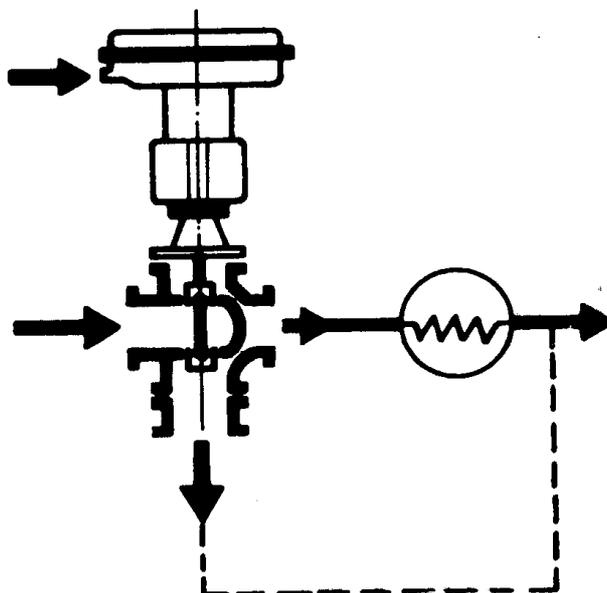


Fig. 7 - Válvula Globo de 3 Vias Tipo Divergente
Utilizada para Desvio de Um Trocador de Calor

As válvulas de 3 vias, devido a sua configuração e utilização, não apresentam vedação completa, pois, enquanto fechamos um orifício, o outro fica completamente aberto.

3.3.4 - Válvula Globo Tipo Gaiola

Trata-se de uma válvula de concepção antiga, porém totalmente renovada e aperfeiçoada nos últimos anos, fato esse que lhe possibilitou uma contínua e crescente utilização na quase totalidade dos processos industriais. A válvula tipo gaiola apresenta uma concepção de internos substancialmente diferente da globo convencional.

O amplo sucesso deste estilo de válvula está totalmente fundamentado nos seguintes aspectos:

- a) facilidade de remoção das partes internas, pela ausência de roscas o que facilita bastante a manutenção na própria instalação;
- b) alta estabilidade de operação proporcionada pelo exclusivo sistema de guia do obturador na gaiola, obtendo desta forma uma área de guia da ordem de 30% superior à obtida pela guia superior e inferior da válvula globo convencional;
- c) capacidade de vazão da ordem de 20 a 30% maior que a obtida nas válvulas globo convencionais;
- d) menor peso das partes internas, resultando assim numa freqüência natural maior dessas partes, o que faz com que a válvula fique menos susceptível à vibração horizontal do obturador, proporcionando dessa forma menos ruído de origem mecânica do que as válvulas globo duplamente guiadas;
- e) não possuindo flange inferior a válvula é algo mais leve que as globo convencionais.

Por não possuir flange inferior, a válvula tipo gaiola não possui corpo reversível, e assim a montagem dos seus internos é do tipo entra por cima. A drenagem do fluido, se necessária, pode ser realizada através da parte inferior do corpo, por meio de um tampão rosqueado.

3.3.4.1 - Válvula Globo tipo Gaiola Sede Simples

Nas figuras 8.a e 8.b vemos dois exemplos deste tipo de válvula. O fluido entra por baixo do anel da sede, passando pelo orifício e pelas janelas da gaiola. Apresentando apenas guia na gaiola, trata-se de uma válvula não balanceada como a globo convencional sede simples, pois a força do fluido tendendo a abrir a válvula, não é balanceada e por isso apresenta o mesmo inconveniente de precisarmos de uma grande força de atuação. Pela figura 8, nota-se também que não sendo uma válvula de corpo reversível o deslocamento do obturador de cima para baixo fecha a válvula, ou seja, desce para fechar.

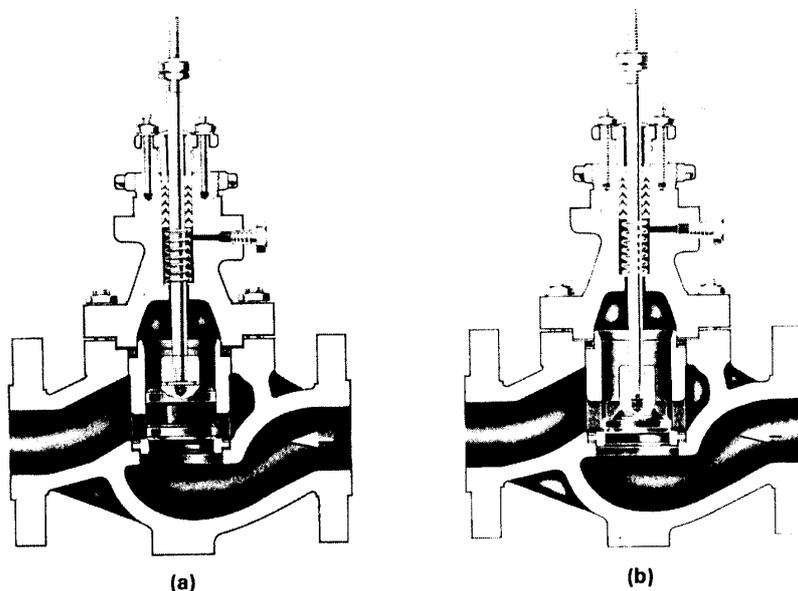


Fig. 8 - Válvula Globo tipo Gaiola Simples

Apresenta um vazamento de 0,01% da sua máxima capacidade de vazão, quando totalmente fechada e conforme a especificação normativa ANSI B16.104, possui um nível de vazamento Classe IV.

É fabricada em diâmetros de 1/2" até 6" nas classes de 150, 300 e 600 lbs. As conexões das extremidades podem ser rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas.

3.3.4.2 - Válvula Globo Tipo Gaiola Balanceada

Esta construção é basicamente similar a anterior, conforme vemos pela figura 9. Apenas que, neste caso, o obturador é balanceado dinamicamente (como acontece na válvula globo sede dupla) devido ao orifício interno no obturador, que faz com que a pressão do fluido comunique-se com ambos os lados do obturador, formando-se assim um balanceamento de forças.

Precisamos, portanto, de uma menor força de atuação neste caso do que no anterior sede simples. O fluido neste tipo de construção entra por cima, conforme uma flecha indicativa presa ao corpo da válvula. Porém, da mesma forma que acontece com a globo convencional sede dupla, a válvula tipo gaiola balanceada, não apresenta boa vedação, permitindo um vazamento de até 0,5% da máxima capacidade de vazão da válvula e conforme especificação normativa da ANSI B16.104, possui um nível de vazamento Classe III. Pode-se obter também classe VI, utilizando-se assento resiliente

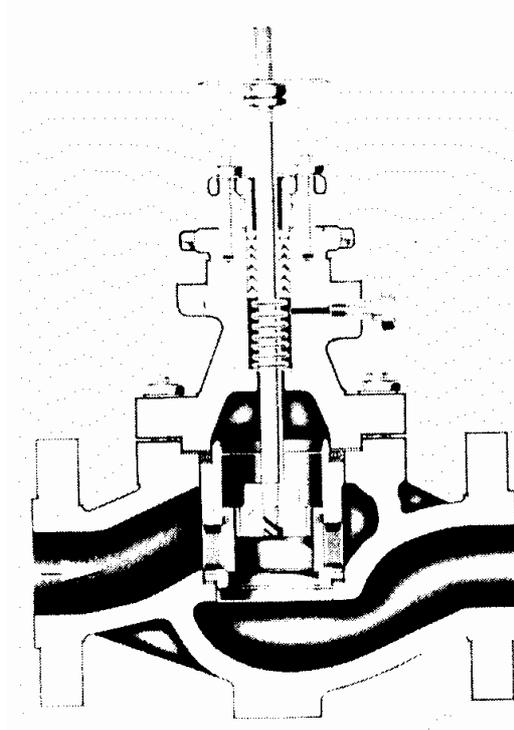


Fig. 9 - Válvula Globo Tipo Gaiola Balanceada

É fabricada em diâmetros de 3/4 até 16" nas classes 150, 300, 600, 900 1500 e 2500 lbs. As conexões podem ser rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas.

3.3.4.3.- Válvula tipo Gaiola com Internos de Baixo Ruído

Existem diversos tipos de válvulas de controle com internos especialmente projetados para aplicações onde haja a necessidade de uma considerável redução do nível de ruído aerodinâmico (ruído produzido pelo escoamento de gases e vapores a altas velocidades) produzido numa válvula de controle. Embora, todos esses sistemas de internos para

atenuação do ruído sejam baseados em princípios físicos diferentes, apresentam porém um fato em comum: produzem uma distribuição do fluxo do gás ou vapor através de uma série de restrições localizadas no sistema de internos.

Na figura 10-a, vemos o sistema de internos tipo gaiola de baixo ruído. Basicamente trata-se de vários anéis circulares e concêntricos formando um conjunto, como podemos notar pela figura 10-b. O número de anéis utilizados depende das condições de operação e da atenuação de ruído requerida.

Pela figura 10-c, podemos notar melhor o seu funcionamento. O fluido entra, à pressão P_e , através dos orifícios do primeiro elemento, após o que, distribui-se pelo anel de estagnação, onde perde velocidade antes de entrar nos orifícios do segundo elemento. Repete-se o processo no seguinte anel de estagnação e próximo elemento até que o fluido atinja a saída após o último elemento, a uma pressão, então, de P_s . O número de orifícios, em cada elemento é calculado de forma a manter a velocidade média de escoamento igual em todos os elementos.

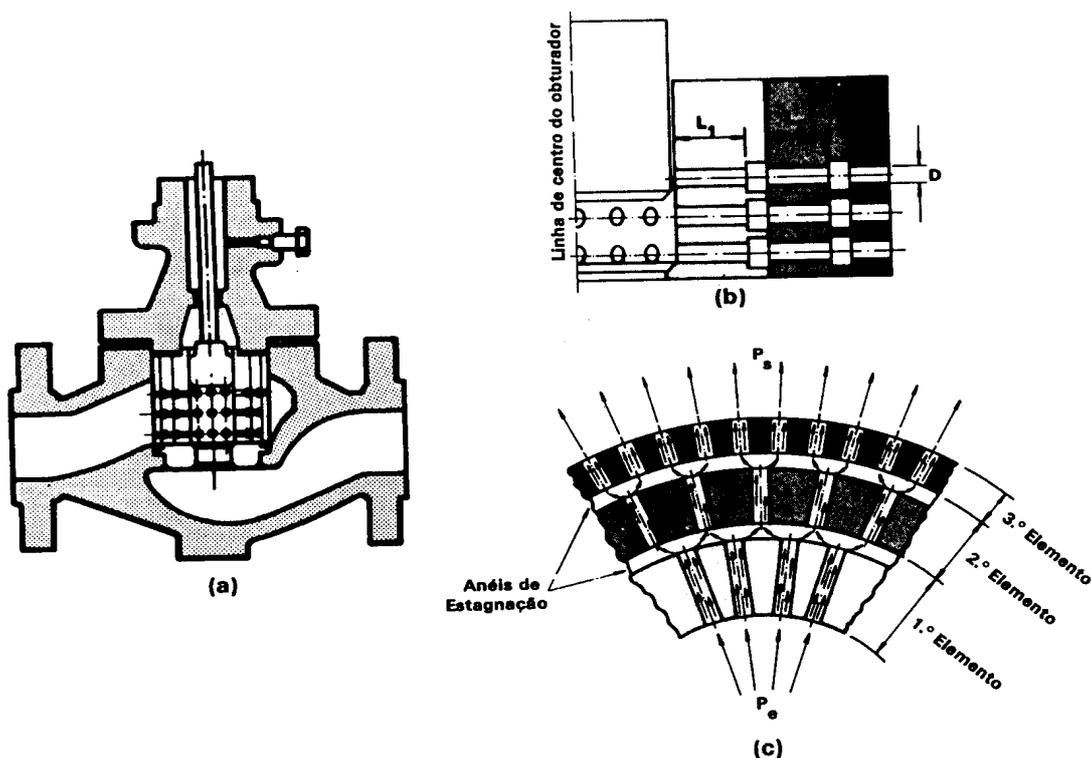


Fig. 10 - Válvula Globo Tipo Gaiola com Internos de Baixo Ruído

3.3.5 - Válvula de Controle Tipo Diafragma

Este tipo de válvula, cuja configuração é totalmente diferente das outras válvulas de controle, é utilizada no controle de fluidos corrosivos, líquidos altamente viscosos e líquidos com sólidos em suspensão. Uma válvula de controle tipo diafragma conforme vemos na figura 11, consiste de um corpo em cuja parte central apresenta um encosto sobre o qual um diafragma móvel,

preso entre o corpo e o castelo, se desloca para provocar o fechamento da válvula.

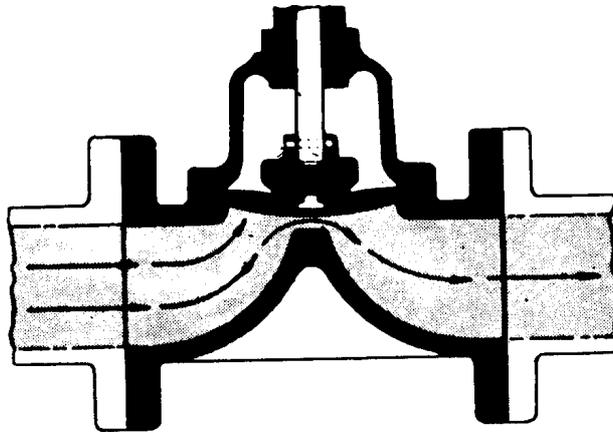


Fig. 11 - Válvula Tipo Diafragma

A válvula de controle tipo Diafragma ou Saunders, assim denominada por se tratar de uma patente mundial da Saunders (Inglaterra), possui como vantagens um baixo custo, total estanqueidade quando fechada, já que o assento é composto, e facilidade de manutenção. Entretanto não apresenta uma boa característica de vazão para controle, além de uma alta e não uniforme força de atuação que faz com que praticamente este tipo de válvula seja limitado em diâmetros de até 6" para efeito de aplicações em controle modulado. Fabricada em classes 125 e 150 lbs, e com conexões das extremidades rosqueadas (até 2") e flangeadas.

Uma outra desvantagem é que devido ao material do seu obturador (diafragma de neoprene ou Teflon), a sua utilização é limitada pela temperatura do fluido em função do material do diafragma. Possui uma vedação Classe VI. Uma particularidade muito importante e notável é que, devido a forma interna do seu corpo, é possível o revestimento interno das paredes do corpo com materiais, tais como: vidro, ebonite, plástico, chumbo ou Teflon, o que possibilita o uso deste tipo de válvula mesmo em corpo de ferro fundido, porém revestido, em aplicações corrosivas.

3.3.6 - Válvula de Controle Bi-partida

Trata-se de uma válvula desenvolvida para aplicações altamente corrosivas, principalmente em plantas de processos químicos, aplicações nas quais torna-se necessária uma freqüente inspeção ou substituição dos internos da válvula.

A válvula de controle de corpo bi-partido conforme vemos pela figura 12, foi desenhada para tais situações possibilitando uma fácil manutenção devido à facilidade de acesso aos internos. Neste tipo de válvula, o anel da sede é preso (ao contrário da globo convencional onde é rosqueado) entre as duas metades do corpo, podendo ser facilmente removido.

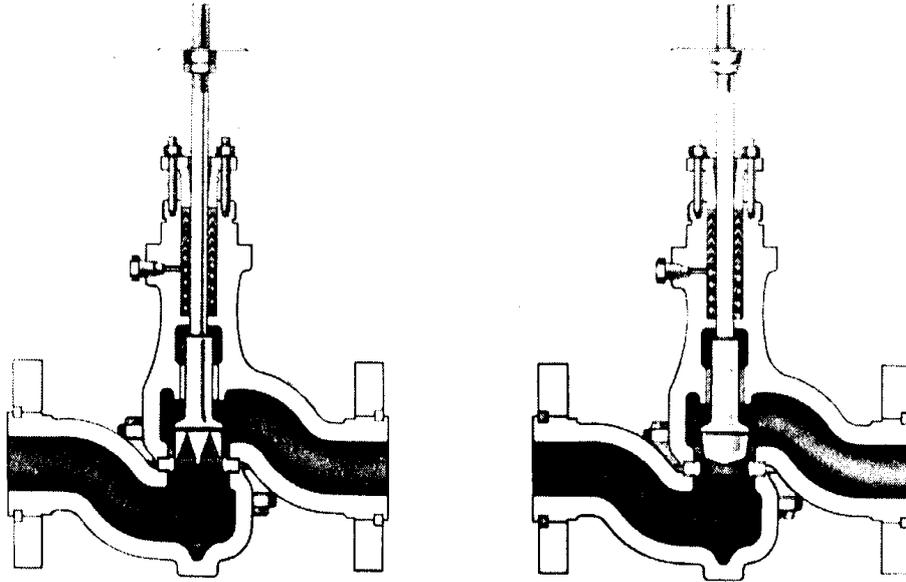


Fig. 12 - Válvula Tipo Bi-Partida

Devido a ser uma válvula utilizada em fluidos altamente corrosivos, o material de corpo é especial e portanto caro, padronizando-se a utilização de flanges tipo encaixe, soldados ao corpo. Estes flanges, podem ser em aço carbono comum mesmo que o corpo seja de material superior.

A guia do obturador é apenas superior ou superior e no anel da sede.

Uma desvantagem deste tipo de válvula é a não possibilidade de uma fixação na linha por meio de solda (pois neste caso as metades do corpo não poderiam ser separadas para a remoção do anel da modo), já que em tais aplicações tão corrosivas nas plantas químicas, é bastante comum a normalização deste tipo de fixação.

Este tipo de válvula é apenas sede simples, apresentando os mesmos índices de vazamento Classe IV, ou seja 0,01% da sua máxima capacidade de vazão, e as limitações de força do atuação ao desequilíbrio das forças dinâmicas do fluido contra o obturador.

É normalmente fabricada em diâmetros de 1/2" a 12", e com conexões flangeadas nas classes 150, 300, 600, 900 e 1500 lbs.

3.3.7 - Internos de Válvulas Globo

Normalmente costuma-se definir ou representar os internos de uma válvula de controle como o coração da mesma.

Se considerarmos a função à qual se destina a válvula, realmente as partes denominadas de internos representam o papel principal da válvula de controle, ou seja, produzir uma restrição variável a passagem do fluido conforme a necessidade imposta pela ação corretiva do controlador produzindo assim, uma relação entre a vazão que passa e a abertura da válvula (afastamento do obturador em relação à sede).

Esta tal relação é denominada de características de vazão da válvula e podemos por enquanto defini-la como uma relação entre a vazão que passa pela válvula e o afastamento do obturador relativo à sede. Este afastamento é uma fração de deslocamento linear do obturador entre as posições de abertura e fechamento total da válvula, deslocamento este, denominado de curso da válvula ou curso do obturador.

Não fosse o bastante isso, as partes internas tem que ainda proporcionar a necessária estanqueidade da válvula quando totalmente fechada.

O conjunto dos internos da válvula consiste das partes internas removíveis e que entram em contato com o fluido de processo. Tal conjunto é formado por: obturador, anel da sede, guia e gaiola (no caso das válvulas tipo gaiola), conforme vemos pela figura 13.

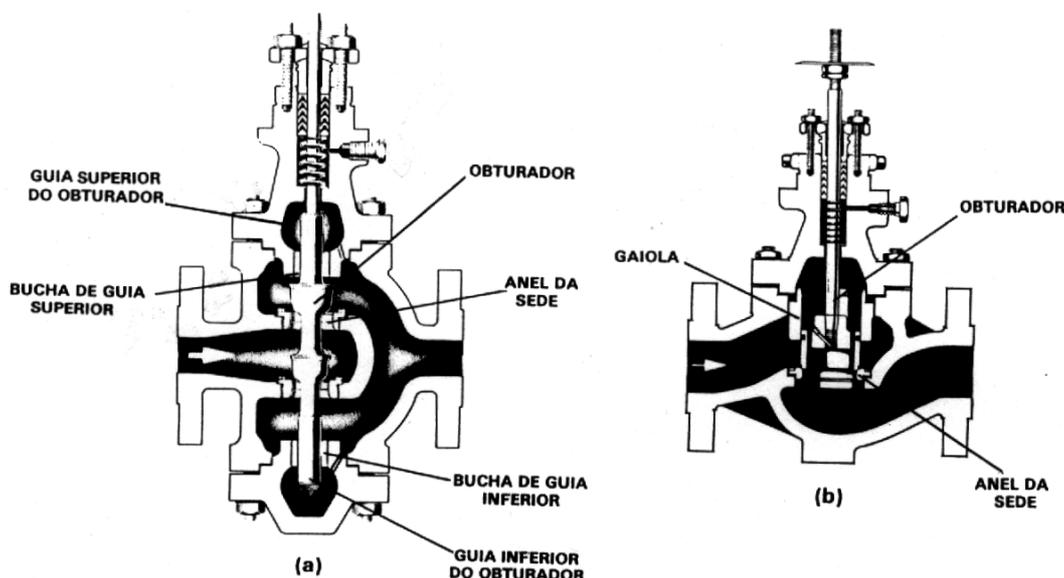


Fig. 13 - Internos da Válvula Globo: A) Convencional; B) Gaiola

3.3.7.1 - Internos da Válvula Globo Convencional

O obturador é o elemento vedante do conjunto dos internos da válvula (ver figura 14) com formato de disco ou de contorno caracterizado, que se move linearmente no interior do corpo, obstruindo o orifício de passagem, de modo a formar uma restrição variável ao fluxo.

Sua construção geométrica estabelece uma relação teórica entre o percentual de abertura da válvula e seu ganho de vazão, determinando o que chamamos de “característica de vazão”.

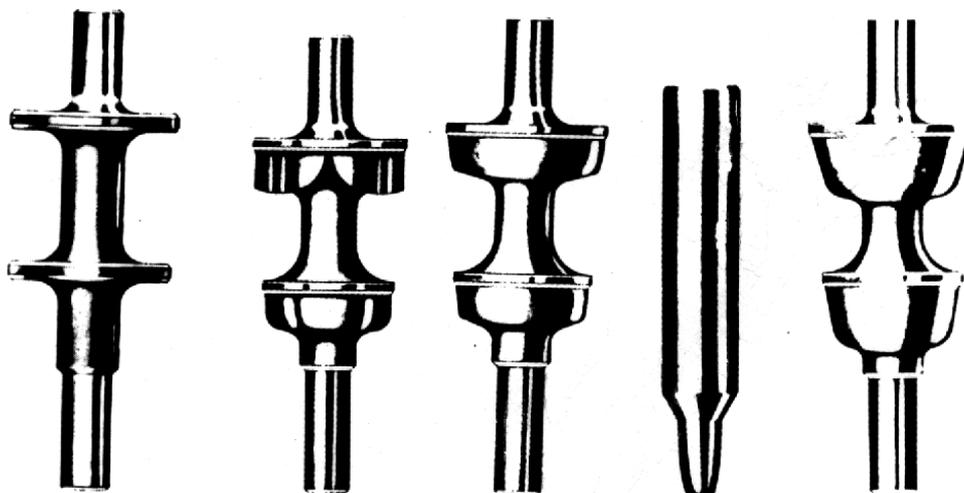


Figura 14 - Obturador da Válvula Globo Convencional

Existem como mais adiante veremos com maiores detalhes, quatro tipos básicos de características de vazão:

a) Linear; b) Igual Porcentagem; c) Parabólica Modificada e d) Abertura rápida. Na figura 15, temos um esquema do formato aproximado desses tipos de obturadores, assim como uma idéia gráfica da área de passagem do fluxo para cada tipo de característica de vazão em determinadas porcentagens do curso da válvula.

ABERTURA RÁPIDA	LINEAR	IGUAL PORCENTAGEM DE CONTOURNO	IGUAL PORCENTAGEM EM "V"
 30% ABERTO $C_v 62$	 $C_v 30$	 $C_v 8$	 $C_v 6$
 70% ABERTO $C_v 90$	 $C_v 70$	 $C_v 33$	 $C_v 30$
 100% ABERTO $C_v 100$	 $C_v 100$	 $C_v 100$	 $C_v 100$

Fig. 15 - Relação entre Formato do obturador, característica de Vazão e Capacidade de Vazão à Cursos Iguais.

O anel sede da válvula globo convencional é rosqueado, possuindo na sua borda superior, orelhas que facilitam a sua remoção. Em casos de fluidos com grandes diferenças de temperatura de serviço, o anel é soldado ao corpo para evitar o seu afrouxamento, visto que o mesmo em conjunto com o obturador determinam a característica de vazão da válvula.

Define-se como internos de capacidade reduzida, ao conjunto obturador e sede(s) de área de

passagem inferior à nominal para um dado diâmetro de válvula. A utilização dos internos de capacidade reduzida tem por objetivo:

- a) obter controle preciso a baixa vazão em processos sujeitos a preestabelecida expansão da sua capacidade, o que fará aumentar a vazão através da válvula em questão, quando o sistema operar à total capacidade.
- b) absorver as vibrações e energia térmica em corpos relativamente maiores, tendo um orifício de passagem do fluxo menor e maior guia do obturador, em relação à guia tida por uma válvula com capacidade nominal idêntica a capacidade reduzida. Isso ocorre em aplicações com líquidos sujeitos a “flashing”, alta velocidade do líquido, alta queda de pressão e/ou serviço cavitante. O maior volume tido pelo corpo a jusante do orifício em aplicações onde haja o problema da cavitação, que será definida mais adiante, permite que o orifício esteja algo mais afastado das paredes internas do corpo de forma que as bolhas tendam a implodir no meio do percurso ao invés de bem próximo à parede do corpo. Mantendo-se o mesmo diâmetro de guia do obturador, ele é mais rígido do que se fosse numa válvula de internos com capacidade integral.
- c) reduzir a velocidade de saída de fluidos compressíveis (gases e vapores), para níveis subsônicos no interior do corpo da válvula a jusante do orifício.
- d) evitar o uso de reduções na tubulação.

A maioria dos fabricantes oferecem internos com redução da capacidade padronizada à 40% da capacidade nominal ou integral, contudo, em válvulas guiadas superiormente como o caso da *micro-fluxo*, são disponíveis diversas reduções.

3.3.7.2 - Internos da Válvula Tipo Gaiola

A válvula com internos tipo gaiola, teve seu início de utilização por volta de 1940 em aplicações de alta pressão como no caso do produção de óleo e gás, alimentação de água de caldeira etc.

Os internos tipo gaiola, conforme o desenho que hoje conhecemos, foram produzidos por volta de 1963 e rapidamente alcançaram uma boa parte do mercado.

Partindo da premissa que a válvula globo convencional tem sido indiscutivelmente a válvula mais completa durante muitos anos, é correto considerarmos que a válvula globo tipo gaiola seja de alguma forma mais completa que a convencional, pois trata-se de uma adaptação desenvolvida para satisfazer algumas aplicações que por ventura a globo convencional não realiza com o desempenho desejado.

Estando nos internos a única diferença entre as válvulas globo convencional e gaiola, vamos deter-nos um pouco mais neste tipo de internos.

O perfeito tipo do guia do obturador, em conjunto com a possibilidade de balanceamento das forças de fluido agindo sobre o obturador e uma distribuição uniforme do fluxo ao redor do obturador por meio do sistema do janelas, resulta nas quatro (4) principais vantagens, deste tipo de internos:

- a) Estabilidade de controle em qualquer pressão;
- b) Redução do esforço lateral e atrito;
- c) Possibilidade de estanqueidade de grandes vazões à altas pressões com atuadores normais;
- d) Maior vida útil do chanfro da sede.

O chanfro da sede é definido como sendo a área do anel da sede que encosta no obturador,

formando o assentamento deste na posição do fechamento. A vida do chanfro da sede é aumentada eliminando-se a vibração em baixos cursos e por uma maior distribuição uniforme do fluxo através do orifício do anel da sede, resultando em menor canalização do fluxo e desgaste por erosão.

O desenho de gaiola caracterizada reduz a erosão separando as áreas de assentamento e de restrição ou controle fazendo assim com que a sede não esteja numa zona de alta velocidade do fluido.

O funcionamento da restrição e modulação provida por este tipo de válvula, é mediante o sistema da gaiola (que é uma peça cilíndrica e oca), conforme vemos pela figura 16, em cujo interior desloca-se o obturador, como se fosse um pistão de cilindro. A gaiola possui um determinado número de passagens ou janelas, as quais distribuem uniformemente o fluxo ao redor do obturador e na maioria dos desenhos deste tipo de válvula, serve como guia do obturador. Tais janelas apresentam formatos caracterizados sendo elas, em conjunto com a posição relativa do obturador, que proporcionam a característica de vazão, ao invés de ser o formato do obturador como na globo convencional.

Os dois desenhos mais comuns de internos tipo gaiola são: *sede simples* e *balanceado*.

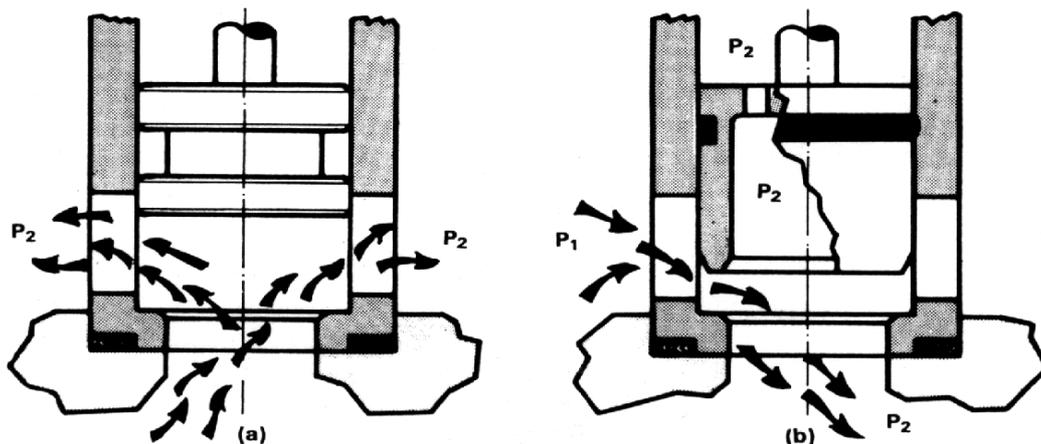


Fig. 16 - Princípio de Funcionamento da ação de Controle (Modulação e Vedação dos Internos Tipo Gaiola: (A) Sede Simples; (B) Balanceada.

a) Internos sede simples

Conforme vemos pela figura 16-a, utiliza uma como guia de obturador, enquanto que excelente distribuição do fluxo equilibra os esforços laterais sobre o obturador. A *característica de vazão* é dada pelo formato das janelas na gaiola, enquanto que o obturador não sendo caracterizado age como um pistão.

Uma sede tipo metal-metal é utilizada neste tipo de desenho de 0,01% da capacidade máxima da válvula, ou seja um índice de vazamento classe IV, conforme a especificação da ANSI B16.104.

Neste tipo de construção o sentido do fluxo é tal, que entra sempre por baixo do anel da sede, conforme podemos verificar pela figura 16-a.

b) Internos tipo balanceados

Conforme mostra a figura 16-b, apresentam um desenho tipo balanceado, em virtude do equilíbrio da força do fluido, a qual age sobre as duas extremidades do obturador, e em sentidos opostos. Obtemos desta forma, um equilíbrio de forças semelhantes ao proporcionado pela válvula globo convencional tipo sede dupla e portanto precisaremos de uma força de atuação menor, comparada a necessária para operar uma válvula globo tipo gaiola sede simples. Neste tipo de construção, pelo fato do sentido do fluxo ser por cima do anel sede, a vedação do obturador com a gaiola é feita por meio de anel de teflon grafitado, para utilização em temperaturas de -73° até $+232^{\circ}\text{C}$; ou por meio de anel de grafite, para utilizar em temperaturas de -255 à 593°C .

3.3.8 - Tipos de Guia do Obturador Válvula Globo

É através do sistema de guias que o obturador alinha-se em relação a sede, possibilitando assim um perfeito encaixe das superfícies de assentamento.

As guias devem resistir a todos os esforços laterais sobre o obturador, provenientes das forças exercidas pelo fluido de processo.

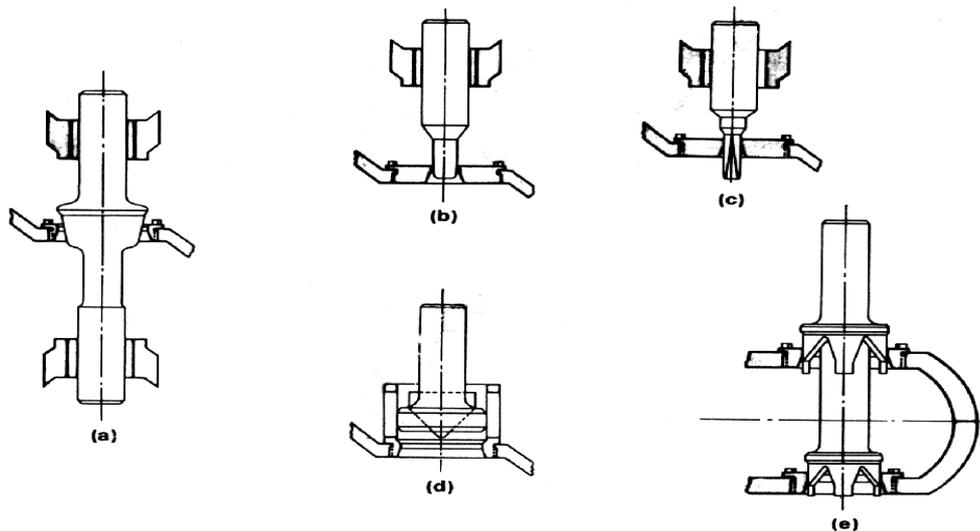


Fig. 17 - Tipos de Guia do Obturador na Válvula Globo.

São vários os tipos de guias do obturador utilizados:

- a) Guia superior: possui uma única bucha na qual guia o obturador é guiado pela parte superior, veja figura 17-b.

Normalmente utilizada em válvulas de pequeno diâmetro.

- b) Guia *superior* e inferior: é utilizada com obturadores tipo contorno ou passagem em "V" maciço, cujas extremidades são guiadas superior e inferiormente.

A sua utilização suporta maiores quedas de pressão que a guia apenas superior sendo recomendada para aplicações com quedas de pressão superiores à 7 kg/m^2 . Ver figura 17-a

- c) Guia na Sede: o obturador é guiado apenas na sede por meio da saia do obturador. É utilizada em válvulas com obturadores de passagem em "V" ocos e nas válvulas globo de 3 vias, para quedas de pressão abaixo de 7 kg/cm^2 . Este tipo de guia é mostrado na figura 17-c.
- d) Guia na gaiola: conforme vemos na figura 17-d, a gaiola é que guia o obturador. Este tipo de guia é recomendado para quedas de pressão de moderada a altas. Utilizada em toda a linha de válvula globo tipo gaiola.

Outros tipos secundários de guias são combinações dos quatro tipos principais dados acima como podemos notar pela figura 17-e, onde mostramos um obturador guiado na parte superior e na sede. Este tipo de construção é também utilizado nas válvulas tipo micro-fluxo.

3.3.9 - Castelo

O castelo, geralmente uma parte separada do corpo da válvula que pode ser removida para dar acesso as partes internas das válvulas, é definido como sendo "um conjunto *que* inclui, a parte através da qual uma haste do obturador de válvula move-se, e um meio para produzir selagem contra vazamento através da haste". Ele proporciona também um meio para montagem do atuador.

Sendo uma peça sujeita à pressão do fluido, tem de satisfazer aos mesmos requisitos de projeto que o corpo.

No próprio castelo dispõem-se os meios para prender o atuador, conter a caixa de gaxetas e poder ainda conter a bucha de guia superior para guiar o obturador como acontece no caso das válvulas globo convencionais, conforme podemos notar pela figura 18-a onde mostra-se um castelo tipo normal para utilização nas válvulas globo convencionais.

O castelo é portanto um subconjunto do corpo na maioria das válvulas de controle, embora existem tipos de válvulas como as rotativas (borboleta, esfera e excêntrica), e a bipartida nas quais o castelo é parte integral ao corpo, não constituindo-se portanto, de parte independente.

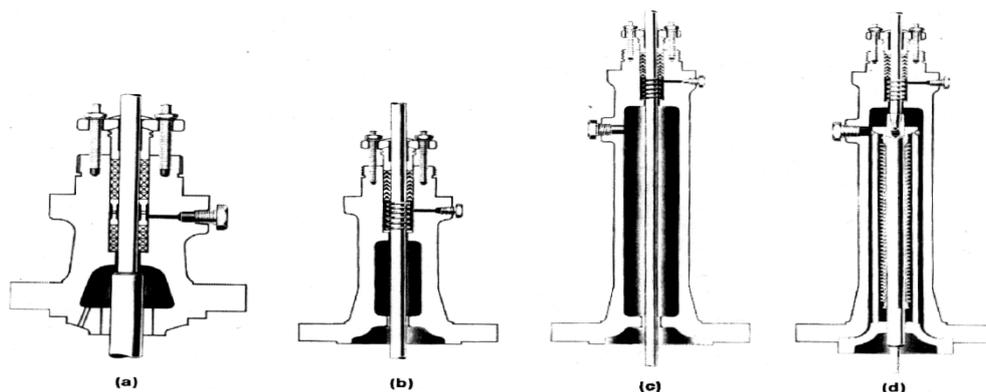


Fig. 18 - Tipos de castelos utilizados nas Válvulas Globo

Assim sendo, os exemplos de castelos que aqui serão dados servem apenas para aquelas válvulas nas quais o castelo é uma peça separada.

Tais tipos de válvulas das anteriormente citadas são: globo convencional sede simples e dupla, 3 vias, e globo tipo gaiola. Na válvula tipo diafragma a utilização do castelo é praticamente apenas um meio para fixar o atuador, não contendo a caixa de gaxetas, já que este tipo de válvula não requer por ser totalmente vedada a possibilidade do fluido penetrar no castelo, a menos que rompa o diafragma obturador. Apenas no caso da válvula ser utilizada em fluidos altamente corrosivos ou perigosos (tóxicos ou inflamáveis), é que recomenda-se a utilização de caixa de gaxetas, para proteção adicional caso o diafragma estoure.

Normalmente o castelo é preso ao corpo por meio de conexões flangeadas e para casos de válvulas globo de pequeno porte, convencionam-se a utilização de castelo roscado devido ao fator econômico, em aplicações de utilidades gerais como ar, água, etc., como é o caso das denominadas válvulas de controle globo miniaturadas.

3.3.9.1 - Tipos de Castelos

Os castelos classificam-se em:

- a) Castelo Normal (CE-1) Fig. 18-a.
- b) Castelo Longo (CE-2). Fig. 18-b.
- c) Castelo Extra-longo (CE-3). Fig. 18-c.
- d) Castelo com Fole de Selagem (CE-4). Fig. 18-d.

a) Castelo Normal

É o castelo padrão utilizado para as aplicações comuns nas quais a temperatura do fluido está entre -18 a 232°C. Esta limitação é imposta pelo material da gaxeta já que a sua localização está bem próxima do flange superior do corpo e portanto bem próxima do fluido.

b) Castelo longo

É semelhante ao anterior, a menos da sua altura que faz com que a caixa de gaxeta fique um pouco mais afastada do fluido.

Recomenda-se a utilização deste tipo de castelo para aplicações com fluidos em temperaturas de -45 à 540°C.

c) Castelo extra-longo

É fabricado de ferro fundido possuindo uma maior altura que o anterior.

É especificado para aplicações em baixíssimas temperaturas ou criogênicas como -100 à 45°C para evitar que o Teflon das gaxetas congele.

d) Castelo com fole de selagem

Este tipo de castelo é especificado em casos especiais nos quais seja proibitivo um vazamento para o meio ambiente através da gaxeta. Englobam-se neste tipo de aplicações especiais, os fluidos radioativos, tóxicos ou explosivos.

Este tipo de castelo possui no seu interior um fole metálico de aço inoxidável e soldado de modo a formar uma câmara de pressurização interna, entre a parte do fole e a superfície da haste. Evita-se assim, que o fluido (caso seja corrosivo) entre em contato com as paredes do castelo propriamente dito, podendo este ser construído de simples aço carbono.

O fluido no interior do fole produzirá uma segunda câmara de pressurização obtendo-se o fenômeno dos vasos comunicantes. O escoamento do fluido para o interior do fole cessa quando for atingida a equalização.

Entretanto, a utilização do fole de selagem requer maior força de operação por parte do atuador para vencer o efeito mola do fole. Em caso de necessidade podemos utilizar um manômetro conectado ao castelo para verificação de um possível vazamento devido à quebra do fole.

Este tipo tem uma limitação de operação de 28 kg/cm² a 232°C, embora podemos utilizá-lo para temperaturas superiores desde que, as pressões sejam inferiores e vice-versa.

3.3.10 - Conjunto Caixa de Gaxetas

O propósito do conjunto da caixa de gaxeta é o de proporcionar uma selagem contra vazamentos dos fluidos do processo.

Caso não haja boa selagem por meio do conjunto da caixa de gaxetas, haverá sempre um vazamento do fluido para o meio ambiente, sempre que a pressão do fluido seja superior à pressão atmosférica, ou uma entrada de ar, caso a válvula esteja trabalhando em pressões de vácuo.

O conjunto geral da caixa de gaxetas é formado conforme pode ser visto na figura 19; pelos seguintes componentes: flange do prensa gaxetas, prensa gaxeta, anéis da gaxeta, retentor de graxa, subconjunto de lubrificação, e mola de compressão (caso a gaxeta seja de anéis em "V" de Teflon). No caso de gaxeta em anéis quadrados, como os à base de amianto, a mola não é necessária, sendo a compressão feita pelo aperto do prensa gaxeta.

O sistema de lubrificação externa (utilizando caso o material da gaxeta necessite de lubrificação) tipo EH-1 especifica-se para válvulas de diâmetro até 4", enquanto que o EH-2 (figura 19-c) para diâmetros superiores. A válvula de bloqueio produz uma selagem entre a caixa de gaxeta e o lubrificador evitando assim que o fluido do processo impossibilite a introdução da graxa lubrificante.

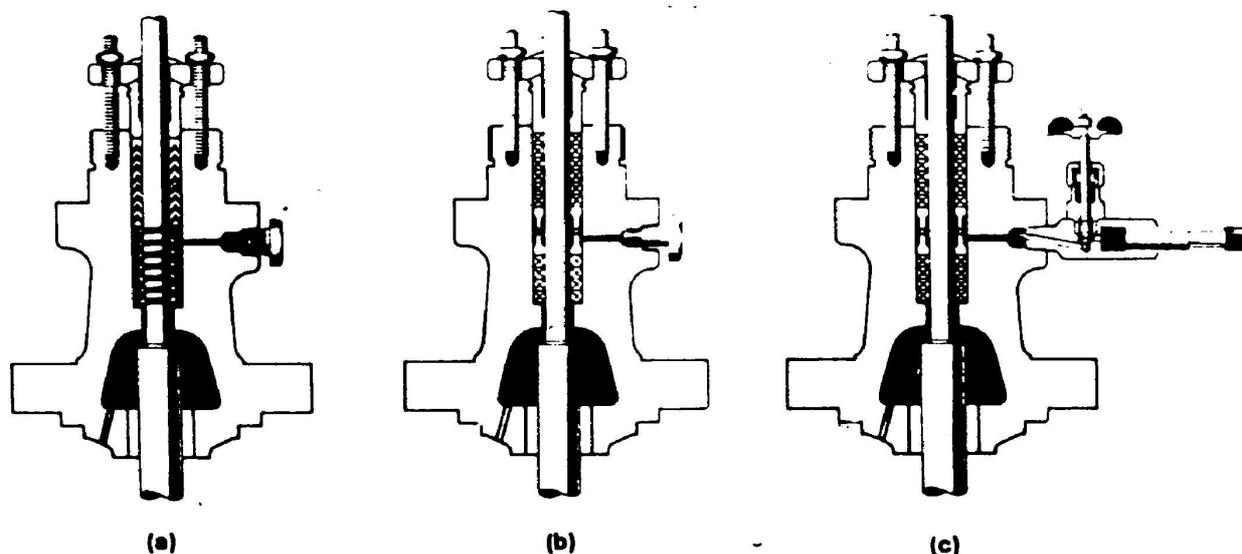


Fig.19 – Tipos de Caixas de Gaxetas Utilizadas nas Válvulas de Deslocamento Linear da Haste

3.3.10.1 - Gaxetas

As principais características do material utilizado para a gaxeta, devem ser elasticidade, para facilitar a deformação; produzir o mínimo atrito e deve ser de material adequado para resistir as condições de pressão, temperatura e corrosão do fluido de processo.

Os principais materiais de gaxeta são: Teflon e amianto impregnado.

a) Teflon (TFE)

É o material mais amplamente utilizado devido as suas notáveis características de mínimo coeficiente de atrito, e de ser praticamente inerte quimicamente a qualquer fluido. Devido as suas características, a gaxeta de Teflon não requer lubrificação externa e a sua principal limitação é a temperatura, conforme vemos pela tabela 1.

A gaxeta de Teflon é formada de anéis em “V” de Teflon sólido, e requer uma constante compressão para o seu posicionamento firme e compacto, provida por meio de uma mola de compressão.

b) Amianto Impregnado:

É ainda um material de gaxeta bastante popular devido as características do amianto adicionadas às de alguns aditivos e à facilidade de manutenção e operação. Não sendo auto-lubrificante, o amianto utiliza-se impregnado com aditivos tais como Teflon, mica, inonel, grafite, etc. Os limites de uso em função da temperatura e fluidos para este tipo de gaxeta são dados na tabela 1.

Esta gaxeta é do tipo quadrada e comprimida por meio do prensa gaxeta. Requer lubrificação externa, com exceção ao amianto impregnado com Teflon,

Recentemente surgiu um novo material de gaxeta denominado de Grafoil. Trata-se de material à base de grafite e comercializado em fitas flexíveis de vários tamanhos. É um material praticamente inerte quimicamente e suporta temperaturas altíssimas (o ponto de volatilização é

de 3650°C). Seu único inconveniente reside no fato de que produz um certo travamento da haste, já que por ser fita, ela deve ser enrolada ao redor da haste e socada para compactá-la formando diversos anéis.

TABELA 1 - Limite de Temperatura para os Diversos Materiais da Gaxeta, em Função do tipo de Castelo.

Material da Gaxeta	Serviço	Pressões	Lubrificação	Tipo de Castelo		
				Normal	Longo	Extra-longo
Teflon	Limitado àqueles fluidos não atacam o teflon e aço inox tipo 3/6 (material da mola da gaxeta).	Líquidos e Gases secos - 1500 psi Vapor - 250 psi	Não	-18 à 232°C	-45 à 430°C	-268 à 430°C
Amianto com Teflon	Todo excepto Alcalis quentes e Ácido hidrofúorídrico quente.	Líquidos e Gases secos 6500 psi Vapor 250 psi	opcional, porém recomendada	-18 à 232°C	-45 à 430°C	-268 à 430°C
Amianto grafitado com fios de Inconel	Vapor ou Petróleo	Qualquer fluido 6500 psi	Sim	-18 à 232°C	-45 à 540°C	-45 à 540°C

3.3.11 - Flange Inferior

Conforme mencionado anteriormente, as válvulas globo convencionais tipo sede dupla e sede simples, possuem corpo reversível e portanto os internos podem ser montados tanto por cima como por baixo.

Para tal ser possível o corpo deve possuir também um flange inferior conforme mostra a figura 20.

É no conjunto do flange inferior que encontramos a bucha inferior para guia do obturador e também caso necessário, uma conexão para drenagem. Uma vantagem que possibilita a utilização do flange inferior é a sua possibilidade de remover sedimentos, embora isso também possa ser realizado nos corpos fechados embaixo, utilizando-se uma conexão plugada.

Uma outra vantagem que a utilização de válvulas com flange inferior oferece é a possibilidade de limitarmos o curso mecanicamente por meio de um conjunto de parafuso e porca. Evitamos dessa forma que o obturador feche ou abra totalmente, dependendo de qual a posição de limite de segurança da válvula. Para produzirmos a devida selagem, utiliza-se um capuz roscado e com encosto por junta de vedação.

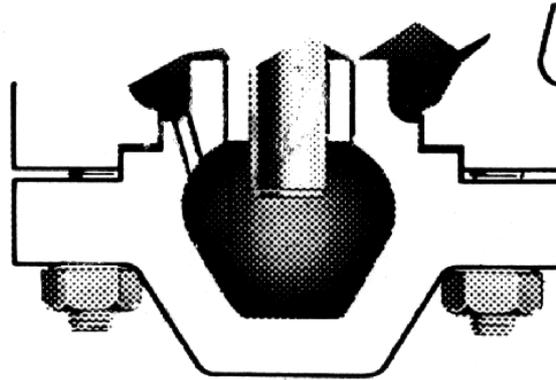


Fig. 20 - Conjunto do flange inferior das válvulas globo convencionais.

3.3.12 - Tipos de Conexões das Extremidades do Corpo da Válvula

As válvulas são presas à tubulação por meio do tipo de conexões localizadas nas extremidades do corpo das válvulas. Tais tipos podem ser: a) rosqueadas; b) flangeadas; c) sem flanges e d) soldadas.

As conexões das extremidades do corpo, tipo rosqueadas (Figura 21-a) são limitadas a utilização em apenas válvulas de pequeno porte (no máximo até 2" de diâmetro) e para serviços auxiliares não corrosivos em pressões de até 600 psi. O tipo de conexão rosqueada mais comumente utilizada é o normalizado pela ANSI B 2.1, também denominada de rosca N.P.T.

O tipo de conexão mais amplamente utilizado é sem dúvida alguma a flangeada, (Figura 21-b) que pode ser executada conforme as Normas ANSI, DIN ou ISO, embora prevaleça, aqui no Brasil, uma predominância quase que total dos flanges conforme Norma ANSI (Norma Americana).

Em função dos limites combinados de pressão e temperatura, doravante aqui denominados por apenas classe, as conexões flangeadas das extremidades da válvula podem ser classe 150, 300, 600, 900, 1500 e 2500 lbs. Entende-se por classe a pressão nominal admissível de trabalho (em psi), sem choques a uma determinada temperatura. Para as válvulas de aço carbono, essa temperatura é de 260°C para a classe 150 lbs e de 450°C para as demais classes. Para os flanges de aço liga de aço inoxidável essas temperaturas variam conforme o material, sendo mais altas do que as correspondentes para o aço carbono. A classe do flange é determinada pelo tipo de serviço requerido, material especificado, pressão e máxima temperatura do fluido.

Os vários tipos de conexões flangeadas apresentam diferentes tipos de acabamento das faces dos flanges, no intuito de possibilitar um melhor aperto entre o flange da válvula e o flange da tubulação, conforme aumenta a classe de pressão da válvula. Na figura 21-b vemos esquematicamente os vários tipos de faceamento das conexões flangeadas.

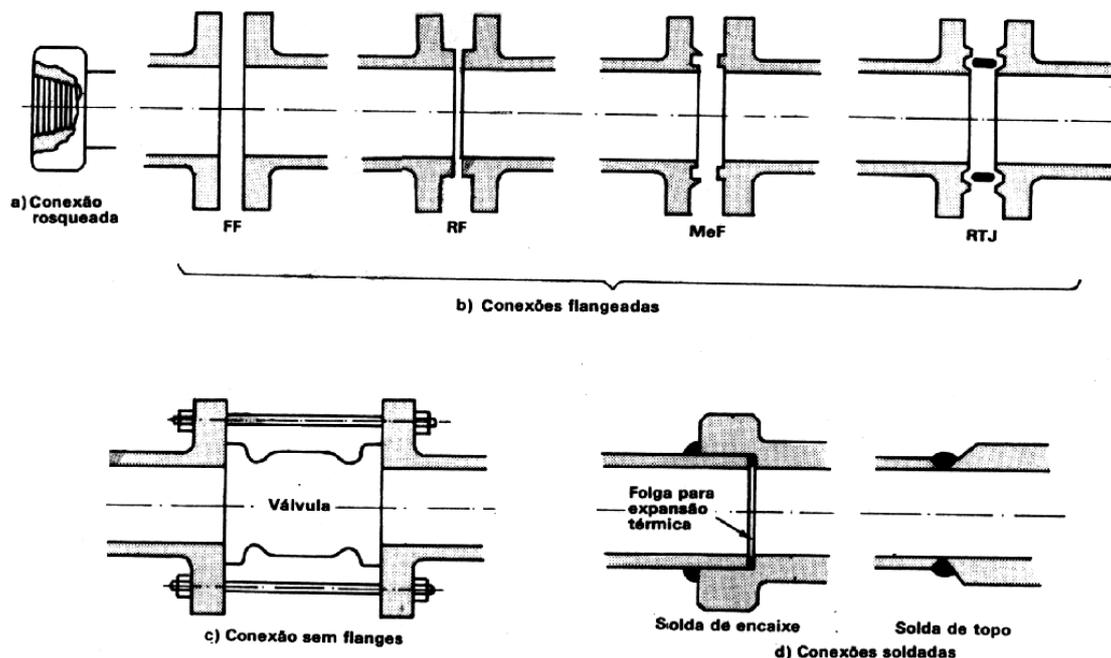


Fig. 21 - Tipos de conexões e de faceamentos das extremidades em válvulas de controle

Alguns tipos de válvulas de recente desenvolvimento tem apresentado um desenho de corpo *sem flange* no intuito de uma maior padronização e economia. Neste grupo de válvulas com corpo *sem flanges*, encontramos uma grande parte das válvulas tipo rotativas. A instalação destas válvulas dá-se entre o par de flanges da tubulação, conforme pela figura 21(c). Apresentam maior facilidade de instalação já que o alinhamento não é um fator tão crítico quanto no caso das válvulas com conexões flangeadas. Utiliza-se normalmente uma junta plana e os corpos não apresentam acabamento com ressalto. Em aplicações com fluidos à altas pressões, altas temperaturas ou grandes flutuações de temperatura recomenda-se a utilização de conexões das extremidades soldadas. Devem ser tomados os devidos cuidados de verificação se o material do corpo é compatível, para efeito de solda, com o material da tubulação. Existem dois tipos de conexões com extremidades soldadas: solda de encaixe e solda de topo.

Com solda de encaixe, figura 21(d) conforme Norma ANSI B16.11 são especificadas válvulas de até 2" de diâmetro, enquanto que para diâmetro superiores, normalmente, utiliza-se a solda de topo (figura 21(d)) conforme Norma ANSI B16.25.

A distância do face a face entre os flanges das válvulas com conexões flangeadas até classe 600 lbs inclusive é normalizada pela ISA RP 4.1, exceção feita às válvulas tipo Diafragma e angular. Na tabela 3.2 são dadas as medidas dessas distâncias do face a face conforme a norma da ISA RP 4.1.

Tabela 3.2 - Distância do Face a Face entre as flanges (ISA RP 4.1)

Diâmetro da Válvula (poleg.)	Distância do Face a Face (mm)		
	Classes 125 lbs (Ferro) 150 lbs (Aço)	Classes 250 lbs (Ferro) 300 lbs (Aço)	Classe 600 lbs (Aço)
1/2	–	190	203
3/4	–	194	206
1	184	197	210
1.1/2	222	235	251
2	254	267	286
2.1/2	276	292	311
3	298	317	337
4	352	368	394
6	450	473	508
8	542	568	610
10	673	708	752
12	736	774	820
14	889	927	972
16	1016	1057	1108

Tabela 3.2 - Distância do Face a Face entre as flanges (ISA RP 4.1)

As conexões flangeadas conforme Normas DIN (Norma Européia) e ISO (Norma Internacional) são também executadas embora a distância do face a face entre os flanges seja o dado para a Norma ANSI.

Devemos salientar e esclarecer a diferença existente entre as Normas ANSI e DIN. Enquanto que pela Norma ANSI, definimos através da classe uma pressão nominal de trabalho à uma elevada temperatura, a Norma DIN define uma pressão nominal de trabalho a temperatura ambiente. Em outras palavras, enquanto que pela Norma ANSI um flange classe 300 lbs em aço carbono ASTM A 216 Grau WCB está limitado a uma operação de 19,6 kg/cm² de pressão a temperatura de 450°C a 120°C, um flange DIN de classe "equivalente" ou seja DIN PN 16 limita uma pressão de trabalho de 16 kg/cm², à uma temperatura de até 120°C. Isso nos demonstra que na realidade não há equivalência entre as classes dos flanges conforme normas ANSI e DIN, pois podemos utilizar um flange classe 300 lbs (ANSI) em pressões de trabalho superiores a um flange DIN PN 16 que seria o seu "equivalente".

Corpos flangeados podem ser removidos facilmente da tubulação. O acabamento das faces é determinado pelo tipo de junta a ser utilizada. Um acabamento tipo face com ressalto com uma junta é o mais comum para aplicações com classes até 600 lbs ANSI.

3.3.13 - Juntas para Flanges

Em todas as conexões (extremidades do corpo caso forem flangeadas, flange do castelo e flange inferior se houver), existe sempre uma junta que é o elemento de vedação.

Quando em serviço, a junta está submetida a uma forte compressão provocada pelo aperto dos parafusos, e também a um esforço de cisalhamento devido a pressão interna da do fluido circulante.

O material da junta deve ser deformável e elástico, para compensar as possíveis irregularidades das faces dos flanges proporcionando uma vedação perfeita, e para suportar as variações de pressão e de temperatura. O material deverá resistir também as ações do fluido e as condições extremas de temperatura.

Em flanges de face com *ressalto* usam-se juntas em forma de coroa circular, cobrindo apenas o ressalto dos flanges, por dentro dos parafusos (figura 22-a). As juntas usadas com flanges de *face plana* cobrem a face completa dos flanges, inclusive a furação dos parafusos figura 22-b). Para os flanges de face para *junta de anel*, (RTJ), usam-se juntas de anel metálico maciço e para os flanges com faceamento tipo *macho e fêmea*, as juntas são em forma de coroa circular estreita.

Nas válvulas de controle tipo globo convencional, serie 900, tanto o flange do castelo quanto o flange inferior possui normalmente faceamento tipo macho e fêmea, enquanto que o faceamento dos flanges das extremidades do corpo pode ser plano, com ressalto, junta de anel ou macho e fêmea.

Na válvula globo tipo gaiola, utiliza-se no flange do castelo, junta tipo espiralada em aço inoxidável com enchimento de amianto ou Teflon. O posicionamento desta junta, é entre a gaiola e o flange do castelo, que sendo normalmente de materiais diferentes apresentam portanto diferentes coeficientes de dilatação térmica. A junta espiralada absorve tais dilatações.

São os seguintes os tipos usados de juntas para flanges:

a) Juntas não-metálicas (figuras 22 a e b) – são sempre juntas planas, usadas para flanges com faceamento plano, com ressalto, ou tipo macho e fêmea. As espessuras variam de 1/32" a 1/8" , sendo 1/16" a espessura utilizada para classes até 300 lbs. Os principais materiais utilizados são, papelão hidráulico para baixas pressões e temperatura ambiente, grafitado para aplicações de até 400°C e 48 kg/cm².

b) Juntas metálicas em espiral (figura 22-c) - juntas metálicas, normalmente em aço inoxidável, torcidas, em espiral e com enchimento de amianto ou Teflon, para serem utilizadas em aplicações com grandes variações de pressão e temperatura. Caso o enchimento seja de Teflon o uso deste tipo de junta é limitado a temperatura de no máximo 232°C, enquanto que as com amianto, até uma temperatura de aproximadamente 540°C.

c) Juntas Metálicas Folhadas (figura 22-d) – juntas metálicas, normalmente em aço inoxidável com formato corrugado e enchimento de amianto ou Teflon. Para utilização em

casos iguais à juntas metálicas em espiral.

d) Juntas metálicas maciças (figura 22-e) – são juntas metálicas com faces planas ou ranhuradas. Usam-se essas juntas com flanges de faceamento com ressalto (para pressões muito altas), e com flanges de faceamento tipo macho e fêmea. Os materiais normalmente são de aço inoxidável ou aço carbono, ou outros conforme a aplicação. Esta junta é aplicada em temperaturas superiores a 540°C.

e) Juntas metálicas de anel (figura 22-f e g) – são anéis metálicos e maciços de seção ovalada ou octogonal, sendo a ovalada a mais comum. As dimensões do anel são padronizadas pela ANSI B 16.20. Esses anéis são geralmente de aço inoxidável ou aço carbono ou outros conforme a aplicação. Este tipo de junta é apenas utilizada exclusivamente para os flanges de faceamento para junta de anel classes 900 e 1500 lbs.

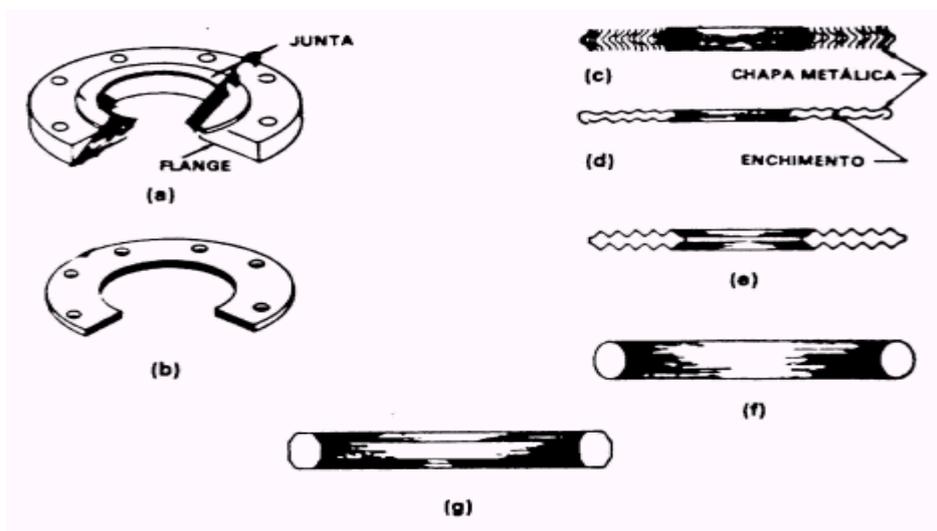


Fig. 22 – Tipos de Juntas para as Conexões Flangeadas

3.4 – VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO ROTATIVO DA HASTE

Nos últimos anos tem-se notado um substancial aumento no uso das válvulas denominadas de *rotativas*. Basicamente estes tipos de válvulas apresentam vantagens e desvantagens. Nas vantagens podemos considerar baixo peso em relação aos outros tipos de válvulas, desenho simples, capacidade relativa maior de fluxo, custo inicial mais baixo, etc. Dentre as desvantagens citamos a limitação em diâmetros inferiores a 1" ou 2" e quedas de pressão limitadas principalmente em grandes diâmetros e forte tendência a cavitação.

3.4.1 - Válvulas de Controle Tipo Borboleta

É talvez a mais comum das válvulas rotativas utilizadas para controle. A válvula borboleta,

conforme vemos pela figura 23, consiste de um corpo tipo anel circular, no interior do qual oscila entre dois mancais um disco que faz a função do obturador. A sede nesta válvula é a própria parede interna do corpo. Nota-se desde já uma enorme simplicidade de desenho. O seu corpo na maioria dos desenhos é sem flange ou como mais comumente conhecido tipo "wafer", com construção possível em diâmetros de 2" até 24". Para diâmetros superior, 30" até 60", o corpo possui flanges conforme a norma específica.

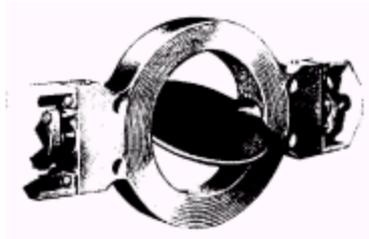


Fig. 23 – Válvula Tipo Borboleta

O desenho de corpo mais comum é o tipo "wafer", sendo preso à tubulação entre par de flanges conforme mostra a figura 24. Pelo fato do corpo não possuir flanges, não é costume especificar a válvula borboleta "wafer" pela classe de pressão conforme ANSI, como é feito nas válvulas flangeadas.

Convenciona-se especificar a válvula borboleta "wafer" para uma determinada queda máxima de pressão quando totalmente fechada e a 60° de abertura, posição esta definida como curso máximo para aplicações em controle modulado.

Quando adequadamente selecionada, a válvula borboleta geralmente em diâmetros de 4" e superiores, oferece a vantagem de simplicidade, baixo custo, pouco peso, menor espaço de instalação e razoável característica de vazão. Para temperaturas e pressões elevadas, a válvula borboleta com corpo internamente revestido oferece ainda uma vedação estanque.

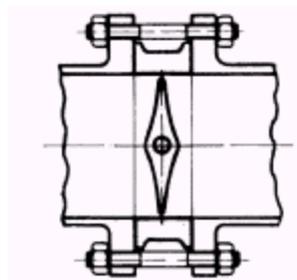


Fig. 24 - Montagem da Válvula Borboleta Tipo "Wafer".

Vamos, da mesma forma que fizemos na válvula globo, analisar o desempenho da força do fluido sobre o disco da válvula borboleta.

Quando a válvula esta fechada ou completamente aberta figura 25-a, as forças originarias da pressão do fluido são balanceadas em ambos os lados e portanto não há resultante de força *torsora* para nenhum lado.

Quando porem, a válvula esta parcialmente aberta como mostra a figura 25-b, não existe mais tal equilíbrio, surgindo uma força resultante, que tende fechar sempre a válvula, qualquer que seja a direção do fluido, fato pelo qual cria-se uma região de distribuição desigual de pressão através de toda a extensão do disco entre uma e outra borda no lado de entrada do fluxo.

Podemos notar pela figura 25-b, que a resultante das forças atuantes no semi-disco primeiro (vai desde a primeira borda até o centro do disco) é maior que a resultante das forças agindo no semi-disco segundo (vai do centro do disco até a segunda borda).

Essa desigualdade de força produz um momento torsor que tende fechar a válvula, e é esse momento torsor que limita a pressão diferencial de operação da válvula em diferentes graus de abertura, já que para cada ângulo de abertura teremos uma força torsora diferente e portanto um momento torsor diferente.

Do lado do disco à jusante temos a formação de forças que aumentam conforme a velocidade do fluxo.

Através do gráfico da figura 26, podemos ver o desempenho e gradiente do torque resultante agindo sobre o disco, em função do grau de abertura da válvula. Nota-se que o torque aumenta rapidamente a partir da abertura de 40° alcançando um máximo aproximadamente a 70° para depois cair abruptamente indo a zero para 90° de abertura.

Em função disso, aconselha-se restringir a utilização das válvulas borboleta para controle em cursos de 0 a 60° de abertura, isto é, proporcionar a máxima capacidade de fluxo a 60° de abertura. Desta forma podemos utilizar atuadores de tamanho normal.



Fig. 25 – Resistência ao fluxo, na válvula borboleta: (a) quando totalmente aberta; (b) Quando parcialmente aberta.



Fig. 26 – Gráfico do Torque VS abertura da válvula borboleta.

Possuindo um corpo cujo formato lhe possibilita a utilização de revestimento interno com elastômeros, a válvula borboleta encontra uma ampla faixa de aplicações, mesmo em fluidos corrosivos, tornando-se para tais aplicações uma solução bastante econômica.

Em função do tipo de assentamento podemos classificar as válvulas borboleta da seguinte forma:

- a) *Válvula borboleta com corpo revestido internamente. Assento tipo composto, ou seja metal-elastômero, conforme mostra a figura 27-a.*
- b) *Válvula borboleta com corpo sem revestimento. Assento tipo composto, conforme mostram as figuras 27-b e 27-c*
- c) *Válvula borboleta com corpo sem revestimento e assento tipo metal-metal: conforme mostra a figura 27-d*

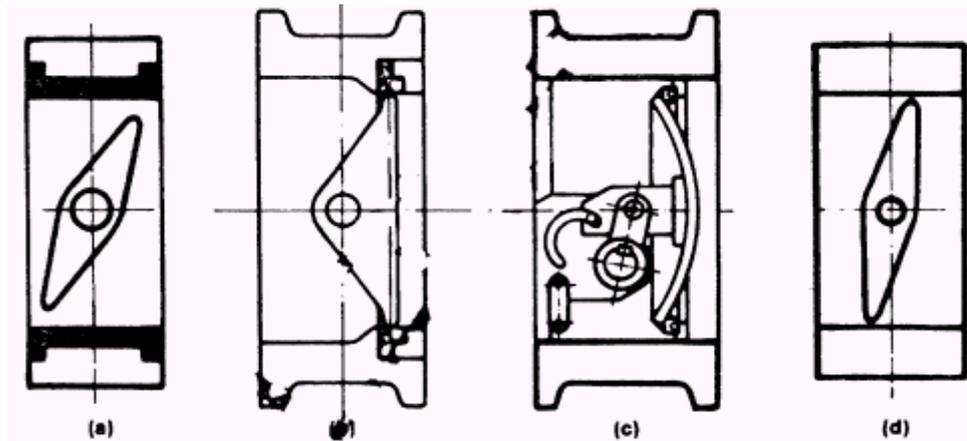


Fig. 27 – Tipos de Assentamento das Válvulas Borboleta

3.4.1.1 – Válvula borboleta com corpo revestido internamente

É utilizada em aplicações, onde a vedação estanque seja uma necessidade, ou ainda em aplicações com fluidos corrosivos, através da seleção de um elastômero quimicamente inerte ao fluido, evitando-se assim, o encarecimento da válvula. Na figura 28 vemos uma válvula desse tipo, enquanto que a figura 27-a mostra o seu assentamento. A sua construção é bastante simples, consistindo de um anel de borracha que forra internamente a parede do corpo e é facilmente removível. A utilização deste tipo de válvula, que pertence a categoria denominada *linha leve*, é limitada pela reduzida capacidade que tem de suportar a pressão diferencial (no máximo da ordem de 150 psi) e pela limitação do tipo de borracha em função da temperatura do fluido.

O disco neste tipo de válvula pode ser *convencional* (disco concêntrico) ou de *duplo efeito* (disco excêntrico), como podemos ver pela figura 29. O disco tipo de *duplo efeito* permite um maior aproveitamento do assento de borracha, prolongando assim a vida útil da válvula.

A válvula borboleta de corpo revestido, é fabricada em diâmetros de 2" até 24" com conexões sem flanges e apresenta uma capacidade de vedação estanque classe VI, conforme a Norma ANSI B16.104.



Fig. 28 – Válvula Borboleta com corpo revestido internamente.

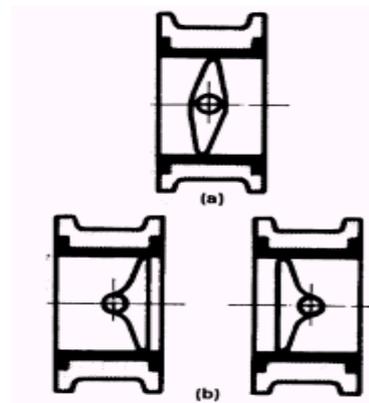


Fig. 29 – Tipos de disco (a) Convencional; (b) duplo efeito.

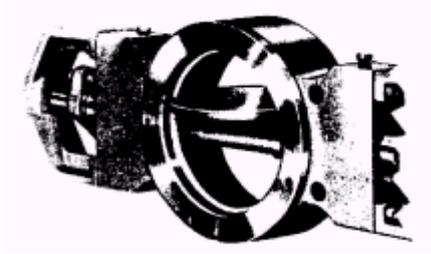


Fig. 30 – válvula borboleta com anel de TFE

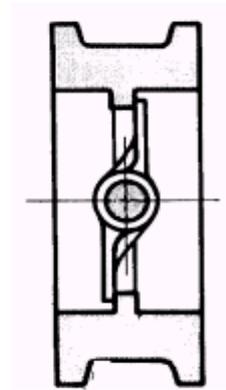


Fig. 31 – Válvula borboleta com assento de encosto.

3.4.1.2 – Válvula borboleta sem revestimento e com assento composto.

Trata-se de uma variante da construção anterior, basicamente utilizada em grandes diâmetros.

O anel de vedação de borracha, normalmente Buna N, é encaixado tanto no próprio corpo (figura 27-b) como na borda do disco (figura 27-c), dependendo do tipo de construção. Esta válvula é normalmente utilizada em aplicações com fluidos auxiliares e a baixa temperatura, tais como por exemplo água e ar.

É fabricada em diâmetros de 30 a 60" com extremidades flangeadas, conforme o disco é do tipo excêntrico.

3.4.1.3 – Válvula borboleta com assento metal-metal

É utilizada em aplicações onde a temperatura do fluido não permite o uso de elastômero para possibilitar a vedação.

Assim sendo, deve ser previsto um índice de vazamento, quando totalmente fechada, da ordem de 3 a 5% da máxima capacidade de vazão da válvula.

É fabricada em diâmetros de 2" a 24" com extremidades sem flanges, para ser instalada entre par de flanges 150 e 300 lbs, e de 30" a 60" com extremidades flangeadas conforme norma.

Na figura 32 vemos uma válvula borboleta com assento metal-metal.



Fig. 32 – Válvula Borboleta sede metal-metal

3.4.2 – Válvula Tipo Esfera.

Trata-se de um tipo de válvula cujo obturador é nada menos que uma esfera criteriosamente vazada para permitir passagem plena ou parcial de um determinado fluido.

Inicialmente essa válvula encontrava plena atuação em aplicações de bloqueio/shut-off, porém face alguma de suas vantagens e em função do desenvolvimento de desenhos de engenharia que permitiriam sua utilização em controle modulado, essa válvula é hoje bastante utilizada em malhas fechadas de controle, principalmente nas indústrias de papel e celulose e em aplicações para líquidos viscosos, corrosivos e com sólidos em suspensão.

Face ao seu sistema de assentamento com dupla sede, essa válvula alia o seu bom desempenho de controle com excelente performance quanto a estanqueidade (tipicamente classe IV) e possibilita obter controle do fluido em qualquer direção sem problemas dinâmicos. Como desvantagem, esse tipo de válvula, face características geométricas dos seus internos, apresenta uma alta tendência a cavitação e a atingir condições de fluxo crítico à relativas diferenciais de pressão menores que outros tipos de válvulas.

Também, em função de suas forças dinâmicas provenientes do fluido, ela trabalha com fluido sempre tendendo a fechar e por isso ela é uma válvula não balanceada.

A figura 33 a seguir nos mostra o desenho em corte, de uma válvula de controle tipo esfera.

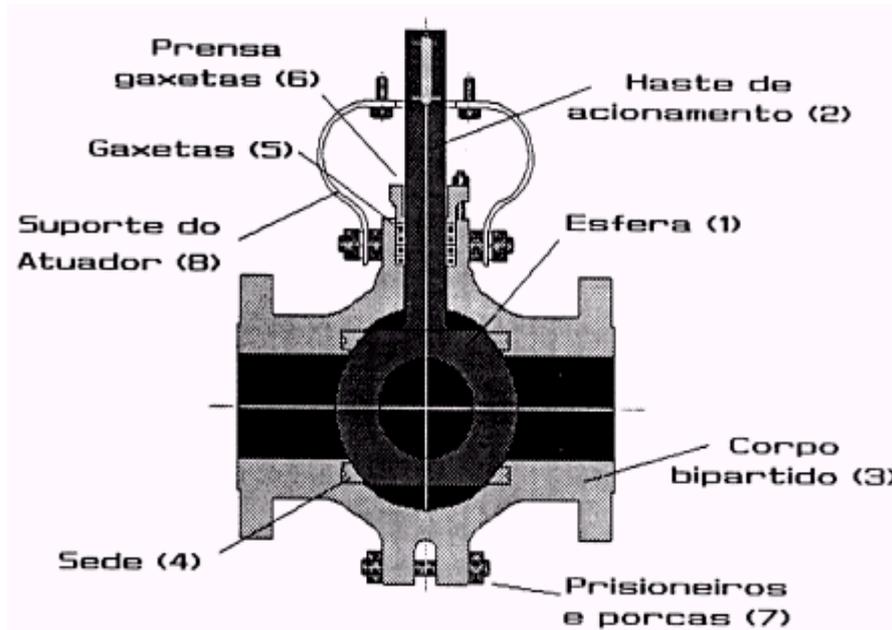


Fig. 33 – Válvula esfera

3.4.2.1 – Tipos de Esferas.

a) Esfera de passagem integral

Esse interno permite passagem total do fluido quando o ângulo de abertura for de 90° e assim elimina a possibilidade de acomodação de sólidos no interior do corpo da válvula. Essa é, portanto, uma válvula do tipo auto-limpante (vide figura 33-1).

b) Esfera de passagem reduzida

Esse interno permite uma redução na área de passagem do fluido em até 40% possibilitando, se necessário, uma redução da velocidade de saída, correção no ângulo de abertura da válvula e, absorção de vibrações e energia térmica em corpos de maior tamanho que ocorrem em serviços envolvendo “flashing”, alta velocidade, grandes quedas de pressão ou cavitação (vide figura 33-2).

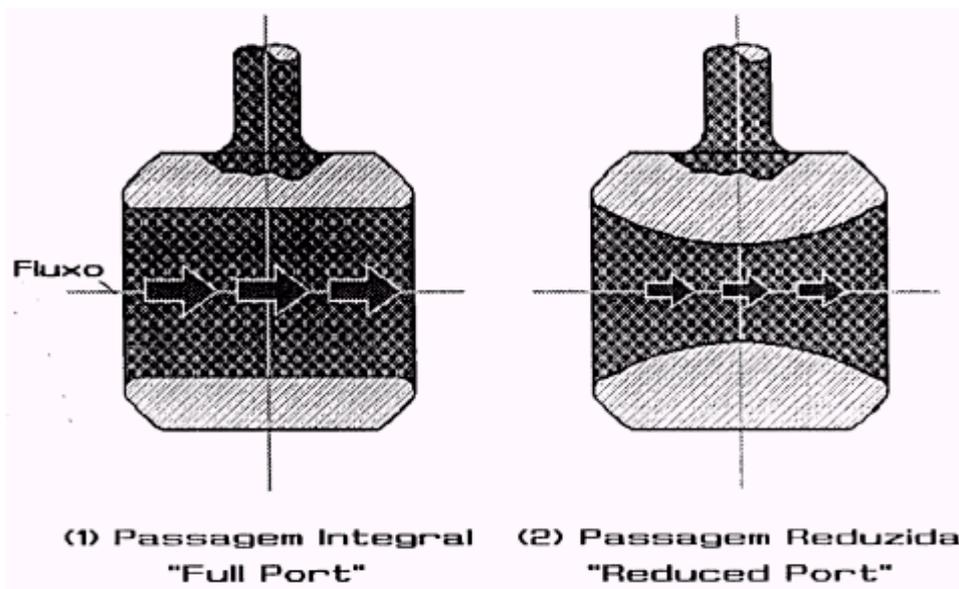


Fig.33.1 e 33.2 – Tipos de Esferas

3.4.2.2 – Tipos de Sede

A função básica da sede (vide fig.33-3) é manter uma boa vedação quando a esfera está fechada. Em diversos modelos de válvula esfera, a sede é utilizada também para suportar e guiar a esfera.

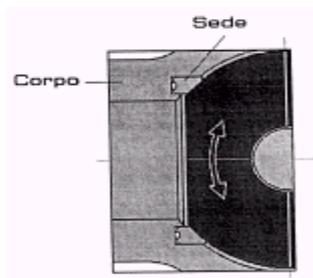


Fig. 33-3 – Sede de uma Válvula Esfera

Quanto ao material podemos classificá-las em dois tipos: resiliente e metálica.

a) Sede resiliente ou "Soft Seat"

- Fabricada com elastômeros e fluorcarbonos, em particular com teflon-PTFE, com ou sem carga.
- Vedação estanque.
- Indicadas para aplicações "On Off".
- Excelente resistência a fluidos corrosivos
- Limite de Temperatura: 230°C.

b) Sede Metálica ou "Metal Seat"

- É confeccionada em aço inoxidável com revestimento de "Stellite" (1), ou ainda em ligas especiais.
- Suporta temperatura acima de 230°.
- Indicada para aplicações de controle modulante.
- Suportam altos diferenciais de pressão.

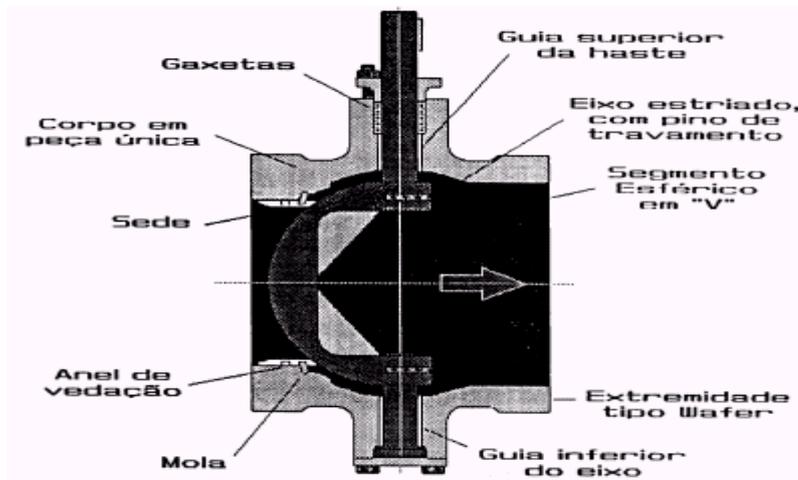
Nota (1): O “Stellite” é uma liga metálica a base de cromo, tungstênio e cobalto, com uma dureza superficial de 44 RC. Possui excelente resistência à corrosão e ótima resistência à erosão e abrasão. Foi desenvolvido nos EUA, sendo o nº 6 e nº 12 os mais utilizados em válvulas controle.

3.4.3 –Válvula Tipo Segmento de Esfera.

Embora esse tipo de válvula já venha sendo utilizada em controle a alguns anos, em outros países, somente agora começa encontrar espaço em aplicações de controle nas indústrias brasileiras.

Seu interno possui detalhe em “V” o que garante alta precisão de controle mesmo em baixas vazões e deste modo oferece uma rangeabilidade de até 350:1. Possui uma única sede a montante que mantém contato permanente com o segmento de esfera e desse modo elimina qualquer incrustação na superfície da esfera, e, como a válvula esfera é também do tipo auto-limpante .

Outra grande vantagem dessa válvula está na sua montagem que é feita de tal forma que o segmento é fixado por dois mancais que garante baixo torque de acionamento e conseqüentemente, melhor resposta à oscilação da variável do processo. Sua característica inerente, assim como as válvulas esferas é sempre do tipo igual porcentagem.



A figura 34 nos mostra o desenho, em corte, de uma válvula tipo segmento de esfera.

Fig. 34 – Válvula Tipo Segmento de Esfera

4) MATERIAIS PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

4.1) INTRODUÇÃO

A seleção do adequado material para construção de uma válvula é um fator de fundamental importância. A sua escolha depende das propriedades e características do fluido em processo: pressão, temperatura, corrosividade e erosividade.

Cabe, sem dúvida alguma, ao usuário conhecer perfeitamente as características dos fluidos de sua planta industrial, quanto aos efeitos corrosivos e erosivos. A escolha do material da válvula é uma responsabilidade do usuário, podendo este ser suportado tecnicamente pelo fabricante da válvula.

4.2) MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO CORPO

A seleção do material para o corpo da válvula, ou mais propriamente, para as partes da válvula que contém a pressão do fluido, depende das seguintes condições do fluido: pressão, temperatura, corrosão e erosão.

4.2.1) REQUISITOS QUANTO A PRESSÃO E TEMPERATURA DO FLUIDO

As classes de pressão e temperatura para as partes que estão sob pressão foram estabelecidas pelo ANSI (American National Standards Institute), para os materiais comumente utilizados.

Os materiais recomendados, quanto aos requisitos físicos e químicos são dados pelas Normas da ASTM (American Society for Testing and Materials)

Na figura 1 do Apêndice B, tabelamos os principais tipos de materiais para uso em corpos fundidos e sua respectiva designação da ASTM, assim como, seus limites mínimos e máximos de temperatura.

As diversas classes de pressão para os materiais fundidos, mais comumente utilizados em válvulas, são definidas pela Norma ANSI B-16, conforme gráficos das figuras 4 a 8 do Apêndice B.

A figura 2 do Apêndice B, mostra a tabela para a adequada seleção dos materiais dos prisioneiros e porcas em função do material utilizado no corpo da válvula.

4.2.2) REQUISITOS QUANTO A RESISTÊNCIA À CORROSÃO

É costume utilizar como guia de orientação, as diversas tabelas publicadas em compêndios técnicos, quanto a capacidade de resistência à corrosão dos diversos materiais. Toda orientação neste sentido não deve ser considerada como definitiva, já que é praticamente impossível, catalogar com absoluta certeza as inúmeras aplicações, face às variações que a pressão, temperatura e concentração, exercem sobre a característica corrosiva do fluido.

Apresentamos no Apêndice B, tabelas contendo materiais resistentes a corrosão para uso em válvulas de controle e gaxetas.

4.2.3) REQUISITOS QUANTO A RESISTÊNCIA À EROSÃO

Define-se como erosão aos danos provocados pelo choque de partículas, provenientes do fluido, em alta velocidade sobre as superfícies do material. Na prática, as principais ocorrências de erosão em válvula de controle, acontecem em aplicações com fluidos tipo lamacentos ("slurries"), líquidos com arraste de sólidos e líquidos sob "flashing".

A seleção dos materiais, para as partes estão submetidas a uma determinada pressão, é bastante limitada. No geral adota-se a utilização de um tipo de válvula que permita um revestimento interno, como por exemplo: válvula borboleta.

Nos casos de flashing, o aumento de vida útil, na prática, é conseguido através da utilização de materiais com ligas de cromo, como por exemplo: ASTM A 217 Grau C5 ou ASTM A 351 Grau CF 8M.

4.3) MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE INTERNOS

As partes interna que incluem obturador, anel da sede, gaiola, haste do obturador, buchas de guia e partes da caixa de gaxetas, apresentam uma maior variedade de possibilidades técnicas e econômicas de materiais para construção. A seleção dos materiais para internos, é geralmente definida levando em consideração os seguintes parâmetros: corrosividade, erosão e temperatura do fluido.

Na figura 3 do Apêndice B, mostramos os principais materiais utilizados na fabricação dos internos, assim como as suas propriedades e limitações.

Na figura 10 do Apêndice B, mostramos os elastômeros mais utilizados nas partes internas de uma válvula.

4.3.1) REQUISITOS QUANTO A RESISTÊNCIA À CORROSÃO

Conforme já mencionado anteriormente, é costume utilizar como guia de orientação, as diversas tabelas publicadas em compêndios técnicos, quanto a capacidade de resistência à corrosão dos diversos materiais. Toda orientação neste sentido não deve ser considerada como definitiva, já que é praticamente impossível, catalogar com absoluta certeza as inúmeras aplicações, face às variações que a pressão, temperatura e concentração, exercem sobre a característica corrosiva do fluido.

Apresentamos no Apêndice B, tabelas contendo materiais resistentes a corrosão para uso em válvulas de controle.

4.3.2) REQUISITOS QUANTO A RESISTÊNCIA À EROSÃO

O obturador e o anel da sede, são sem dúvida alguma, os componentes da válvula mais susceptíveis a danos por erosão.

Numa válvula de controle podemos ter diversos tipos de erosão em função de sua causa.

Assim sendo, podemos ter a erosão-abrasiva, a erosão-cavitativa, a erosão-corrosiva e a erosão por choque do fluxo à alta velocidade. Todos esses tipos de erosão são prejudiciais à vida útil dos internos, além de poderem prejudicar o desempenho da característica de vazão e o requisito de estanqueidade da válvula quando fechada.

Qualquer que seja o tipo de erosão na válvula, a especificação de internos endurecidos, ou então fabricados com materiais mais duros que o aço inoxidável 316, é a solução recomendada.

Como exemplo, a seguir mostraremos na figura 35 os tipos de revestimentos com Stellite a que pode ser submetido um obturador de uma válvula globo convencional:

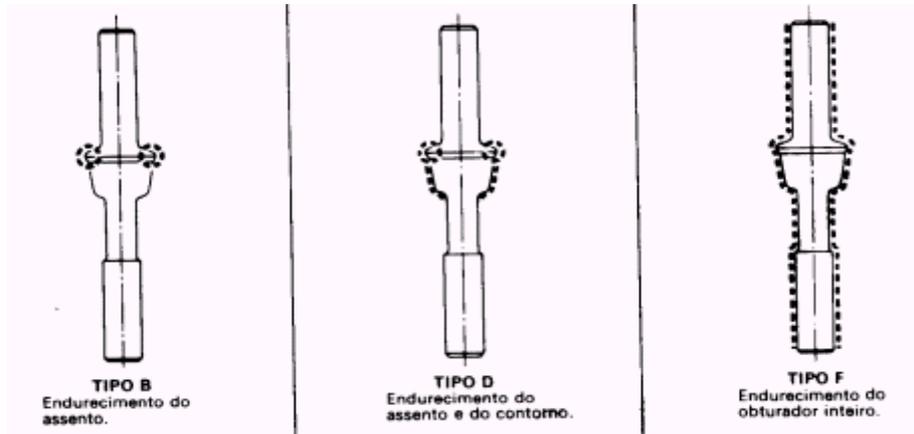


Fig.35 – Tipos de Revestimentos do Obturador com Stellite

Mostramos a seguir os materiais, normalmente, utilizados na fabricação de internos, agrupados em ordem crescente de resistência à erosão:

Bronze
Alloy 20
Hastelloy B e C
Aço Inox Tipo 316
Aço Inox Tipo 304
Monel Tipo K
Aço Inox Tipo 17-4 PH
Inconel
Aço Inox Tipo 304 e 316 com revestimento de stellite
Aço Inox Tipo 440C
Cerâmica.

5) CLASSE DE VEDAÇÃO DE UMA VÁLVULA

Define-se como classe de vedação, classe de vazamento ou classe de estanqueidade (Shutoff Class) de uma válvula, como sendo o máximo vazamento permissível que escoa através da válvula quando esta se encontra na posição fechada.

Nas tabelas 3 e 4 a seguir mostraremos a classificação de fluxos de vazamentos permissíveis determinados pela Norma ANSI-B16-104:

CLASSE DE VEDAÇÃO	DEFINIÇÃO DO FLUXO DE VAZAMENTO	TIPOS DE VÁLVULAS
Classe I	Qualquer válvula pertencente as classes II, III ou IV, porém mediante acordo entre fabricante e usuário	Válvulas listadas nas classes II, III e IV
Classe II	Vazamento de até 0,5% da máxima capacidade da válvula	Válvulas globo sede dupla Válvulas globo gaiola balanceadas com anel de selagem. Superfície de assentamento metal-metal
Classe III	Vazamento de até 0,1% da máxima capacidade da válvula	Válvulas listadas como pertencentes à classe II, porém possuindo uma maior força de assentamento
Classe IV	Vazamento de até 0,01% da máxima capacidade da válvula	Válvulas globo sede simples com assentamento metal-metal Válvulas globo sede simples balanceadas com anéis de vedação especiais
Classe V	Vazamento de até 0,0005 cm ³ por minuto de água por polegada de diâmetro do orifício, por psi de pressão diferencial	Válvulas listadas na classe IV, porém utilizadas com atuadores superdimensionados para aumentar a força de assentamento
Classe VI	Vazamento conforme listados na tabela abaixo	Válvulas globo com assentamento composto ("soft-seat") Válvulas borboletas revestidas com elastômeros, ou com anéis de vedação Válvulas esfera com anéis de TFE Válvula Diafragma Válvula de obturador excêntrico com assentamento composto

Tabela 3 – Classes de Vedação de uma Válvula

VAZAMENTOS PERMISSÍVEIS NAS VÁLVULAS CLASSE VI

DIÂMETRO NOMINAL DO ORIFÍCIO DE PASSAGEM POLEGADAS	VAZAMENTO MÁXIMO PERMISSÍVEL	
	cm ³ /minuto	bolhas/minuto
1	0,15	1
1. ½	0,30	2
2	0,45	3
2. ½	0,60	4
3	0,90	6
4	1,70	11
6	4,00	27
8	6,75	45

Tabela 4 – Vazamentos Permissíveis em uma Válvula Classe VI

6 – CARACTERÍSTICA DE VAZÃO DE VÁLVULAS DE CONTROLE

6.1 – INTRODUÇÃO.

A escolha de adequada característica de vazão de uma válvula de controle, em função da sua aplicação em um determinado processo, continua sendo um assunto não somente bastante complexo, como principalmente muito controvertido. Os problemas a serem resolvidos são realmente complexos, começando pelo próprio dilema de qual deve ser a fração da queda de pressão total do sistema que deve ser absorvida pela válvula de controle. E ainda, face às interferências instaladas no sistema, como a própria tubulação, desvio, reduções, equipamentos, malha de controle, etc.

Objetivo, neste capítulo, é o de definir diversos parâmetros principais, explicar as suas diferenças e dar algumas regras práticas que possam auxiliar na escolha da correta característica de vazão de uma válvula de controle.

Antes de iniciarmos, porém, devemos salientar que a seleção da característica de vazão de uma válvula não é um problema apenas relativo à válvula mas também ao sistema de controle completo e instalação.

6.2- CARACTERÍSTICA DE VAZÃO.

Como já visto, o deslocamento do obturador de uma válvula em relação à sede, produz uma área de passagem que possui uma relação característica entre a fração do curso da haste e a correspondente vazão que escoar através do orifício de passagem. A essa relação denominou-se “característica de vazão da válvula”. Essa característica, teórica, é obtida sob condição de pressão diferencial constante, o que na prática não ocorre e faz com que a vazão real seja diferente pois ela depende do valor da pressão diferencial. Para diferenciar o resultado teórico do prático classificou-se em duas características de vazão que são:

6.2.1 - Característica inerente ou intrínseca

É definida como sendo a relação existente entre a vazão que escoar através de uma válvula e a correspondente variação percentual do curso, quando é mantido constante a pressão diferencial através da válvula. Ela é constatada através de teste em laboratório especial e representada através de gráficos específicos. Sua obtenção é conseguida pela caracterização geométrica do obturador da válvula ou pelo formato da janela da gaiola e pode ser do tipo abertura rápida, linear, igual porcentagem ou parabólica modificada.

6.2.2 - Característica de vazão efetiva ou instalada

É definida como sendo a característica real de vazão que a válvula oferece quando instalado no processo e portanto sujeita às condições reais de operação onde a pressão diferencial não é mantida constante.

6.3 – CURVAS CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO INERENTE.

6.3.1 – Abertura rápida

Trata-se de uma característica que produz uma máxima variação da vazão através da válvula com o mínimo curso. Este tipo de válvula possibilita a passagem de quase que a totalidade da vazão nominal com apenas uma abertura de 25% do curso total.

Uma válvula tipo abertura rápida produz um ganho muito alto com pequenas aberturas e um ganho muito baixo em abertura acima de 80%, deste modo ela é recomendada apenas em aplicações que admite controle "on-off".

Na figura 36 pode-se analisar o comportamento da válvula e conseqüentemente da variável manipulada quando se utiliza internos do tipo abertura rápida.

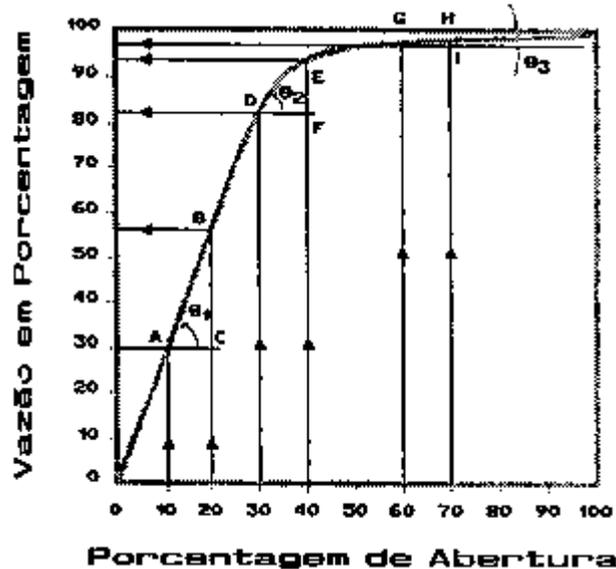


Fig. 36 - Curva característica de vazão tipo abertura rápida

6.3.2 – Linear

É a característica pela qual iguais incrementos de curso determinam iguais variações de vazão. Assim, a vazão varia do valor mínimo ao máximo de forma proporcional à posição da haste da válvula e portanto sua forma gráfica é de uma reta de declive unitário e constante em qualquer ponto do seu curso, produzindo um ganho constante.

Sob o ponto de vista teórico, é a melhor curva para controle modulado, porém na prática é muito provável que seu comportamento linear não seja mantido e por isso seu uso é restrito.

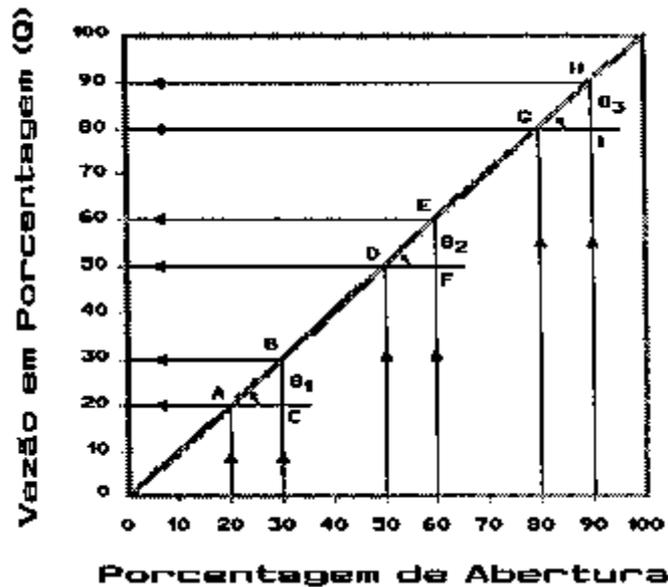


Fig. 37 - Característica de vazão inerente tipo linear

6.3.3 – Igual porcentagem.

Este tipo de válvula se caracteriza pelo fato de que acréscimos iguais no curso da haste produzem porcentagens iguais ao acréscimo em relação à vazão do momento. Em número, uma variação de 10% de abertura, entre 50 a 60% do máximo, varia a vazão de 14 a 21% da vazão máxima. Os mesmos 10% de abertura, na mesma válvula entre 80 a 90% da varia a vazão de 46 a 69%. Matematicamente podemos expressar esta característica através da seguinte equação:

$$Q = Q_0 e^{Kx}$$

Onde:

Q_0 = vazão inicial

$$k = \frac{\log R}{x \text{ máx}}$$

x = curso

$$R = \text{Rangeabilidade} = \frac{Q \text{ máx}}{Q \text{ mín}}$$

Esta característica de vazão pode ser analisada através da figura 38, onde fica constatado que a mesma não começa no ponto de vazão igual a zero. Esta curva se caracteriza por apresentar baixo ganho de vazão no início da abertura e um aumento progressivo do mesmo na medida que a abertura aumenta.

Essa curva característica foi introduzida para compensar o ganho de sistemas não lineares, porém após sua introdução constatou-se sua eficácia na compensação de variações da queda de pressão que ocorrem nas válvulas de controle instalada.

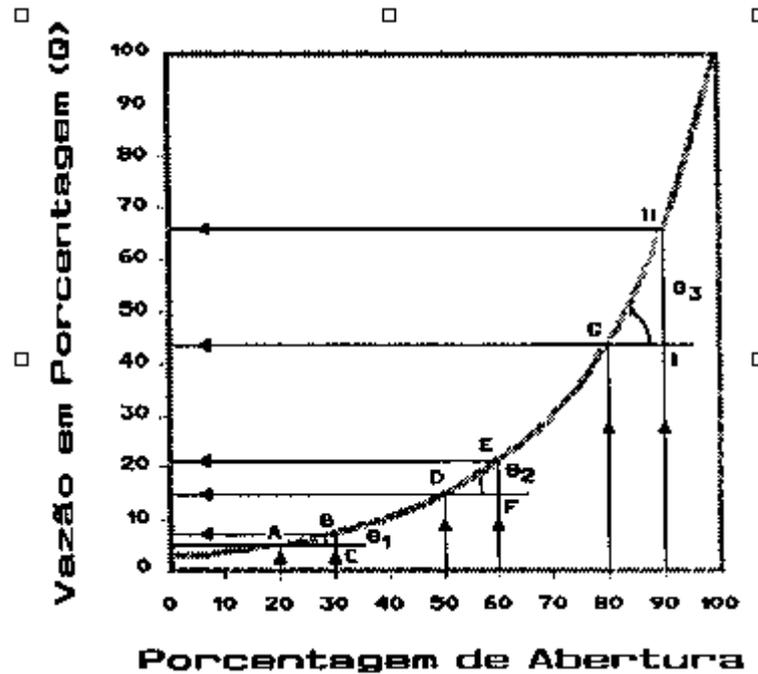


Fig. 38 - Característica de vazão inerente, tipo igual porcentagem.

6.3.4 – Parabólica modificada.

Trata-se de uma característica de vazão intermediária entre a linear e a igual porcentagem, conforme podemos constatar pelo gráfico de figura 39.

Não possui uma definição exata, como as características anteriores, pelo fato de ser uma característica modificada.

Apresenta um ganho crescente ao longo de toda abertura, porém com uma variação menor do que da curva igual porcentagem

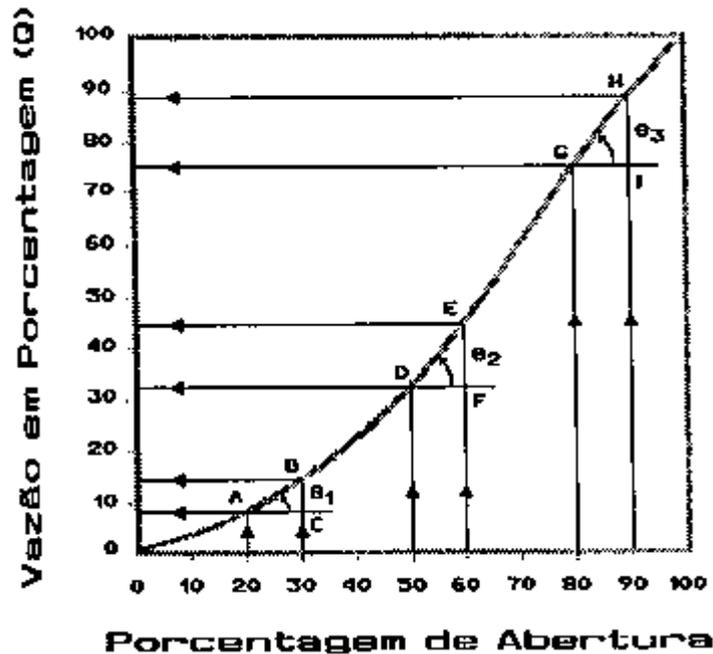


Fig. 39 - Característica de vazão inerente tipo parabólica modificada.

6.4 - CARACTERÍSTICA DE VAZÃO INSTALADA.

Instalada a válvula de controle no processo, a sua característica de vazão inerente sofre profundas alterações. O grau de alterações depende do processo em função do tipo de instalação, resistências relativas ao fluido, etc. Nessa situação, a característica de vazão inerente passa a denominar-se de característica de vazão instalada.

Vamos, com auxílio do sistema dado na figura 40, apresentar algumas significantes alterações que as características de vazão inerente sofrem. No gráfico da figura 41, vemos a distribuição das perdas de pressão do sistema e a correspondente pressão diferencial destinada a ser absorvida pela válvula.

Dependendo da relação, P_r , entre a queda da pressão através da válvula e a queda de pressão total do sistema, a característica de vazão instalada pode alterar-se consideravelmente e, o que é mais interessante, é que se a característica de vazão inerente for linear, esta tende a abertura rápida conforme a relação P_r , diminua, enquanto que as características inerentes igual porcentagem e parabólica modificada, tendem a linear conforme podemos acompanhar pelas figuras 41.1, 41.2 e 41.3:

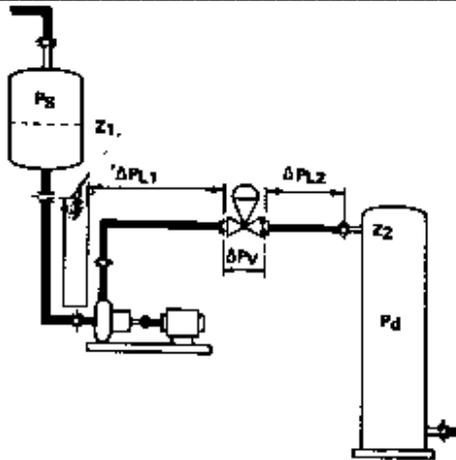


Fig. 40 – Sistema de Bombeamento utilizado para o estudo da características de vazão instalada.

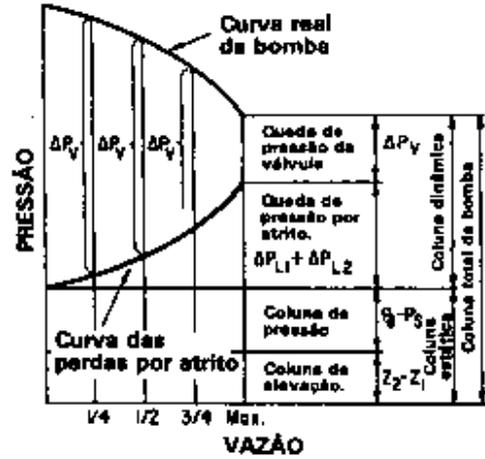


Fig. 41 – Distribuição das perdas de pressão

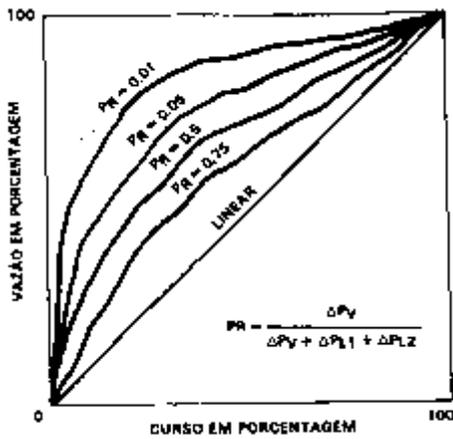


Fig. 41.1 – Característica de Vazão Instalada, utilizando-se

utilizando-se de uma característica de vazão inerente tipo linear, no sistema de controle dado na fig.41 na

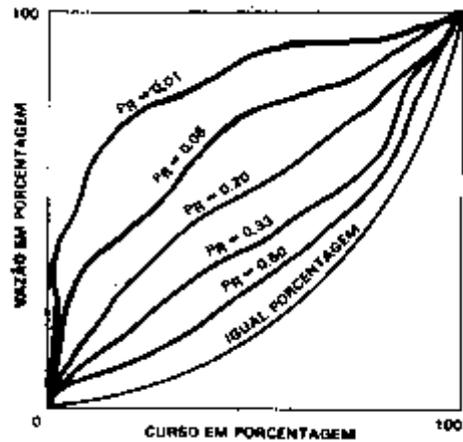


Fig. 41.2 – Característica de Vazão Instalada,

de uma característica de vazão inerente porcentagem, no sistema de controle dado fig.41

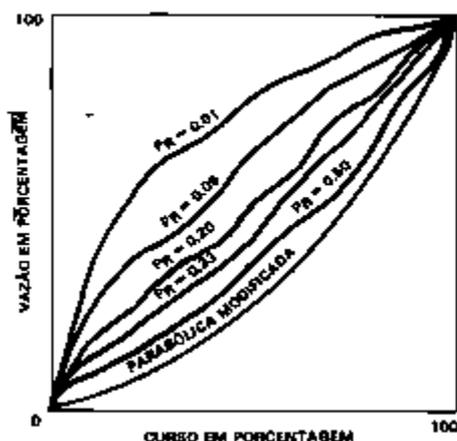


Fig. 41.3 – Característica de Vazão Instalada, utilizando-se de uma característica de vazão inerente tipo parabólica, no sistema de controle dado na fig.41

Embora, para podermos afirmar categoricamente qual a melhor característica de vazão instalada devemos realizar um levantamento completo das perdas de pressão do sistema, pode-se concluir que, do fato da característica de vazão instalada tipo linear ser a melhor solução para a estabilidade do processo, na maioria dos casos a melhor escolha seria uma característica de vazão inerente tipo igual porcentagem ou a do tipo parabólica modificada, pois apresentam uma tendência, uma vez instaladas, para linearização como podemos acompanhar pelos gráficos das figuras. Isto ocorre, convém lembrar, sempre que não seja a válvula de controle que absorve a maior parte da queda de pressão dos sistema. Vemos portanto que o quanto da queda de pressão disponível pelo sistema é absorvida pela válvula, é um fator importantíssimo para a característica de vazão instalada e portanto para o sucesso do controle.

6.5 – COMO SELECIONAR A CARACTERÍSTICA DE VAZÃO

Face a todo o exposto, podemos ter agora uma idéia, pelo menos da complexidade do assunto e da existência de diversas experiências, das quais foram obtidos dados práticos de muita importância.

Para estabelecer-se de forma correta a adequada característica de vazão, na realidade há possibilidade de uma análise dinâmica do sistema, verificando-se a queda de pressão real a ser absorvida pela válvula, fato esse que somente pode ser obtido por meio do levantamento das curvas da bomba e das perdas localizadas.

Na tabela 5 a seguir são mostradas de forma resumida, algumas regras práticas que eventualmente podem auxiliar na seleção da adequada característica de vazão. Tais regras devem apenas serem utilizadas com devidas precauções, já que como dissemos anteriormente, apenas uma análise dinâmica do sistema é que pode de forma correta nos indicar qual a característica de vazão recomendada para termos um sistema de controle estável.

A experiência e inúmeras análises realizadas nos mostram que é melhor, em casos de dúvidas, escolhermos a característica igual porcentagem ou a parabólica modificada.

Utilizando-se de uma característica de vazão linear onde por exemplo, uma igual porcentagem seria bem melhor, geralmente nos conduz a um sistema instável. Contudo, a recíproca raramente produz instabilidade no sistema.

GUIA PRÁTICO PARA A SELEÇÃO DA CARACTERÍSTICA DE VAZÃO		
VARIÁVEL DO PROCESSO A SER CONTROLADA	CONDIÇÕES DO PROCESSO	CARACTERÍSTICA DE VAZÃO A SER UTILIZADA
Nível Líquido	Queda de pressão constante	Linear
	Diminuindo a queda de pressão com o aumento de vazão: se a queda de pressão à vazão máxima for maior que 20% da queda de pressão à vazão mínima	Linear
	Diminuindo a queda de pressão com o aumento de vazão: se a queda de pressão à vazão máxima for menor que 20% da queda de pressão à vazão mínima	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	Aumentando a queda de pressão com o aumento de vazão: se a queda de pressão à vazão máxima for maior que 200% da queda de pressão à vazão mínima	Linear
Pressão	Aumentando a queda de pressão com o aumento de vazão: se a queda de pressão à vazão máxima for menor que 200% da queda de pressão à vazão mínima	Abertura Rápida
	Líquido	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	Gases. Sistemas rápidos: volume pequeno, trecho de menos de 3 metros de tubulação à jusante da válvula de controle	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	Gases. Sistemas lentos: volume grande (o processo possui um receptor, sistema de distribuição ou linha de transmissão excedendo à 30 metros de tubulação à jusante). Diminuindo a queda de pressão com o aumento de vazão: se a queda de pressão à vazão máxima for maior que 20% da queda de pressão à vazão mínima	Linear
	Gases. Sistemas lentos: volume grande Diminuindo a queda de pressão com o aumento de vazão: se a queda de pressão à vazão máxima for menor que 20% da queda de pressão à vazão mínima	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada

VARIÁVEL DO PROCESSO A SER CONTROLADA	CONDIÇÕES DO PROCESSO	CARACTERÍSTICA DE VAZÃO A SER UTILIZADA
Vazão	Sinal do elemento primário de medição proporcional ao fluxo. Grandes variações de fluxo	Linear
	a) Elemento primário instalado em série com a válvula de controle	Linear
	b) Elemento primário instalado no contorno da válvula de controle	Linear
	Pequenas variações ao fluxo, porém grandes variações da queda de pressão com o aumento da vazão.	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	a) Elemento primário instalado em série com a válvula de controle	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	b) Elemento primário instalado no contorno da válvula de controle	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
Vazão	Sinal do elemento primário de medição proporcional ao quadrado do fluxo. Grandes variações de fluxo	Linear
	a) Elemento primário instalado em série com a válvula de controle	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	b) Elemento primário instalado no contorno da válvula de controle	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	Pequenas variações de fluxo, porém grandes variações de queda de pressão com o aumento da vazão	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	a) Elemento primário instalado em série com a válvula de controle	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada
	b) Elemento primário instalado no contorno da válvula de controle	Igual Porcentagem/ Parabólica Modificada

Tabela 5 – Guia Prático para Seleção da Característica de Vazão de uma Válvula

7) DIMENSIONAMENTO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

7.1) INTRODUÇÃO

Neste capítulo abordaremos os dois principais cálculos utilizados no dimensionamento de uma válvula de controle: **Cálculo do Coeficiente de Vazão (Cv)** e **Cálculo do Nível de Ruído**.

Normalmente as informações necessárias para o correto dimensionamento de uma válvula de controle podem ser agrupadas nos seguintes itens:

a) Dados quanto ao Fluxo

- a.1) Vazão (máxima, normal e mínima)
- a.2) Pressão à montante (P₁) e à jusante (P₂) para vazão máxima, normal e mínima.

b) Dados quanto ao fluido

- b.1) Identificação do fluido;
- b.2) Estado do fluido (líquido, gasoso, mistura de fases)
- b.3) Densidade, peso específico ou peso molecular
- b.4) Temperatura do fluido
- b.5) Viscosidade (para líquidos)
- b.6) Pressão de vaporização (para líquidos)

- c) Dados quanto a influência da tubulação
c.1) Existência ou não de reduções ou outros dispositivos causadores de turbulência junto a válvula

7.2) CÁLCULO DO COEFICIENTE DE VAZÃO (C_v) DE UMA VÁLVULA

Define-se o coeficiente de vazão (C_v) de uma válvula como sendo o “número de galões de água em condições normais, que passam por um minuto, através da válvula mantendo-se uma queda de pressão de 1 psi”.

Este coeficiente obtido experimentalmente, embora seja definido em função da capacidade de água, também é utilizado para definir a capacidade de fluidos compreensíveis, tais como vapores e gases.

Basicamente, o cálculo do diâmetro de uma válvula de controle, consiste em utilizar a equação adequada, calcular o coeficiente de vazão (C_v calculado) e através das tabelas publicadas, escolher um C_v (C_v nominal) de valor sempre maior que o obtido via cálculo, e verificar então o diâmetro da válvula correspondente ao C_v escolhido.

A apresentação das equações para cálculo do coeficiente de vazão (C_v) divide-se em dois grupos conforme o tipo de fluido: **fluidos incompressíveis ou fluidos compressíveis**

7.2.1) FÓRMULA GERAL PARA FLUIDOS INCOMPRESSÍVEIS

A vazão de um fluido incompressível escoando através de uma válvula de controle pode ser calculado mediante a seguinte equação geral:

$$Q = N_1 \cdot F_P \cdot F_Y \cdot F_R \cdot C_V \cdot \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G}}$$

Caso a vazão seja fornecida em unidade de massa no caso de misturas de líquido-gás e líquido-vapor, utilizaremos a seguinte equação:

$$W = N_6 \cdot F_P \cdot F_Y \cdot F_R \cdot C_V \cdot \sqrt{\Delta P \cdot \gamma}$$

Onde:

Q = Vazão do fluido em GPM ou m³/h

W = Vazão do fluido em Kg/h ou Lb/h

N₁ e **N₆** = Constantes numéricas que dependem das unidades de medidas utilizadas, conforme figura 42:

N	Q	W	P	T	d, D	Υ	γ
N ₁ = 1 N ₁ = 0,865	GPM M ³ /h	- -	psia bars(abs)	- -	- -	- -	- -
N ₂ = 890 N ₂ = 0,00214	- -	- -	- -	- -	poleg mm	- -	- -
N ₃ = 1 N ₃ = 645	- -	- -	- -	- -	poleg mm	- -	- -
N ₄ = 17.300 N ₄ = 76.200	GPM m ³ / h	- -	- -	- -	poleg mm	- -	centitokes centitokes
N ₅ = 1000 N ₅ = 0,00241	- -	- -	- -	- -	poleg mm	- -	- -
N ₆ = 63,3 N ₆ = 27,3	- -	lb/h Kg/h	psia bar(abs)	- -	- -	lb/pé ³ Kg/m ³	- -
N ₇ = 1360 N ₇ = 417	SCFH Nm ³ /h	- -	psia bar(abs)	R K	- -	- -	- -
N ₈ = 19,3 N ₈ = 94,8	- -	lb/h Kg/h	psia bar(abs)	R K	- -	- -	- -
N ₉ = 7320 N ₉ = 2240	SCFH Nm ³ /h	- -	psia bar(abs)	R K	- -	- -	- -

Fig.42 – Valores de Constantes Numéricas

F_P = Fator de geometria da tubulação adjacente, visto que na maioria das aplicações o diâmetro da válvula é menor que o diâmetro da tubulação, conforme mostra a figura a seguir:

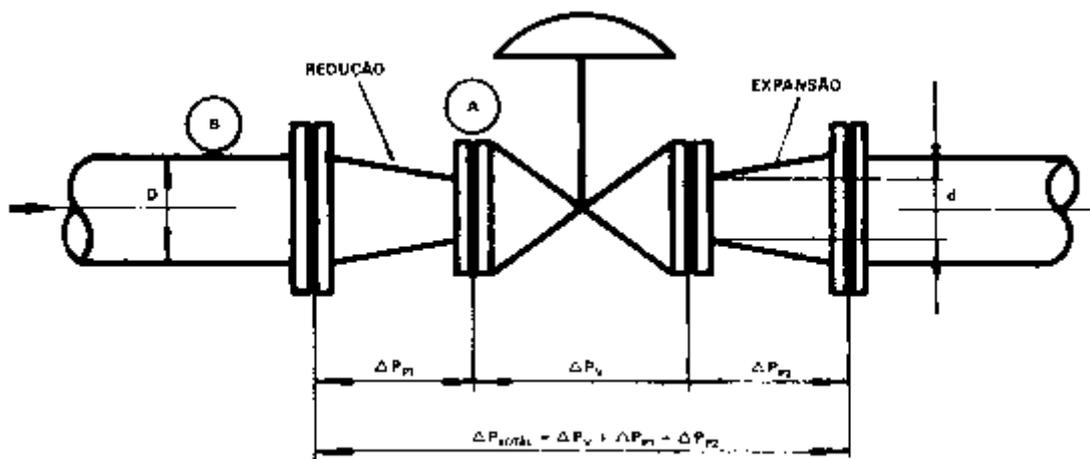


Fig.43 – Esquema de montagem de uma válvula de controle numa tubulação de diâmetro maior.

Normalmente este fator é obtido através da seguinte equação:

$$F_P = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum K}{N_2} \cdot \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2}}$$

O termo $\sum K$ representa a soma algébrica dos coeficientes de resistência de pressão dinâmica (velocidade) introduzidos pelas reduções e/ou expansões, e pode ser calculado através das seguintes equações:

$$\sum K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2}$$

Alguma simplificação pode ser introduzida para determinação dos coeficientes K e portanto, também, do fator de correção F_P , caso o cone de redução de entrada e o cone de expansão de saída forem do mesmo diâmetro, o que é bastante comum principalmente em fluidos incompressíveis.

Nesse caso $K_{B1} = K_{B2}$, e portanto anulam-se na equação. Caso contrário, eles devem ser calculados pela seguinte equação:

$$K_B = 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4$$

Para o cálculo dos coeficientes K_1 e K_2 , sendo do mesmo diâmetro, utilizaremos a seguinte equação:

$$K_1 + K_2 = 1,5 \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

Se tivermos apenas um cone de redução na entrada, teremos:

$$K_1 = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

E se tivermos apenas um cone de expansão na saída, teremos:

$$K_2 = 1 \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

Para maior simplificação operacional, a tabela a seguir fornece valores já calculados do fator de correção F_P , caso ambos os cones (de entrada e de saída) sejam do mesmo diâmetro:

N ₂ C ₂ d ²	10					15					20				25				30							
	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,40	0,50	0,60	0,70	0,20	0,30	0,40	0,50	0,15	0,20	0,25					
X _T	X _{TP}					F _P					X _{TP}				F _P				X _{TP}			F _P				
0,0	0,40	0,49	0,59	0,69	0,78	0,99	0,40	0,49	0,58	0,67	0,75	0,98	0,39	0,48	0,58	0,64	0,98	0,21	0,30	0,39	0,47	0,94	0,17	0,21	0,26	0,31
0,75	0,40	0,50	0,59	0,69	0,78	0,98	0,40	0,49	0,58	0,67	0,75	0,97	0,40	0,49	0,57	0,65	0,94	0,22	0,31	0,40	0,48	0,91	0,18	0,23	0,27	0,33
0,87	0,40	0,50	0,60	0,69	0,78	0,98	0,41	0,50	0,59	0,68	0,76	0,95	0,42	0,51	0,59	0,67	0,91	0,24	0,33	0,43	0,51	0,87	0,19	0,25	0,30	0,36
0,80	0,41	0,51	0,60	0,70	0,79	0,97	0,42	0,52	0,61	0,69	0,78	0,93	0,43	0,53	0,61	0,69	0,89	0,25	0,36	0,45	0,54	0,84	0,21	0,27	0,32	0,39
0,50	0,41	0,52	0,61	0,71	0,80	0,96	0,44	0,53	0,63	0,71	0,79	0,91	0,48	0,55	0,64	0,72	0,85	0,28	0,39	0,49	0,58	0,79	0,24	0,30	0,38	0,45
0,40	0,42	0,52	0,62	0,71	0,80	0,95	0,44	0,55	0,65	0,74	0,82	0,89	0,49	0,58	0,67	0,75	0,82	0,30	0,42	0,53	0,62	0,76	0,26	0,33	0,40	0,47
0,00	0,43	0,53	0,62	0,72	0,81	0,94	0,46	0,56	0,66	0,75	0,83	0,88	0,50	0,60	0,69	0,78	0,81	0,31	0,4	0,55	0,64	0,74	0,27	0,34	0,40	0,49
0,25	0,44	0,53	0,63	0,73	0,83	0,93	0,48	0,58	0,67	0,76	0,85	0,87	0,52	0,62	0,71	0,79	0,79	0,33	0,46	0,57	0,67	0,72	0,27	0,37	0,44	0,55

NOTA: Os valores calculados e dados na tabela acima, são para válvulas instaladas entre cones curtos de redução, assumindo-se que ambos os cones sejam da mesma lamina

Fig.44 – Valores calculados de FP e XTP

A não utilização da correção produzida pelo efeito da geometria da tubulação adjacente, nos casos de válvulas globo, não produz erros significantes nos cálculos de vazão. Entretanto teremos erros substanciais se não utilizarmos este fator nos cálculos de válvulas de alta recuperação de pressão, como é o caso das válvulas borboletas e esfera.

F_Y = Fator de Correção devido ao Fluxo Crítico, este fator estabelece o efeito das várias geometrias do corpo da válvula e as propriedades do fluido sob condições de fluxo bloqueado. E é definido como sendo a relação entre a pressão diferencial máxima e efetiva na produção de vazão para efeito de dimensionamento e a pressão diferencial real através da válvula requerida assumida pelo processo, assumindo fluxo incompressível e não vaporizante

:

$$F_Y = F_L \sqrt{\frac{P_1 - F_P \cdot P_V}{\Delta P}}$$

Onde:

F_L = Fator de Recuperação de Pressão do Líquido

$$F_L = \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1 - P_{VC}}}$$

Quando o diâmetro da linha é maior que o diâmetro da válvula a ser instalada, deveremos agrupar os fatores **F_L** e **F_P** num único fator **F_{LP}**, cujo valor pode ser obtido através da seguinte equação:

$$F_L \cdot F_P = F_{LP} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{F_L^2} + \frac{K_i \cdot (C_v/d^2)^2}{N_2}}}$$

Onde:

$$K_i = K_1 + K_{B1}$$

F_F = Fator da Razão de Pressão Crítica do Líquido

$$F_F = \frac{P_{vc}}{P_v} \quad \text{ou} \quad F_F = 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{P_v}{P_c}}$$

Onde:

P_{vc} = Pressão na veia mínima (vena contracta) em condições de fluxo crítico

P_v = Pressão de vaporização

P_c = Pressão crítica

Este fator **F_F** pode ser obtido diretamente do seguinte gráfico:

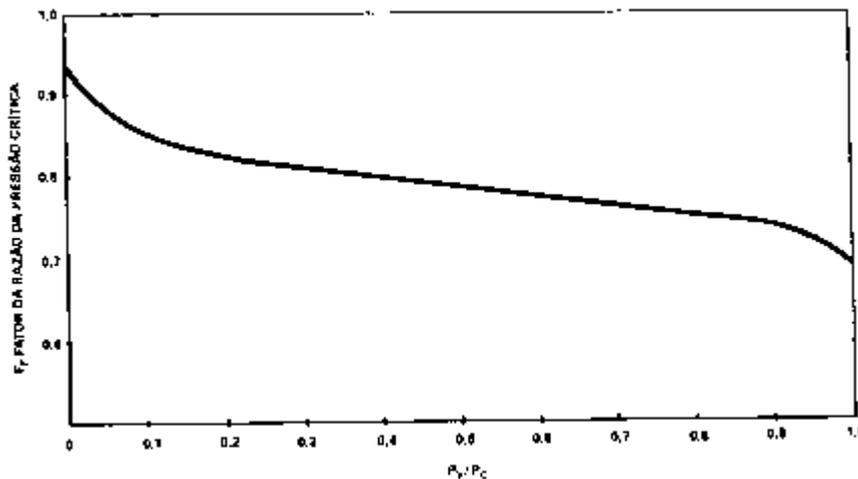


Fig. 45 – Gráfico do Fator **F_F**

O fator F_y pode ser obtido diretamente através do seguinte gráfico:

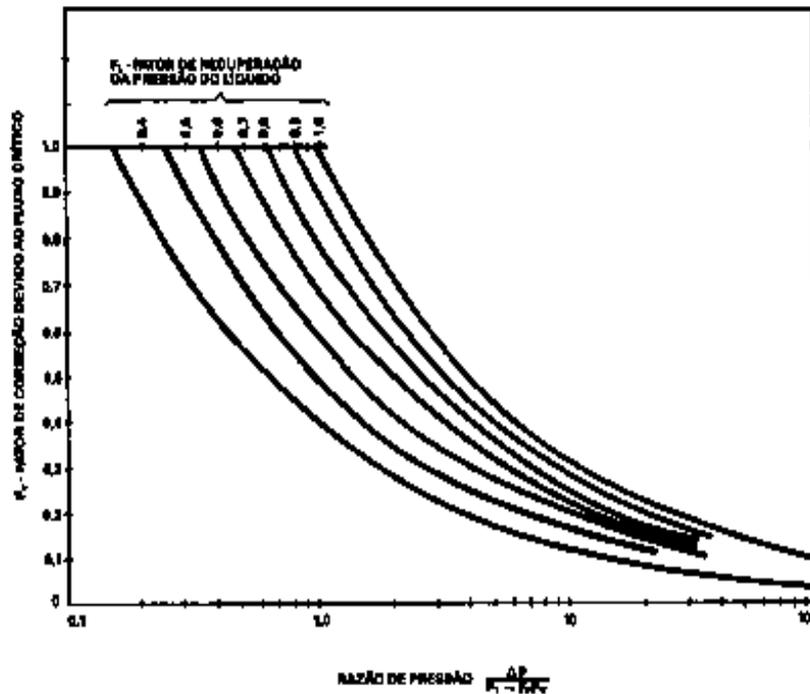


Fig.46 – Gráfico do Fator de Correção F_y

Ressaltamos que o valor do fator F_y a ser utilizado na equação deve ser limitado a valores iguais ou menores que 1.

A condição de fluxo crítico no escoamento do líquido está relacionada com a cavitação. Uma forma prática de verificarmos se há ou não a possibilidade de surgir a cavitação, é dada através do coeficiente de cavitação incipiente K_c , ou seja, para evitarmos o início da cavitação é condição necessária que a válvula escolhida possua um K_c que satisfaça a seguinte desigualdade:

$$K_c > \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_v}$$

Os valores de K_c são fornecidos para as diversas válvulas comerciais na tabela a seguir:

Tipo de Válvulas e de Internos	Direção do Fluxo	Diâmetro da Válvula igual ao Diâmetro da Linha (D = d)				(D=2d)	
		FL	X _T	K _C	F _d	FLP	X _{TP}
Globo Sede Simples							
- Contorno	Abre	0,91	0,70	0,65	1,0	0,86	0,73
- Contorno	Fecha	0,89	0,63	0,68	1,0	0,81	0,57
- Em V	Qualquer	0,97	0,79	0,80	1,0	0,90	0,75
- Gaiola	Abre	0,90	0,75	0,65	1,0	0,84	0,75
- Gaiola	Fecha	0,87	0,70	0,64	1,0	0,79	0,71
Globo Sede Dupla							
- Contorno	-	0,89	0,70	0,70	0,71	0,82	0,71
- Em V	-	0,97	0,79	0,80	0,71	0,90	0,75
Angular							
- Gaiola	Abre	0,85	0,65	0,65	1,0	0,80	0,66
- Gaiola	Fecha	0,80	0,59	0,54	1,0	0,75	0,62
Bi-partida							
- Contorno	Abre	0,86	-	0,50	1,0	0,76	-
- Contorno	Fecha	0,86	-	0,52	1,0	0,76	-
Obturador Excêntrico							
	Abre	0,86	-	0,61	0,71	0,78	-
	Fecha	0,76	-	0,37	0,71	0,65	-
Esfera	-	0,55	0,15	0,28	1,0	0,47	0,42
Borboleta							
- 90°	-	0,63	0,33	0,30	0,71	0,65	0,33
- 60°	-	0,70	0,41	0,33	0,71	0,53	0,43

O **K_c** é denominado Coeficiente de Cavitação Incipiente e a sua utilização é um método simples na indicação de qual o tipo de válvula a ser utilizada para se evitar o início do processo de cavitação

Fig. 47 – Valores de vários fatores (FL, K_c, X_T, ...) por tipo de válvula

Fr = Fator de Número de Reynolds na válvula. Este é um fator de correção utilizado no caso de líquido viscosos devido à relação entre vazão e pressão diferencial do fluido. O número de Reynolds pode ser calculado pela seguinte equação:

$$Re_v = \frac{N_4 \cdot F_d \cdot Q}{\gamma \cdot \sqrt{F_P \cdot C_v \cdot F_L}} \cdot \sqrt[4]{\frac{F_P^2 \cdot F_L^2 \cdot C_v^2}{N_2 \cdot D^4} + 1}$$

Podemos obter o valor de **Fr** em função do **Re_v** através do gráfico a seguir:

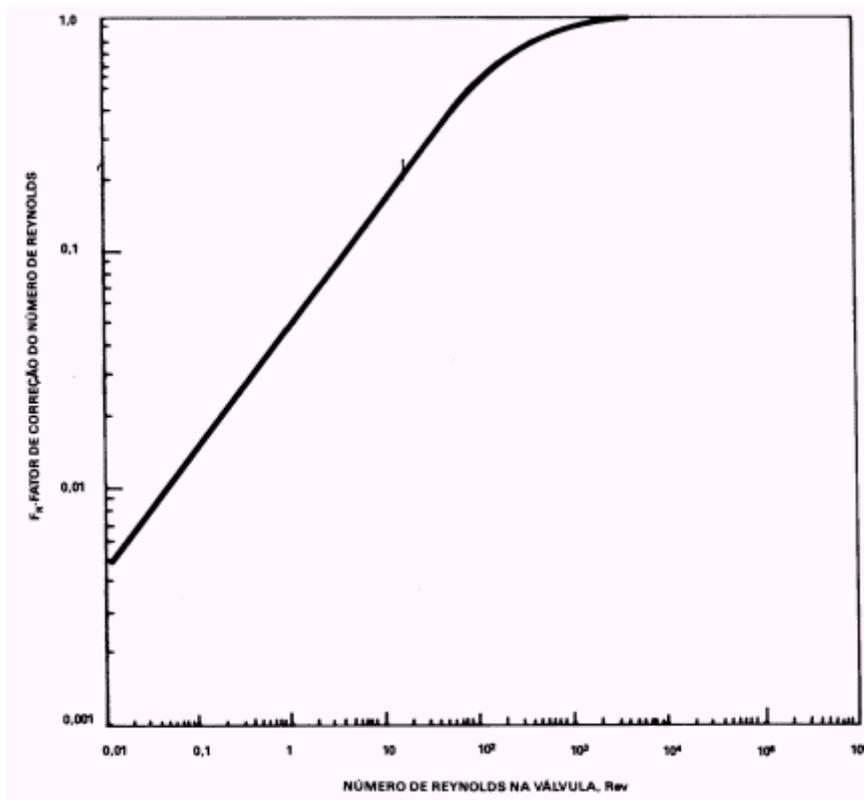


Fig.48 – Gráfico do fator de correção FR

F_d = Fator Modificador devido ao tipo da válvula. Este fator é um coeficiente experimental e adimensional que corrige o número de Reynolds, em função da geometria da válvula. Experimentalmente conclui-se que o coeficiente F_d é proporcional a $1/\sqrt{n}$, onde n é o número de formatos similares do fluxo de passagem. Podemos obter os valores de F_d na tabela da figura 47.

7.2.2) EQUAÇÕES GERAIS PARA FLUIDOS COMPRESSÍVEIS

A vazão de um gás ou vapor que escoar através de uma válvula, pode ser calculada por qualquer uma das equações a seguir. Deverá ser escolhida aquela que for mais conveniente, em função dos dados disponíveis:

$$W = N_6 \cdot F_P \cdot C_v \cdot Y \sqrt{x \cdot P_1 \cdot \gamma_1}$$

$$Q = N_7 \cdot F_P \cdot C_v \cdot P_1 \cdot Y \sqrt{\frac{x}{\gamma_1}}$$

$$W = N_8 \cdot F_P \cdot C_v \cdot P_1 \cdot Y \sqrt{\frac{x \cdot M}{T_1 \cdot Z}}$$

$$Q = N_9 \cdot F_P \cdot C_v \cdot P_1 \cdot Y \sqrt{\frac{x}{M \cdot T_1 \cdot Z}}$$

Onde:

Q = Vazão do fluido dada em Nm³/h ou SCFH

W = Vazão do fluido dada em Kg/h ou Lb/h

N = Constantes Numéricas. Devem ser obtidas na tabela da fig. 42

F_P = Fator de Geometria da Tubulação Adjacente. São as mesmas fórmulas e a mesma tabela (Fig.44) utilizada para fluidos compressíveis.

C_v = Coeficiente de Vazão

P₁ = Pressão de entrada

M = Peso molecular do fluido

T₁ = Temperatura de entrada do fluido

γ₁ = Viscosidade do fluido

Y = Fator de Expansão. Este fator relaciona a variação da densidade do fluido durante a sua passagem através da válvula:

$$Y = 1 - \frac{x}{3 \cdot F_k \cdot X_T} \quad \text{e} \quad F_k = \frac{k}{1,40}$$

Onde:

F_k = Fator da razão dos calores específicos

x = Razão da queda de pressão = $\Delta P/P_1$

k = Razão dos calores específicos = **C_p/C_v**

X_T = Fator da razão de queda de pressão

Para tubulações de igual diâmetro na entrada e na saída da válvula X_T é dado na tabela da fig. 47.

Para tubulações com diâmetros diferentes na entrada e na saída da válvula X_T terá que ser corrigido. Podemos obter este fator corrigido X_{TP} , na tabela da fig. 44 ou através da seguinte fórmula:

$$X_T \cdot FP = X_{TP} = \frac{X_T}{FP^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{X_T \cdot K_i \cdot (Cv/d^2)^2}{N_5}}$$

Onde:

$$K_i = K_1 + K_{B1}$$

O fator Y pode ser determinado diretamente através do gráfico da figura 49:

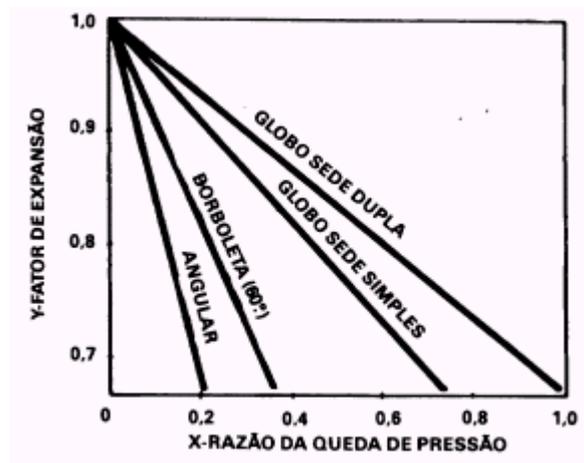


Fig. 49 – Gráfico do Fator de Expansão Y

Z = Fator de compressibilidade do gás, pode ser obtido através dos gráficos a seguir das fig.50 e 51:

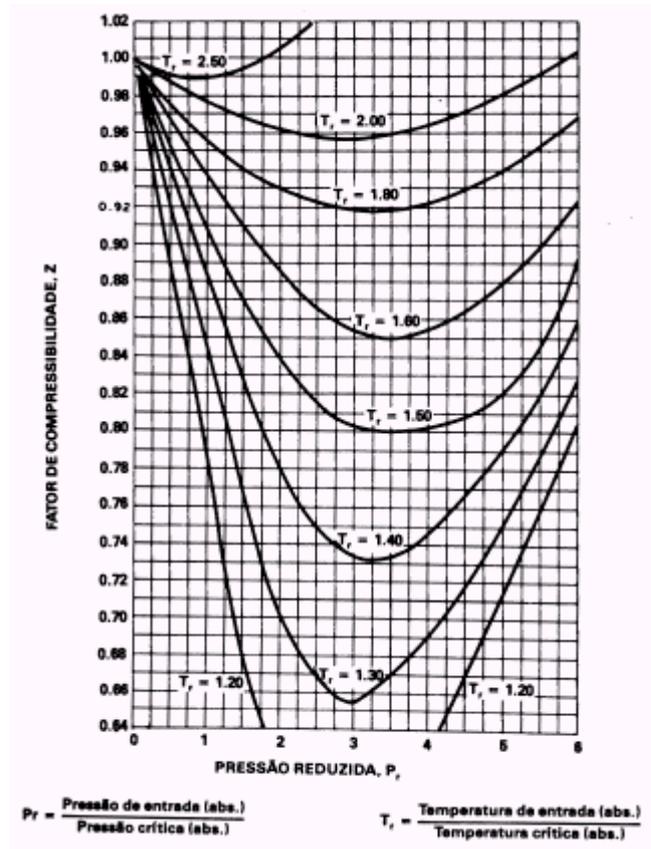


Fig.50 – Gráfico de Fatores de Compressibilidade do Gases , para Pressões Reduzidas de 0 a 6

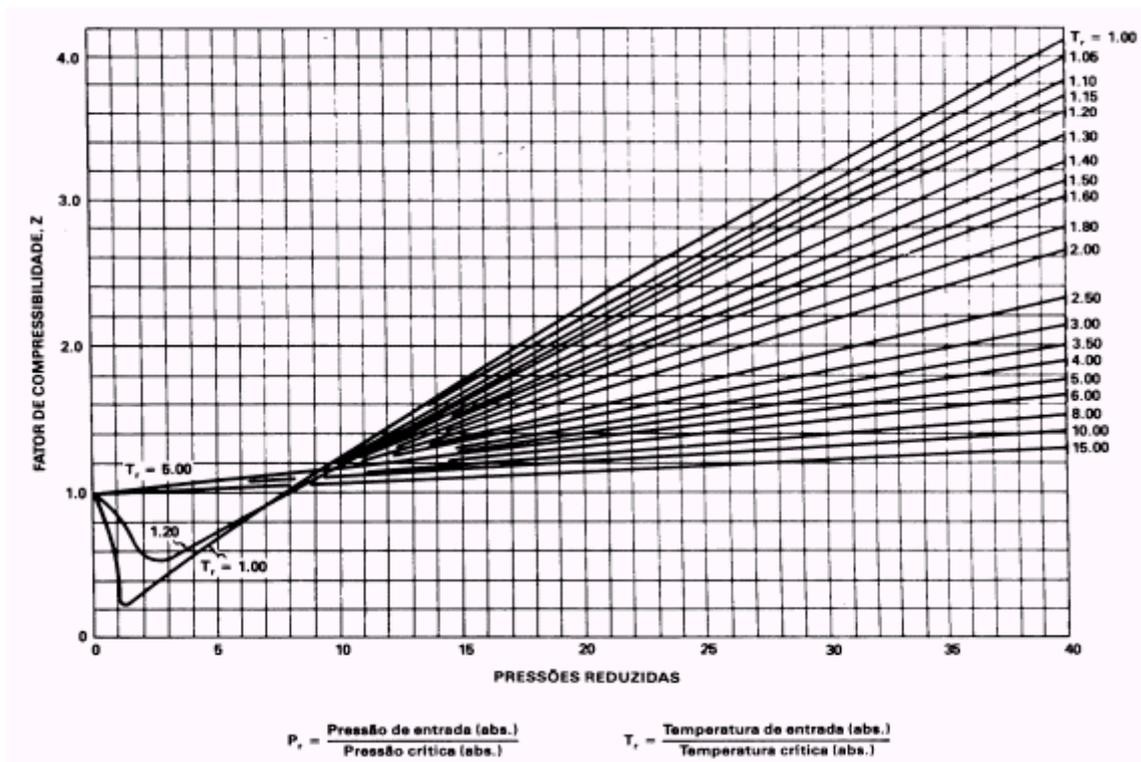


Fig.51 – Gráfico de Fatores de Compressibilidade para Gases, com pressões reduzidas de 0 a 40

Em todas as equações anteriores, o valor de x não pode exceder o valor do produto $F_k \cdot X_T$. Assim sendo, mesmo que o valor da razão da queda de pressão x seja maior que $F_k \cdot X_T$, esse valor limite será utilizado nas equações anteriores, ou seja, $x = F_k \cdot X_T$.

7.2.3) EQUAÇÕES GERAIS PARA FLUIDOS COM MISTURAS DE FASES

A) Líquido-Gás

$$W = N_6.FP.FY.FR.CV \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{V_e}}$$

Onde:

$$V_e = \frac{f_g \cdot v_{gl}}{Y^2} + f_f \cdot v_f$$

$$f_f = 1 - f_g$$

$$v_{gl} = \frac{R_o.T_1}{144.M.P_1}$$

Sendo $R_o = 1545 \text{ pés.lb/l.mol.}^\circ\text{R}$

B) Líquido-Vapor

$$W = N_6.FP.CV.Y \cdot \sqrt{\frac{X.P_1}{V_e}}$$

7.3) ANÁLISE INTRODUTÓRIA À CAVITAÇÃO, VAZÃO BLOQUEADA E “FLASHING”

De acordo com o Teorema de Bernoulli, quando o fluido é acelerado ao passar pela sede da válvula, a energia cinética será obtida pela conversão da pressão estática em pressão dinâmica, resultando daí uma pressão diferencial, já que a perda da pressão estática não é recuperável.

A velocidade alcança o seu valor máximo no ponto conhecido por “vena contracta” e, portanto, é nesse ponto que a pressão estática será mínima, conforme podemos acompanhar pela figura 52:

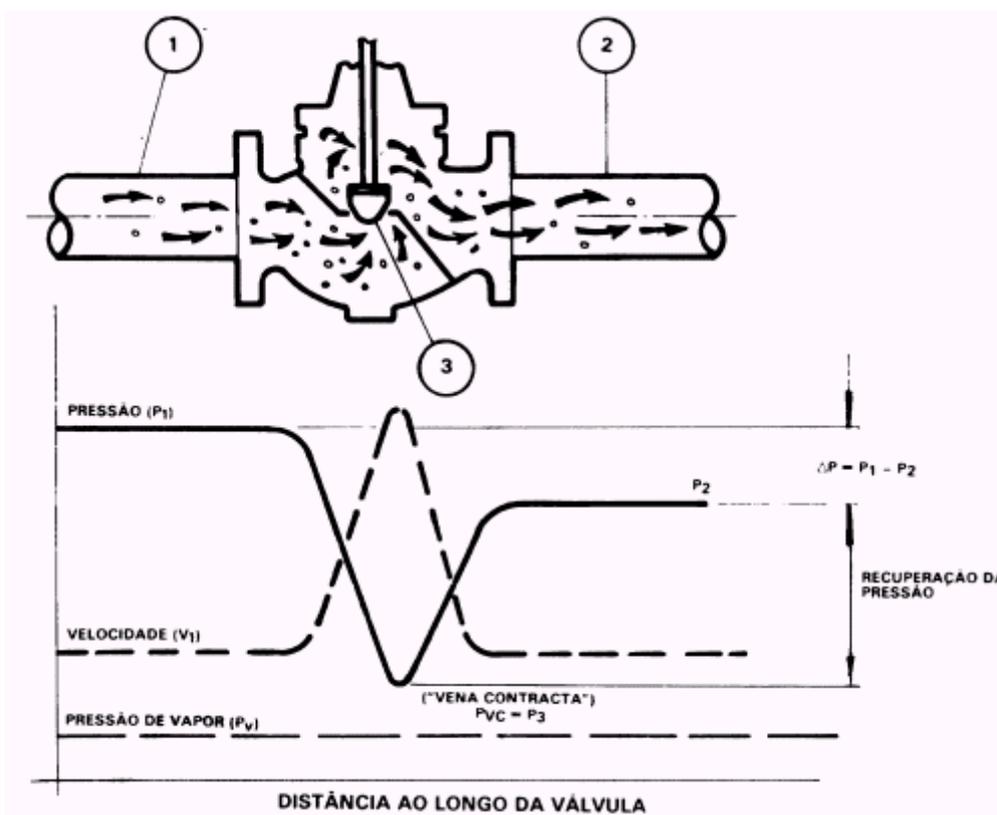


Fig. 52 – Escoamento de um fluxo incompressível através de uma válvula de controle

Caso a pressão do ponto de "vena contracta" estiver acima do ponto de pressão de vaporização do líquido, a proporcionalidade entre a vazão e a queda de pressão é quadrática, não havendo necessidade nenhuma de correção devido as condições críticas de fluxo. Isto é F_y será igual a 1.

Porém, se por algum motivo, formos gradualmente abaixando a pressão à jusante P_2 (mantendo-se fixa P_1) vamos alterar o gradiente de recuperação, conforme mostra a figura 53. Contudo, essa alteração é realizada de forma tal que a relação entre P_{vc} e ΔP mantenha-se constante.

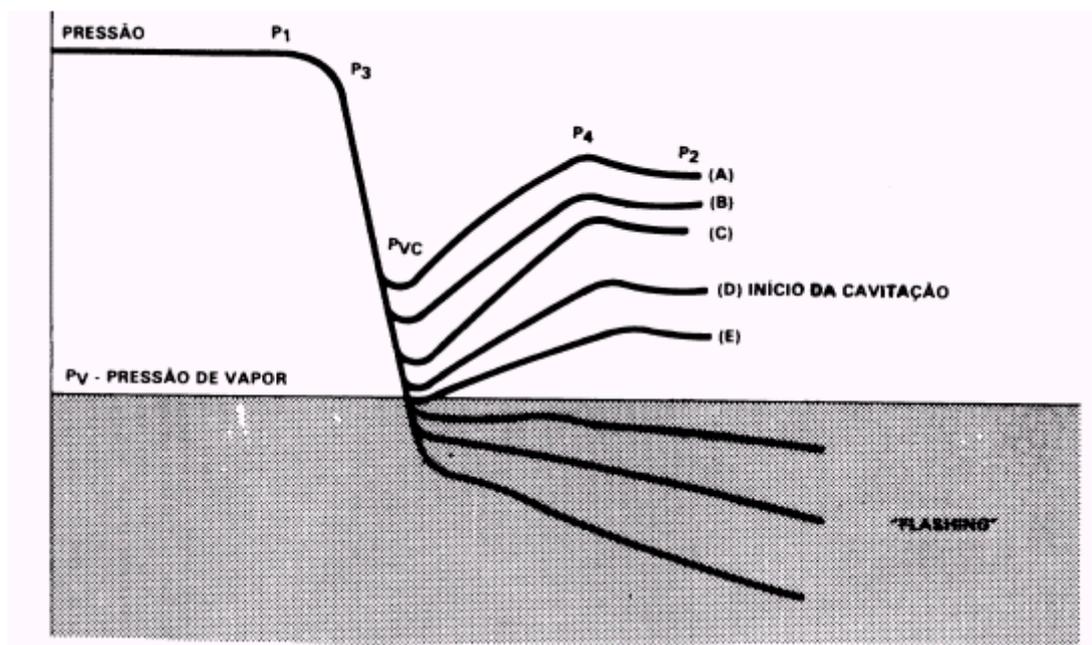


Fig.53 – Diagrama do gradiente de pressões de um líquido através de uma válvula, mantendo-se a pressão de entrada fixa e diminuindo a pressão de saída

Para uma determinada pressão à jusante, a pressão na “vena contracta”(Pvc), alcança a pressão de vaporização (Pv) do líquido. Nesse ponto inicia-se teoricamente a vaporização do líquido, formando-se o que chamamos de cavidades ou bolhas.

Na realidade, o início da formação desta vaporização começa um pouco antes de atingirmos a pressão de vaporização do líquido, como podemos verificar pela curva (D) da figura 53, em virtude, de sempre termos junto ao líquido gases dissolvidos, os quais começam a desprender-se do líquido formando as cavidades ou bolhas. Esse ponto denomina-se de cavitação incipiente. Através da figura 54, podemos notar, que após o surgimento das primeiras bolhas de vapor, o aumento da vazão não é mais obtido de forma proporcional ao aumento da queda de pressão através da válvula (espaço entre os pontos A e C).

Assim sendo reduções adicionais no valor de P2 irão produzir o aumento da vazão que seria esperado, em função da proporcionalidade entre a vazão e a queda de pressão, tida antes de Pvc atingir a Pv. Ao atingir-se o ponto D a vazão não aumentará mais, mesmo que continuemos a reduzir o valor de P2, desde que P1 mantenha-se fixa.

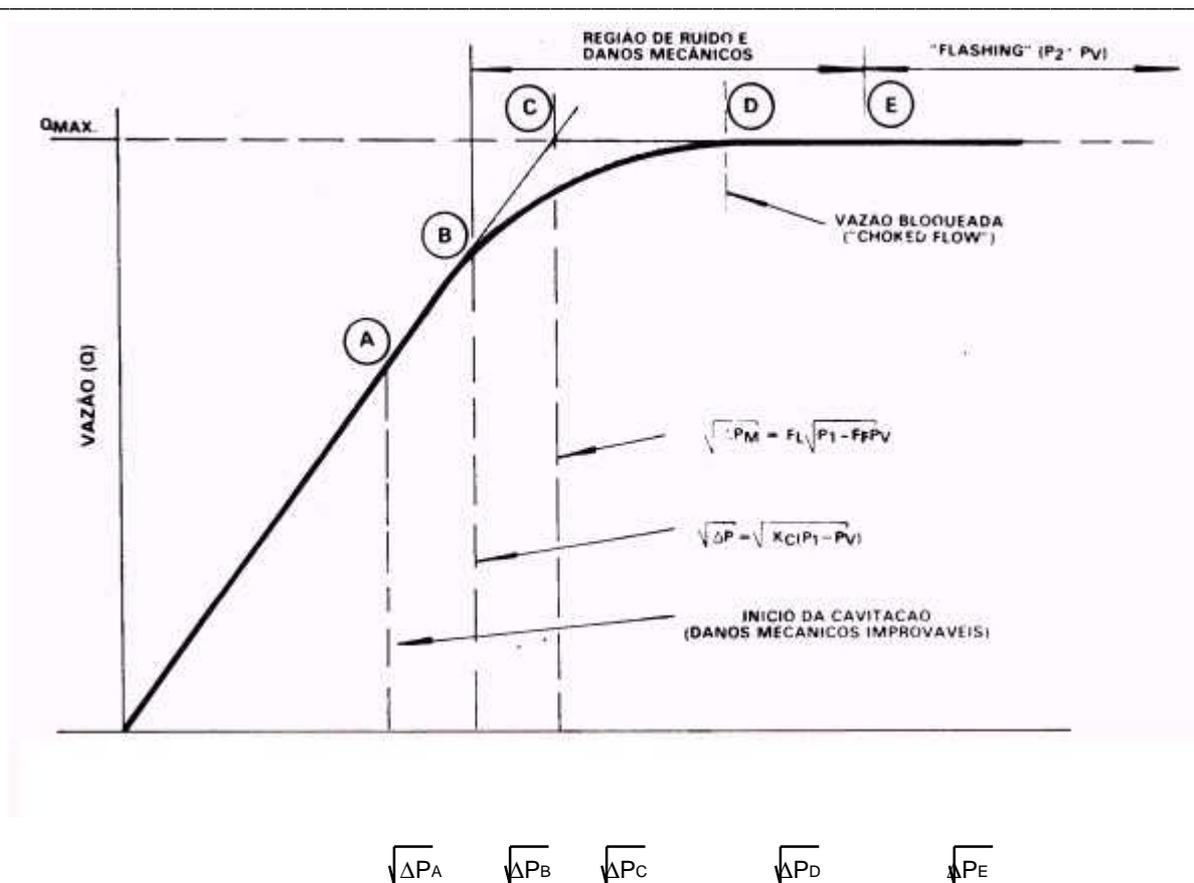


Fig. 54 – Variação da vazão em função da queda de pressão, num escoamento de fluxo incompressível através de uma válvula

Aumentos adicionais da queda de pressão na válvula, apenas vão contribuir para a formação de maiores bolhas de vapor. Nesse ponto limite diz-se que a vazão está **bloqueada** (choked flow).

As bolhas de vapor após a passagem pelo ponto de "vena contracta" e em função da recuperação de pressão na parte referente à saída da válvula (P₄ - P_{vc}) na figura 53, atingem a uma pressão interior contidas nas bolhas de vapor, e estas implodirão liberando enormes tensões que são responsáveis pelos efeitos de destruição na válvula e na tubulação à jusante dela, além de produzir ruído e vibração.

A formação das bolhas (1º estágio), e o colapso das mesmas (2º estágio) é um fenômeno conhecido por *cavitação*, que deve sempre que possível ser evitado

O fenômeno da *cavitação* é pouco conhecido. O seu início e a sua extensão são afetados por diversos fatores, tais como, a geometria interna da válvula, a pressão de vaporização do líquido, a velocidade do fluxo, a tensão superficial, densidade, viscosidade, a quantidade de gás dissolvido no líquido e os minúsculos núcleos sólidos no interior do líquido.

Cabe salientar que no processo da cavitação o líquido não se vaporiza totalmente, pois, diante de diversas experiências realizadas, demonstrou-se, que o líquido consegue permanecer durante um pequeno tempo como líquido em estado de superaquecimento.

A medida que a pressão P_2 vai baixando, vai alterando o gradiente da recuperação da pressão, conforme podemos notar pela figura 53. A partir de um determinado ponto, onde $P_2 < P_v$, deixa de existir o fenômeno da cavitação como um todo, permanecendo apenas o efeito do primeiro estágio dela, ou seja, a formação de vapor e o escoamento à jusante da válvula de um fluxo denominado comumente por “*flashing*”, onde existirá uma mistura de fases, isto é, líquido-vapor, que constitui-se numa das partes menos pesquisadas na área do dimensionamento de válvulas de controle.

Assim sendo, quanto aos fenômenos da *cavitação*, *fluxo bloqueado* e “*flashing*” se voltarmos ao gráfico da figura 54, podemos diferenciar, em função da queda de pressão, os três pontos distintos do surgimento desses três fenômenos. Assim, a cavitação surge no ponto (A) sob uma queda de pressão ΔP_A e continua como *cavitação incipiente* até o ponto (B); aí a vazão começa a ser sensivelmente afetada até atingirmos o ponto (D), sob queda de pressão ΔP_D . Entre os pontos (B) e (D), que na realidade são menos espaçados do que mostrados na figura 54, dá-se propriamente, o fenômeno da cavitação.

É nessa região que vai ocorrer o ruído de origem cavitante, a vibração, e, o pior de tudo, os enormes danos mecânicos, portanto, esta é uma região que deve ser evitada.

No ponto (D) a vazão alcançou seu limite máximo, obtendo um fluxo de vazão bloqueada. Essa vazão bloqueada ocorre sob uma queda de pressão ΔP_D , e os efeitos da cavitação estão ainda presentes neste estágio. Só no ponto (E), ela deixa de existir, surgindo o fenômeno do “*flashing*” sob queda de pressão ΔP_E .

Esta exposição dada é muito importante do ponto de vista didático, quanto ao aspecto da limitação da pressão diferencial, como veremos logo mais. Porém, não deve conduzir a má interpretação, pois faz supor que a válvula primeiro cavitava para depois ocorrer o “*flashing*”, quando na verdade, o “*flashing*” tanto pode ocorrer antes ou depois da cavitação, pois é função da pressão de vaporização do líquido à temperatura de entrada na válvula.

O exemplo mais comum de “*flashing*” é o de líquidos saturados ou próximo à saturação. Devido a alta temperatura de entrada, após a queda de pressão, teremos uma vaporização permanente, desde que a pressão de saída P_2 continue num valor inferior à pressão de vaporização correspondente à temperatura de entrada.

Nos casos em que houver a possibilidade do surgimento da cavitação, deverão ser tomadas todas as medidas necessárias durante o projeto, quanto à instalação e à disponibilidade de pressão, de forma tal que venha acontecer, no pior dos casos, o “*flashing*”, porém nunca a cavitação. Numa planta industrial bem projetada nunca poderia acontecer a cavitação. Uma válvula de controle comum consegue conviver junto com os efeitos do “*flashing*”, desde que para tal tenha sido dimensionada, porém não conseguiria viver junto com os efeitos da cavitação por muito tempo, a menos que sejam utilizadas válvulas especiais com internos anti-cavitação, embora muito onerosas.

Pelo fato desses três fenômenos estarem relacionados costuma-se utilizar (para efeito de facilidade operacional quanto ao dimensionamento), a pressão diferencial tida no ponto (C), ou seja, (ΔP_C), como sendo a máxima pressão diferencial através da válvula, quando houver suspeitas de possibilidade de cavitação ou “*flashing*”.

Essa pressão diferencial ΔP_c que é realmente efetiva na produção de vazão é dada no gráfico da figura 54. Normalmente ΔP_c é designada por ΔP_M , sendo dada pela equação:

$$\Delta P_c = \Delta P_M = F_L^2 \cdot (P_1 - F_F \cdot P_V) \quad (10)$$

Como sabemos:

$$F_Y = F_L \cdot \sqrt{\frac{P_1 - F_F \cdot P_V}{\Delta P}}$$

Logo:

$$F_Y = \sqrt{\frac{\Delta P_M}{\Delta P}}$$

a) Se $F_Y > 1,0$ $\Delta P_M > \Delta P$ - fluxo não cavitante

Portanto, deve-se utilizar, nas equações de dimensionamento o ΔP real como queda de pressão efetiva na produção de vazão.

Por conseguinte o valor do fator de correção F_Y será igual a 1,0.

b) Se $F_Y < 1,0$ $\Delta P_M < \Delta P$ - fluxo cavitante

Se a queda de pressão real ΔP for menor que a ΔP_M obtida através da equação 10, então a vazão é proporcional ao quadrado da queda de pressão e o fluxo mantém-se sob regime denominado de subcrítico.

Porém, caso a queda de pressão real ΔP for maior que a ΔP_M , então existe um estágio de fluxo crítico onde poderá surgir cavitação ou “*flashing*”, a menos que seja limitada a queda de pressão a ser utilizada para efeito de dimensionamento.

É o que se faz: caso $\Delta P > \Delta P_M$, utiliza-se o valor de ΔP_M nas equações para o cálculo da capacidade. Devemos salientar que o ΔP_M é a máxima queda de pressão, somente para efeito de dimensionamento. Ela não é a máxima queda de pressão admissível através da válvula, nem a queda de pressão real imposta pelo processo e nem a queda de pressão na qual inicia-se o fenômeno da cavitação, a qual é aproximadamente 80% de ΔP_M .

Portanto apenas uma parte da queda de pressão real é efetiva na produção de vazão.

Essa parte da queda de pressão (ΔP_M) é que seria considerada na equação de dimensionamento, ao introduzirmos o valor do fator F_Y (**inferior a 1,0**) corrigindo, assim, a capacidade de válvula em função de uma queda de pressão menor do que a real.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS:

Especificar uma válvula de controle para as seguintes aplicações:

1)

Fluido = Água
Vazão = 250 GPM
Pressão de Entrada (P_1) = 75 psia
Pressão de Saída (P_2) = 65 psia
Temperatura (T) = 60 °F
Densidade Relativa (G) = 1,0
Diâmetro da Linha (D) = 4"(SCH 40)

SOLUÇÃO:

a) Cálculo do Coeficiente de Vazão (CV)

$$Q = N_1 \cdot F_P \cdot F_Y \cdot F_R \cdot C_V \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{G}} \quad (1)$$

Das tabelas do Apêndice C, obtemos que para a temperatura de 60 °F, a pressão de vaporização da água é de 0,25 psia e a pressão crítica é 3206 psia.

Tratando-se de um líquido, devemos verificar um possível estado de "vazão bloqueada", no qual ocorre a vaporização do líquido, podendo com isso termos cavitação ou "flashing":

$$F_Y = F_L \cdot \sqrt{\frac{P_1 - F_F \cdot P_V}{\Delta P}}$$

Onde:

$$F_F = 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{P_V}{P_C}} = 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{0,25}{3206}} = 0,958$$

Logo:

$$F_Y = F_L \cdot \sqrt{\frac{75 - (0,95 \cdot 0,25)}{10}} = 2,73 \cdot F_L$$

O valor de F_L é em função do tipo de válvula a ser utilizado. Como não foi informado o tipo de válvula a ser utilizado, portanto teremos que escolhê-lo.

Sabendo-se que $F_Y > 1$ temos um escoamento não cavitante e para $F_Y < 1$ um escoamento cavitante, teremos:

Se $F_Y > 1$, então: $2,73.F_L > 1$

Logo: $F_L > 0,36$

Como podemos verificar na tabela da fig.47 todas as válvulas tem um $F_L > 0,36$.

Então para esta aplicação poderemos utilizar qualquer tipo de válvula.

Assim sendo usaremos uma válvula globo convencional de sede dupla, obturador tipo contorno e portanto teremos um $F_L = 0,89$.

Então:

$$F_Y = 2,73.(0,89) = 2,42$$

Voltando a equação (1), como F_Y não pode ser maior do que 1 e assumindo $F_R = 1$ pois por ser água, o fluxo é turbulento por excelência, teremos:

$$250 = 1.(F_P.C_V).1.1.\sqrt{\frac{10}{1}}$$

Logo: $F_P.C_V = 79$

O próximo passo será escolher o diâmetro da válvula, através de um catálogo de um fabricante, para então determinarmos o valor de F_P , o qual considerará a correção do C_V em função da diferença do diâmetro.

Escolhendo uma válvula globo com sede dupla de 3" determinado fabricante verificamos no catálogo que $C_V = 110$. Logo:

$$\frac{d}{D} = \frac{3''}{4''} = 0,75$$

$$\frac{N_3.C_V}{d^2} = \frac{1.(110)}{3^2} = 12$$

Com estes valores teremos pela tabela da fig.44 o valor de $F_P = 0,98$

Assim, teremos finalmente:

$$C_V = \frac{79}{0,98} = 81$$

Como a válvula instalada tem um diâmetro menor que a tubulação, isto é, tem o fator F_P menor que 1 deveremos corrigir o fator F_L utilizado.

$$F_{LP} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{F_L^2} + \frac{K_i \cdot (C_v/d^2)^2}{N_2}}}$$

Onde: $K_i = K_1 + K_{B1}$

Sabemos que:

$$K_1 = 0,5 \cdot (1 - (d/D)^2)^2 = 0,5 \cdot (1 - (3/4)^2)^2 = \mathbf{0,095}$$

$$K_{B1} = 1 - (d/D)^4 = 1 - (3/4)^4 = \mathbf{0,68}$$

Logo:

$$K_i = 0,095 + 0,68 = \mathbf{0,77}$$

E da tabela da fig.42 temos $N_2 = \mathbf{890}$

Então:

$$F_{LP} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(0,89)^2} + \frac{0,77 \cdot (81/3^2)^2}{890}}} = \mathbf{0,88}$$

Logo:

$$F_Y = F_{LP} \cdot 2,73 = 0,88 \cdot 2,73 = \mathbf{2,40}$$

Como F_Y continua sendo maior que **1** essa correção em nada altera o C_v calculado, ou seja:

$$C_v = \mathbf{81}$$

b) Verificações:

b.1) Cavitação:

Como já verificamos, não vai haver cavitação. Entretanto confirmando, para não termos cavitação é necessário e suficiente que seja satisfeita a seguinte desigualdade:

$$K_c > \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot v^2}$$

$$P_1 - P_v$$

Então:

$$K_c > \frac{75 - 65}{75 - 0,25} > 0,13$$

Pela tabela da fig.47 podemos confirmar que qualquer tipo de válvula tem um $K_c > 0,13$, portanto não haverá cavitação.

b.2) Velocidade de Entrada

$$V = \frac{N_{10} \cdot Q}{d^2} = \frac{0,408 \cdot 250}{3^2} = 11 \text{ pés/seg}$$

Esta velocidade é inferior a máxima recomendada para os líquidos.

b.3) Faixa de Operação

Característica de Vazão = Porcentagem - Válvula com **93%** de abertura.

Característica de Vazão = Linear - Válvula com **73%** de abertura.

2)

Fluido = Líquido qualquer Newtoniano

Densidade Relativa (G) = 0,90

Pressão de Entrada (P1) = 85 psia

Pressão de Saída (P2) = 65 psia

Temperatura (T) = 70°F

Vazão (Q) = 50 GPM

Viscosidade = 20.000 cp

Diâmetro da linha = 6" (SCH 40)

Tipo de Válvula = Borboleta

SOLUÇÃO:

Por se tratar de um fluido altamente viscoso, não existirá a possibilidade de um escoamento turbulento, onde a alta velocidade poderia provocar um estado cavitante ou de vazão bloqueada. Então $F_y = 1$.

Assim sendo temos:

$$Q = N_1 \cdot F_P \cdot C_v \cdot F_R \cdot (1) \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

Por se tratar de um fluido viscoso, calcularemos inicialmente um C_v admitindo-se um escoamento turbulento não cavitante, e posteriormente em função desse C_v previamente calculado, obtém-se o valor de correção F_R que leva em consideração a viscosidade do fluido:

$$F_R C_v = Q \cdot \frac{G}{\Delta P} = 50 \cdot \sqrt{\frac{0,9}{20}} = 10,6$$

O Número de Reynolds, calcula-se através de:

$$Re_v = \frac{N_4 \cdot F_d \cdot Q}{\gamma \cdot \sqrt{F_P \cdot C_v \cdot F_L}} \cdot \sqrt[4]{\frac{F_P^2 \cdot F_L^2 \cdot C_v^2}{N_2 \cdot D^4} + 1}$$

Onde:

γ = viscosidade cinemática (centistokes). Como foi dada a viscosidade absoluta (μ), devemos inicialmente transformá-la em centistokes, ou seja:

$$\gamma = \frac{\mu}{G} = \frac{2000}{0,9}$$

$$Re_v = \frac{17.300 \cdot 0,71 \cdot 50}{\frac{20.000}{0,9} \cdot \sqrt{0,70 \cdot 10,6}} \cdot \sqrt[4]{\frac{(0,70)^2 \cdot (10,6)^2}{890 \cdot 6^4} + 1} = 10,15$$

Através do gráfico da fig. 48, para $Re_v = 10,5$ temos um $F_R = 0,17$.

Assim:

$$F_P C_v LAM = \frac{F_P \cdot C_v TURB}{0,17} = \frac{10,6}{0,17} = 62$$

Selecionaremos inicialmente uma válvula borboleta de um determinado fabricante de 3" de diâmetro, para operação de até 60 graus de abertura, cujo C_v nominal é 206. Assim, teremos:

$$\frac{N_3 \cdot C_v}{d^2} = \frac{1 \cdot (206)}{2,5^2} = 32,96$$

$$\frac{d}{D} = 0,5$$

Com estes valores, encontramos na tabela da fig.44 um $F_P = 0,73$

E portanto:

$$C_v = 62/0,73 = 84,93$$

Tal válvula irá operar numa faixa de ordem de **42%** da capacidade máxima da válvula, o que representa para válvula escolhida uma abertura da ordem de **47,29%** de abertura, o que satisfaz plenamente.

3)

Fluido = Água
Vazão (W) = 30.000 lb/H
Pressão de Entrada (P₁) = 115 psia
Pressão de Saída (P₂) = 80 psia
Temperatura (T) = 325 F
Diâmetro da linha (D) = 2" (SCH. 40)

SOLUÇÃO:

a) Cálculo do C_v

Sob temperatura de **325 °F**, a água irá vaporizar-se quando a pressão cair a 80 psia. Isso deduz-se através de valores obtidos das tabelas de vapor, nas quais obtemos uma pressão de vapor de 96 psia. Temos portanto um exemplo de "flashing".

$$W = N_6 \cdot (F_P \cdot C_v) \cdot F_Y \cdot F_R \sqrt{\Delta P \cdot Y_1}$$

Onde:

$$Y_1 = \frac{1}{V} = \frac{1}{0,01771}$$

Sendo V = Volume Específico = 0,01771 (obtido das tabelas de água saturada do Apêndice C para uma temperatura de 325° F)

Então:

$$F_Y = F_L \sqrt{\frac{P_1 - F_F \cdot P_V}{\Delta P}}$$

$$\text{Sendo } F_F = 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{P_V}$$

Pc

$$F_f = 0,96 - 0,28 \cdot \frac{96}{3206} = \mathbf{0,91}$$

Portanto:

$$F_y = F_L \cdot \sqrt{\frac{(115 - (0,91 \cdot 96))}{35}}$$

Vamos admitir inicialmente a seleção de uma válvula globo sede simples com obturador em "C", teremos então através da tabela da fig.47 um $F_L = 0,91$.

Portanto:

$$F_y = 0,91 \cdot \sqrt{\frac{(115 - (0,91 \cdot 96))}{35}} = \mathbf{0,807}$$

Como o $F_y < 1,0$, temos uma condição de vazão bloqueada, na qual apenas uma parte da queda de pressão real ($\Delta P = 115 - 80 = 35$ psi) é efetiva na produção da vazão.

Desta forma teremos:

$$30.000 = 63,3 \cdot (F_p \cdot C_v) \cdot 0,807 \cdot (1,0) \sqrt{35 \cdot (1/0,01771)}$$

$$F_p \cdot C_v = \mathbf{13,21}$$

Uma boa solução sempre que existem condições de vaporização do líquido é utilizar uma válvula com internos de capacidade reduzida. Assim sendo, vamos escolher uma válvula de 2" com sede simples de 2"x 1/8" de um determinado fabricante que tem C_v nominal de **26**.

Como a válvula tem o diâmetro igual ao da linha $F_p = 1$
Então :

$$C_v = \mathbf{13,21}.$$

O que significa que essa válvula irá operar a **51%** da sua capacidade nominal, ou seja:

Característica de Vazão = Linear = **51%** de abertura
Característica de Vazão = Porcentagem = **84%** de abertura

4)

Fluido = Água

Vazão (Q) = 260 GPM
Pressão de Entrada (P1) = 115 psia
Pressão de Saída (P2) = 15 psia
Temperatura (T) = 90 ° F
Diâmetro da Linha (D) = 3" (SCH 40)

SOLUÇÃO:

Podemos verificar em função dos dados, que esta válvula está sujeita a uma relativa queda de pressão, e em se tratando de água, existe a possibilidade de ocorrer a cavitação. Verificando temos:

$$K_c > \frac{\Delta P}{(P_1 - P_v)} = \frac{(115 - 15)}{(115 - 0,70)} > \mathbf{0,87}$$

Portanto toda e qualquer válvula cujo coeficiente **Kc** for menor ou igual a **0,87**, produzirá o início da cavitação. Precisamos, portanto, selecionar um tipo de válvula cujo **Kc** seja superior a 0,87. Pela tabela da fig.47, constatamos que este tipo de válvula (convencional) não existe.

A solução para este caso, recai, na utilização de uma válvula com internos especialmente construídos para evitar o surgimento da cavitação, ou então utilizarmos duas válvulas convencionais instaladas em série.

Vamos adotar para este caso duas válvulas em série, onde cada válvula absorverá a metade da queda de pressão original. Assim teremos:

$$\text{Válvula 1: } P_1 = P_{11} - P_{12} = 115 - 65 = \mathbf{50 \text{ psi}}$$

$$\text{Válvula 2: } P_2 = P_{21} - P_{22} = 65 - 15 = \mathbf{50 \text{ psi}}$$

Para estas duas válvulas o **Kc** será:

$$\text{Válvula 1 : } K_c > P_1 / (P_{11} - P_v) > 50 / (115 - 0,70) > \mathbf{0,43}$$

$$\text{Válvula 2: } K_c > P_2 / (P_{21} - P_v) > 50 / (65 - 0,70) > \mathbf{0,78}$$

Através da tabela da fig.47, podemos selecionar uma válvula globo sede dupla com obturador tipo "V", que tem um **Kc = 0,80** e satisfaz plenamente a pior situação que é o **Kc** da válvula 2. Para este tipo de válvula temos **FL = 0,97**, portanto:

$$Q = N_1 \cdot F_P \cdot C_V \cdot F_Y \cdot F_R \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

$$F_Y = F_L \cdot \sqrt{(P_1 - (F_F \cdot P_V))}$$

ΔP

Onde:

Das Tabelas Técnicas do Apêndice C , temos $P_c = 3206$ e $P_v = 0,96$ para $T = 90^\circ F$

Logo:

$$F_F = 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} = 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{0,70}{3206}} = 0,9558$$

Então:

$$F_Y = 0,97 \cdot \sqrt{\frac{(115 - (0,95 \cdot 0,70))}{50}} = 1,46$$

Portanto teremos que:

$$F_P C_v = \frac{Q \sqrt{G}}{\sqrt{\Delta P \cdot N_1 \cdot F_Y \cdot F_R}} = \frac{260 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{50 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}} = 37$$

Verificamos em catálogos de fabricante e escolhemos uma válvula com 3" de diâmetro cujo C_v nominal é **110**. Portanto como a válvula tem o mesmo diâmetro da linha $F_P = 1$, e conseqüentemente $C_v = 37$.

Isso significa que essas duas válvulas irão trabalhar a **34%** da sua capacidade nominal, e como a característica de vazão selecionada é do tipo porcentagem, ambas trabalharão com abertura ao redor de **72%** do curso total.

5)

Fluido = Metano
Vazão (Q) = 1.500 m³/h (nas condições do fluido)
Pressão de Entrada (P₁) = 8 Kg/cm² abs
Pressão de Saída (P₂) = 6 Kg/cm² abs
Temperatura (T) = 27 ° C
Diâmetro da Linha = 100 mm (SCH 40)

SOLUÇÃO:

Vamos, neste exemplo, admitir que seja utilizada uma válvula tipo esfera.

Face aos dados fornecidos, a equação mais conveniente para o cálculo do C_v é:

$$Q = N_7 \cdot F_P \cdot C_v \cdot P_1 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{x}{\dots}}$$

G.T.Z

Como estamos trabalhando com uma válvula que trabalhará com gás, e cuja vazão é dada em unidades volumétricas, necessitaremos verificar se a vazão dada é normalizada e correspondente às condições normais de pressão e temperatura. Após a verificação, constatamos que precisamos corrigir a vazão dada para as condições normais. Sabemos que nas Condições Normais de Pressão e Temperatura (CNPT) , temos $P_N = 1 \text{ atm}$ e $T_N = 15^\circ \text{ C}$.Assim:

$$Q_N = \frac{Q_{\text{REAL}} \cdot P_1 \cdot T_N}{P_N \cdot T_{\text{REAL}}} = \frac{1500 \cdot 8 \cdot (15 + 273)}{(1) \cdot (27 + 273)} = 11.520 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Portanto essa será a vazão utilizada nas equações do cálculo do Cv.

Da tabela da fig.42, obtemos que $N_7 = 417$

Das Tabelas Técnicas do Apêndice C, verificamos que para metano $G = 0,55$

Da tabela da fig.47, para uma válvula esfera $X_T = 0,15$

Para calcularmos Z , temos que:

$$X = \Delta P / P_1 = 2/8 = 0,25$$

$$P_r = P_1 / P_C = 8/46 = 0,17$$

$$T_r = T_1 / T_C = 300 / (-82 + 273) = 1,57$$

Com estes dados na figura 6.7, encontramos $Z = 1,0$

Para calcularmos F_k :

$$F_k = \frac{K}{1,40} \quad \text{e} \quad K = \frac{C_p}{C_v}$$

Das Tabelas Técnicas do Apêndice C , temos que para o metano:
 $C_p = 0,5271$ e $C_v = 0,403$.

Então:

$$K = \frac{0,5271}{0,403} = 1,307 \quad \text{e} \quad F_k = \frac{1,307}{1,40} = 0,93$$

Assim:

$$F_k.X_T = 0,93 \cdot 0,15 = \mathbf{0,14}$$

Como o valor de x é maior do que $F_k X_T$, o valor de x a ser utilizado na equação para cálculo do CV será **0,14**. Isso mostra que na válvula esfera uma queda de pressão de 15% da pressão de entrada, é suficiente para produzir uma vazão bloqueada, portanto:

$$Y = 1 - \frac{x}{3.F_k.X_T} = 1 - \frac{0,14}{3 \cdot 0,14} = \mathbf{0,66}$$

Portanto:

$$Q = N_7.F_P.C_V.P_1.Y \cdot \sqrt{\frac{x}{G.T.Z}} =$$

$$11520 = 417 \cdot (F_P.C_V) \cdot 8 \cdot 0,66 \cdot \sqrt{\frac{0,14}{0,55 \cdot 300 \cdot 1}}$$

Então:

$$F_P.C_V = \mathbf{180}$$

Vamos inicialmente, selecionar uma válvula de 50 mm (2") a ser instalada na linha de 100 mm. O C_V nominal para a válvula de 50mm é **339**.

$$F_P = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum K}{N_2} \cdot \left(\frac{C_V}{d^2}\right)^2}}$$

Onde:

$$K = K_1 + K_2 = 1,5 \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 = 1,5 \cdot \left(1 - \frac{50^2}{100^2}\right)^2 = \mathbf{0,84}$$

Assim:

$$F_P = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0,84}{0,00214} \cdot \left(\frac{339}{50^2}\right)^2}} = \mathbf{0,35}$$

Contudo, precisamos voltar aos cálculos para introduzirmos uma correção devido à tubulação, pois sempre que $F_P < 1$, o valor de X_T deve ser corrigido para X_{TP} e portanto todos os cálculos devem ser novamente revisados. Como o valor de $N_3.C_V/d^2$ é bem superior aos listados na tabela da fig. 44, o valor de X_{TP} deverá ser obtido através da

seguinte equação:

$$X_T \cdot F_P = X_{TP} = \frac{X_T}{F_P^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{X_T \cdot K_i \cdot (C_v/d^2)^2}{N_5}}$$

Logo:

$$X_{TP} = \frac{0,15}{(0,47)^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{0,15 \cdot K_i \cdot (339/50^2)^2}{0,00241}}$$

Onde:

$$K_i = K_1 + K_{B1} = 0,5 \cdot (1 - (50/100)^2)^2 + (1 - (50/100)^4) = 1,21$$

Então:

$$X_{TP} = \frac{0,15}{(0,47)^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{0,15 \cdot 1,21 \cdot (339/50^2)^2}{0,00241}} = 0,28$$

Portanto devemos substituir X_T por X_{TP} , ou seja:

$$F_K \cdot X_{TP} = 0,93 \cdot 0,28 = 0,26$$

Como $x = 0,25$, temos $x < F_K \cdot X_{TP}$, portanto

$$Y = 1 - \frac{x}{3 \cdot F_K \cdot X_T} = 1 - \frac{0,25}{3 \cdot 0,39} = 0,68$$

Finalmente voltando a equação inicial teremos:

$$11520 = 417 \cdot (F_P \cdot C_v) \cdot 8 \cdot 0,78 \sqrt{\frac{0,25}{0,55 \cdot 300 \cdot 1}}$$

Então:

$$F_P \cdot C_v = 130$$

Como $F_P = 0,35$, teremos:

$$C_v = \frac{130}{0,35} = 372$$

Esse C_v é superior ao nominal selecionado, evidenciando que a escolha inicial de **50 mm** é **subdimensional**. Vamos então escolher então uma válvula de 76 mm (3"), e

teremos então:

$$C_{VNOMINAL} = 530$$

Portanto, teremos:

$$F_P = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum K}{N_2} \cdot \left(\frac{C_V}{d}\right)^2}}$$

Onde:

$$K = K_1 + K_2 = 1,5 \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 = 1,5 \cdot \left(1 - \frac{76^2}{100^2}\right)^2 = 0,27$$

Assim:

$$F_P = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0,27}{0,00214} \cdot \left(\frac{530}{50}\right)^2}} = 0,69$$

Calculando X_{TP} , teremos:

$$X_{TP} = \frac{0,15}{(0,47)^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{0,27 \cdot K_i \cdot (530/76^2)^2}{0,00241}}$$

Onde:

$$K_i = K_1 + K_{B1} = 0,5 \cdot \left(1 - \left(\frac{76}{100}\right)^2\right)^2 + \left(1 - \left(\frac{76}{100}\right)^4\right) = 0,75$$

Então:

$$X_{TP} = \frac{0,15}{(0,47)^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{0,27 \cdot 0,75 \cdot (530/76^2)^2}{0,00241}} = 0,22$$

Portanto devemos substituir X_T por X_{TP} , ou seja:

$$F_K \cdot X_{TP} = 0,93 \cdot 0,22 = 0,20$$

Como $x = 0,25$, temos $x > F_K \cdot X_{TP}$, portanto $x > F_K \cdot X_{TP} = 0,20$

Então:

$$Y = 1 - \frac{x}{3.F_k.X_T} = 1 - \frac{0,20}{3.0,20} = 0,66$$

Finalmente voltando a equação inicial teremos:

$$11520 = 417. (F_P.C_v).8.0,66 \sqrt{\frac{0,20}{0,55.300.1}}$$

Então:

$$F_P.C_v = 150$$

Como $F_P = 0,69$, teremos:

$$C_v = \frac{150}{0,69} = 217$$

A válvula escolhida será, portanto, de **76 mm** de diâmetro e estará trabalhando numa abertura de aproximadamente **77%**

6)

Fluido = Mistura de ar + Água

Vazão_{ar} (W_g) = 460 lb/h

Vazão_{água} (W_g) = 20.000 lb/h

Pressão de Entrada (P₁) = 100 psia

Pressão de Saída (P₂) = 64 psia

Temperatura (T) = 80 ° F

Diâmetro da Linha (D) = 3" (SCH 40)

SOLUÇÃO:

$$W = N_6.F_P.F_Y.F_R.C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{V_e}}$$

Temos $F_R = 1$, pois trata-se de um escoamento em regime turbulento.

$$\text{Temos: } V_e = \frac{f_g.V_{gl}}{Y^2} + f_f.V_f$$

Onde:

$$v_{gl} = \frac{R_o \cdot T_1}{144 \cdot M \cdot P_1}$$

Das tabelas técnicas do Apêndice C temos **M= 29** e **R_o = 1545**, então:

$$v_{gl} = \frac{1545 \cdot 540}{144 \cdot 29 \cdot 100} = 1,99 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

Das tabelas técnicas do Apêndice C temos: **v_f = 0,016072 ft³/lb**

$$f_g = \frac{W_g}{(W_g + W_f)} = \frac{460}{(460 + 20000)} = 0,0225$$

$$f_f = 1 - f_g = 1 - 0,0225 = 0,9775$$

Vamos assumir inicialmente uma válvula tipo globo sede simples contorno, onde da tabela da fig.47 teremos **X_T = 0,70** e **F_L = 0,91**. Teremos então:

$$F_k = \frac{1,40}{1,40} = 1 \quad \text{e} \quad F_k \cdot X_T = 1 \cdot 0,70 = 0,70$$

$$Y = 1 - \frac{x}{3 \cdot F_k \cdot X_T} = 1 - \frac{0,36}{3 \cdot 1 \cdot 0,70} = 0,83$$

Finalmente:

$$v_e = \frac{0,0225 \cdot 1,99}{0,83^2} + 0,9775 \cdot 0,016072 = 0,080 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

Temos:

$$F_Y = F_L \cdot \sqrt{\frac{P_1 - F_F \cdot P_V}{\Delta P}}$$

Onde:

$$F_F = 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{P_V}{P_C}} = 0,96 - 0,28 \cdot \sqrt{\frac{0,50}{3206}} = 0,95$$

Então:

$$F_Y = 0,91 \cdot \sqrt{\frac{100 - (0,95 \cdot 0,50)}{(100 - 64)}} = 1,51$$

Portanto:

$$F_P C_v = \frac{20 \cdot 460}{63,3 \cdot 1} \cdot \sqrt{\frac{0,080}{36}} = 15,23$$

Devido à expansão gasosa, é recomendável a utilização de internos com capacidade reduzida. Desta forma escolheremos uma válvula de 2" cujo C_v nominal é **26**. Assim sendo teremos a seguinte correção em função do fator F_P :

$$\frac{N_3 \cdot C_v}{d^2} = \frac{1 \cdot 26}{2^2} = 6,5$$

$$\frac{d}{D} = \frac{2}{3} = 0,66$$

Com estes valores vamos no gráfico da fig. 44 e encontraremos $F_P=1,0$

Finalmente:

$$F_P \cdot C_v = 1 \cdot 26 = 26$$

A referida válvula vai trabalhar a **58%** da sua capacidade.

7)

Fluido = HC líquido + vapor

Vazão líquido (Q_f) = 1525 GPM

Vazão vapor = 4,5% da vazão total (w_f) à entrada da válvula

Vazão vapor = 15,8% da vazão total (w_f) à saída da válvula.

Pressão de Entrada (P_1) = 391 psia

Pressão de Saída (P_2) = 205 psia

$K = 1,16$

Pressão do vapor HC (P_v) = 391 psia

G (líquido) = 0,5

Temperatura (T) = 105 ° F

Diâmetro da Linha (D) = 8 "(SCH 40)

G (vapor) = 1,0

Pressão Crítica (P_c) = 592 psia

Peso Molecular (M) = 36,1

SOLUÇÃO:

$$W = N_6 \cdot F_P \cdot C_v \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{X \cdot P_1}{V_e}}$$

Inicialmente, devemos calcular as vazões em ambas as fases:

Vazão da fase líquida :

Por definição **1 (GPM) = 500.G (lb/h)**

Então:

$$w_f = 1525 \text{ (GPM)} = 1525 \cdot 500 \cdot 0,5 = \mathbf{381.250 \text{ lb/h}}$$

Vazão total à entrada da válvula (wt) :

$$w_t = (381250 \cdot 100)/95,5 = \mathbf{399.215 \text{ lb/h}}$$

Vazão de fase vapor:

$$w_v = 399.215 \cdot 0,045 = \mathbf{17.965 \text{ lb/h}}$$

Vamos então, selecionar inicialmente uma válvula globo sede dupla com obturador em "V" e da tabela da fig.47 então teremos **X_T = 0,79** e **F_L = 0,97**.

$$F_p \cdot C_v = \frac{W}{Y \cdot N_6} \cdot \sqrt{\frac{v_e}{X \cdot P_1}}$$

Da tabela da fig.42 temos **N₆ = 63,3**

$$Y = 1 - \frac{x}{3 \cdot F_k \cdot X_T}$$

$$x = \frac{\Delta P}{P_1} = \frac{(391 - 205)}{391} = \mathbf{0,476}$$

$$F_k = \frac{K}{1,4} = \frac{1,16}{1,4} = \mathbf{0,83}$$

$$F_k \cdot X_T = 0,83 \cdot 0,79 = \mathbf{0,65}$$

Como **x < F_k · X_T**, temos:

$$Y = 1 - \frac{0,476}{(3 \cdot 0,65)} = \mathbf{0,75}$$

Devemos calcular agora o valor de **v_e**:

$$V_e = \frac{f_g \cdot V_{gl}}{\gamma^2} + f_f \cdot V_f$$

Onde:

$$V_{gl} = \frac{R_o \cdot T_1}{144 \cdot M \cdot P_1} = \frac{1545 \cdot 565}{144 \cdot 36,1 \cdot 391} = 0,429 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$V_f = \frac{1}{62,4 \cdot G_f} = \frac{1}{62,4 \cdot 0,5} = 0,032 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$f_g = \frac{W_g}{W_t} = \frac{17965}{399215} = 0,045$$

$$f_f = 1 - f_g = 1 - 0,045 = 0,955$$

Portanto:

$$V_e = \frac{0,045 \cdot 0,429}{0,75^2} + (0,955 \cdot 0,032) = 0,065 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

Substituindo na fórmula de **Cv**, teremos:

$$F_P \cdot C_v = \frac{399215}{0,75 \cdot 63,3} \sqrt{\frac{0,065}{0,476 \cdot 391}} = 157$$

Selecionaremos uma válvula de 4" cujo **Cv** é **195**, e conseqüentemente teremos um **Fp** = **0,94**. Pela tabela da fig.47 temos **XTP** = **0,75** e como seu valor permanece praticamente igual ao de **Xt** não há necessidade de sua correção. Portanto:

$$C_v = \frac{157}{0,94} = 167$$

Uma válvula globo sede dupla de 4" com obturador em "V" trabalhará com **85%** da sua capacidade nominal.

7.4) CÁLCULO DE NÍVEL DE RUÍDO

Define-se como sendo ruído todo e qualquer som indesejável.

Uma válvula de controle pode gerar três tipos de ruídos com características diferentes:

7.4.1) RUÍDO MECÂNICO

É o ruído gerado através da vibração mecânica das partes móveis, por exemplo, haste.

7.4.2) RUÍDO HIDRODINÂMICO

É o ruído produzido por líquidos pelo fenômeno da cavitação. Este ruído pode ser calculado através da seguinte equação:

$$SPL = SPL_{\Delta P} + SPL_{\Delta} - SPL_C$$

Onde:

SPL = Nível de pressão sonora (nível de ruído) à 1 metro de distância da válvula e em função de tubulação Schedule 40 (dbA).

$SPL_{\Delta P}$ = Nível de ruído produzido em função da diferença entre a queda de pressão real do processo e a queda de pressão à qual a cavitação inicia-se. Obtém-se o mesmo através do gráfico da fig.55 (dbA).

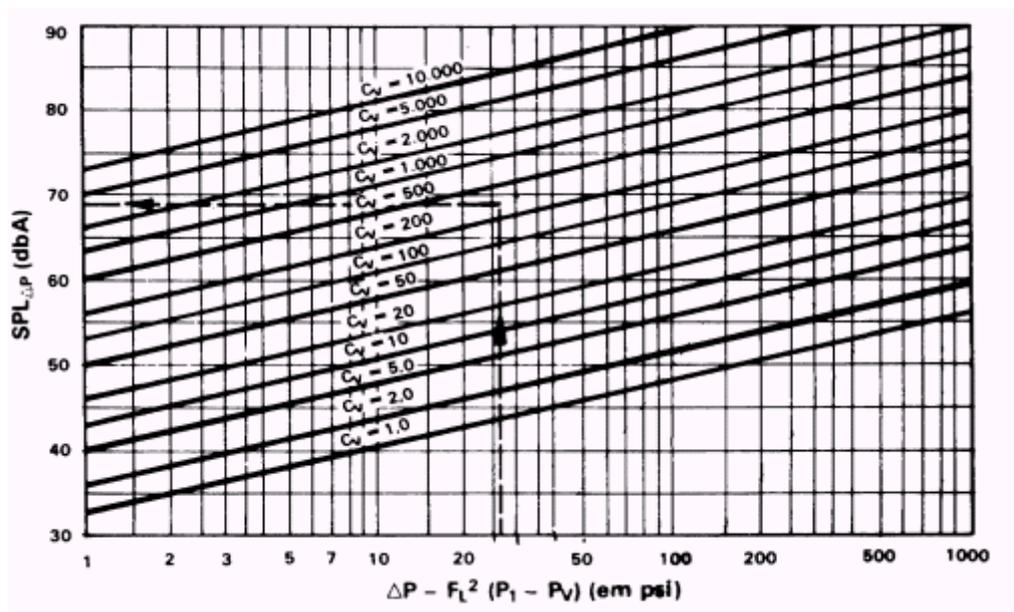


Fig.55 – Gráfico para obtenção do $SPL_{\Delta P}$

SPL_{Δ} = Nível de ruído produzido em função da queda de pressão $P_2 - P_V$. Obtém-se o mesmo através do gráfico da fig.56 (dbA)

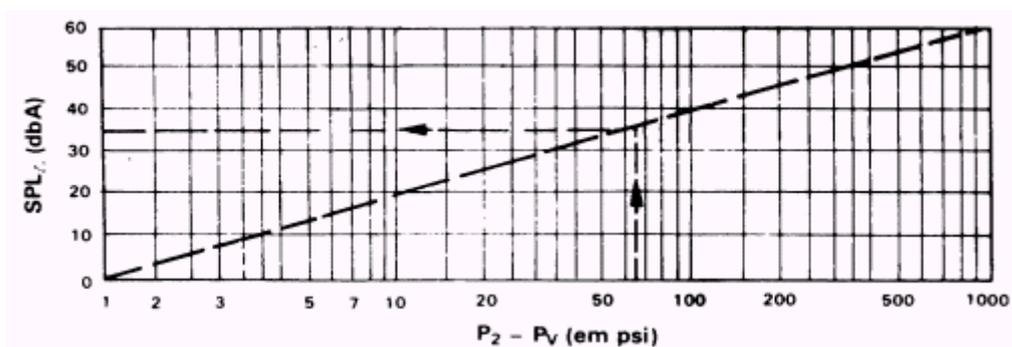


Fig.56 – Gráfico para obtenção do SPL_{Δ}

SPL_C = Correção do nível de ruído obtido através do gráfico da fig.57. O valor de SPL_C pode ser desprezado caso KC seja superior a

0,9 FL².

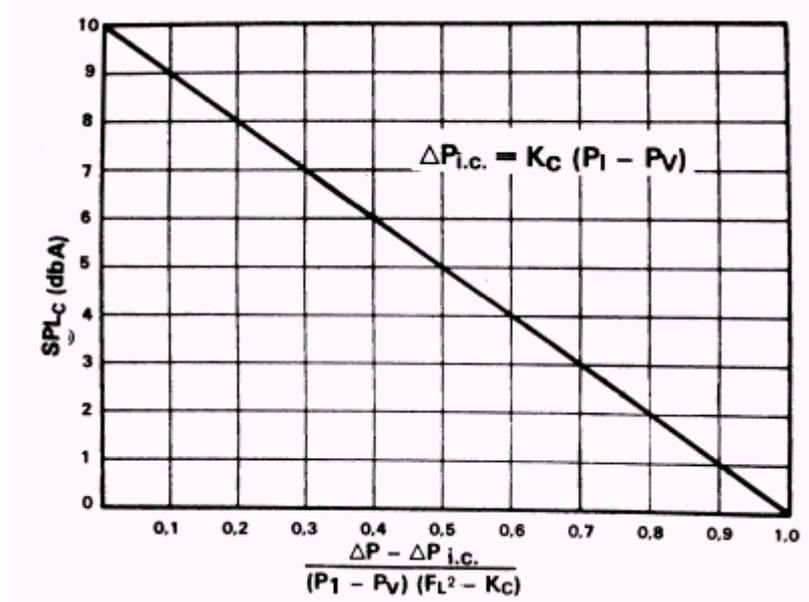


Fig. 57 – Gráfico para obtenção do SPL_c

7.4.3) RUÍDO AERODINÂMICO

É o ruído produzido pelo escoamento de gases e vapores em alta velocidade. Este tipo de ruído pode ser calculado através da seguinte equação:

$$\text{SPL} = \text{SPL}_Q + \text{SPL}_P + \text{SPL}_E + \text{SPL}_G - \text{SPL}_A$$

Onde:

SPL = Nível de ruído a 1 metro de distância da válvula (dbA). Para válvulas descarregando direto para a atmosfera, acrescente ao SPL o valor das perdas por transmissão (TL) obtido através do gráfico da fig. 58.

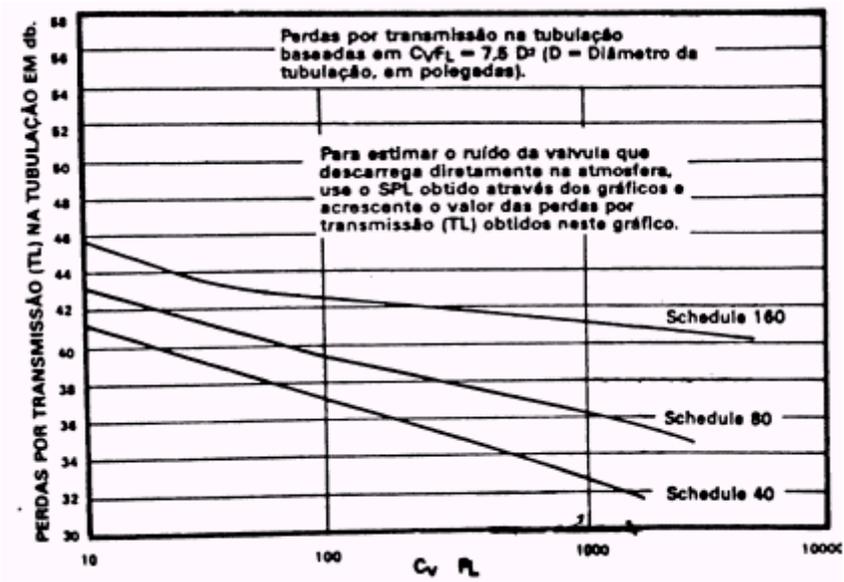


Fig.58 – Gráfico do valor das perdas por transmissão a serem acrescentadas ao valor de SPL, caso a válvula descarregue diretamente na atmosfera

SPL_Q = Nível de ruído em função da capacidade e tipo da válvula. Obtém-se o mesmo através do gráfico da fig.59 (dbA).

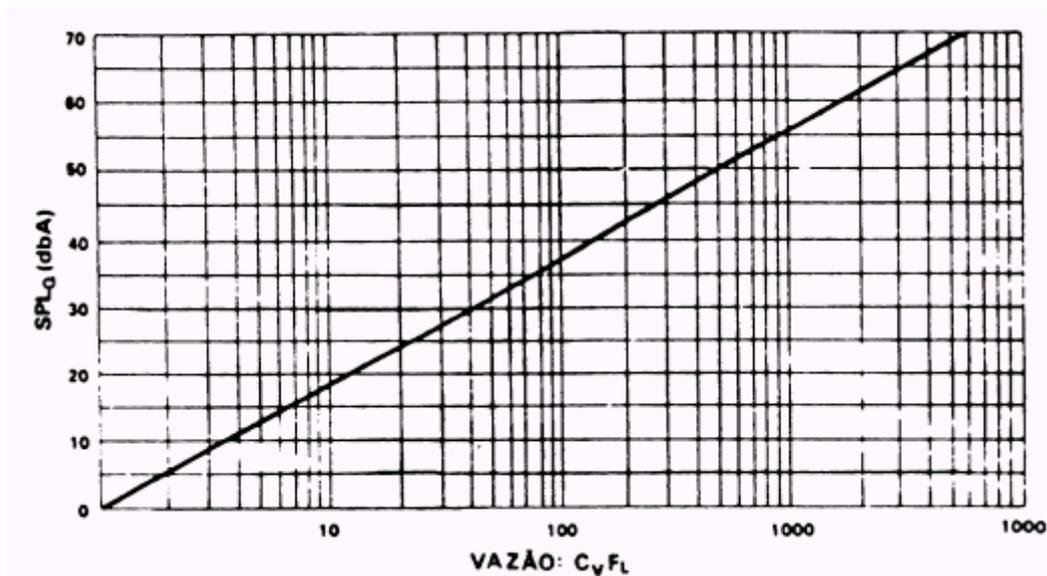


Fig.59 – Gráfico para obtenção do SPL_Q

SPL_P = Nível de ruído em função da pressão de entrada P_1 . Obtém-se seu valor através do gráfico da fig.60 (dbA)

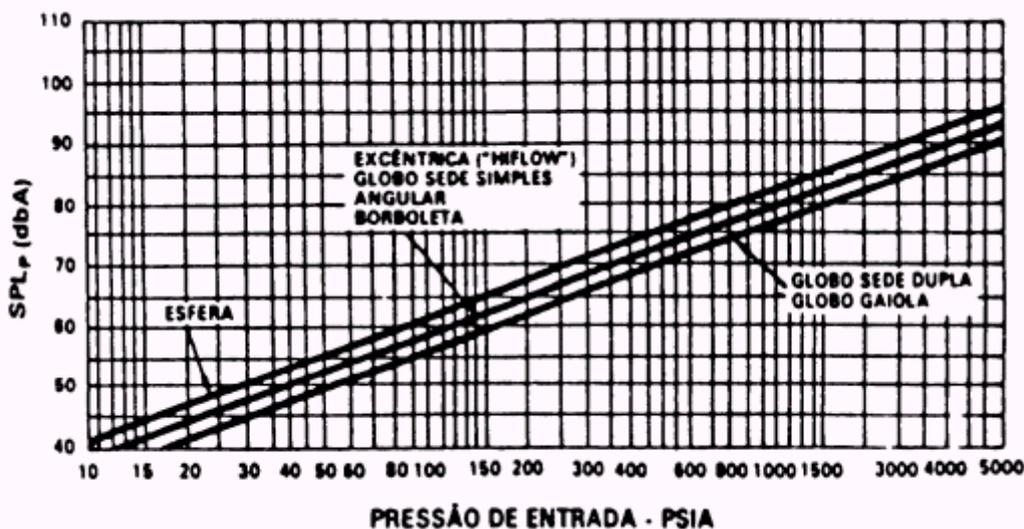


Fig.60 – Gráfico para obtenção do SPL_p

SPL_E = Nível de ruído, em função das diferentes eficiências, tidas para cada tipo de válvula, na transformação da energia mecânica acústica. Obtém-se o mesmo através da tabela da figura 61, a seguir:

P ₁ P ₂	FL - Fator de Recuperação de Pressão						
	1,00	0,95	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
1,15	-4,50	-4,50	-4,00	-1,00	2,50	7,00	9,00
1,20	0,00	0,00	0,50	3,00	7,00	11,00	12,00
1,30	5,00	5,00	5,00	8,50	12,00	12,50	13,00
1,40	8,50	8,50	9,00	12,00	13,00	13,50	14,00
1,50	11,00	11,00	11,50	12,50	14,00	14,50	15,00
1,60	13,00	13,00	13,50	14,50	15,00	15,00	15,20
1,70	14,50	14,50	15,00	15,50	15,50	15,50	15,50
1,80	16,00	16,00	15,50	16,00	16,00	15,80	15,80
1,90	16,50	16,50	16,00	16,50	16,50	16,00	16,00
2,00	18,00	17,50	17,50	17,00	17,00	16,50	16,50
2,50	25,50	23,00	21,50	19,00	18,50	18,00	18,00
3,00	29,50	25,00	23,50	21,50	20,10	19,50	19,00
3,50	30,50	28,00	25,00	22,50	21,50	20,50	20,00
4,00	31,50	29,00	26,00	23,50	22,00	21,50	21,00
5,00	32,50	30,50	27,00	24,00	23,00	22,00	21,50
6,00	33,50	31,50	27,50	25,00	24,00	23,00	22,50
7,00	34,00	32,00	28,00	26,00	24,50	23,50	23,00
8,00	34,30	32,50	28,50	26,50	25,00	24,00	23,50
9,00	35,20	33,00	29,00	27,00	25,50	24,50	24,00
10,00	36,00	34,00	30,00	27,50	26,00	25,00	24,50
15,00	37,50	35,50	32,00	29,00	27,50	26,50	26,00
20,00	39,00	37,00	34,00	30,00	29,00	27,50	27,00

Nota: Para tubulações com redutores na tubulação use FL_p ao invés de FL

Fig.61 – Valores para SPL_E

SPL_G = Nível de ruído em função do tipo de fluido e da temperatura. Já que a

densidade relaciona essas duas variáveis, o fator SPL_G , portanto, é função da densidade e seu valor pode ser obtido através da tabela da figura 62 a seguir (dbA), ou através da seguinte equação:

$$SPL_G = 20 \log (G) + 23 \log ((Vc)_{gás}/(Vc)_{ar})$$

Onde:

G = Gravidade específica do fluido

Vc = Velocidade Sônica..

Ruído	dB
Vapor Saturado	-2
Vapor Superaquecido	-2
Gás Natural	-1
Hidrogênio	-10
Oxigênio	0,5
Amônia	-2
Ar	0
Acetileno	-1
Dióxido de Carbono	1
Monóxido de Carbono	0
Hélio	-6,5
Metano	-1
Nitrogênio	0
Propano	1
Etileno	-1
Etano	-1

Fig.62 – Fator SPL_G referente ao tipo de fluido

SPL_A = Fator de atenuação produzido pela espessura da tubulação. Este fator pode ser obtido através da tabela da fig. 63, a seguir:

Diâmetro da Linha (pol)	Schedule do Tubo		
	40	80	160
1	14,5	17	19
1.1/2	15	17,5	20
2	15,5	18	21,5
3	18	20,5	23
4	18,5	21	24,5
6	20	23	27
8	21	24,5	28,5
10	22	25,5	30,3
12	22,5	26,5	31,3
14	23	27	32
16	24	28	33
18	25	29	33,5
20	25	29,5	34,5
24	26,5	31	35,5

Fig.63 – Fator de atenuação SPL_A

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS:

1) Calcular o ruído hidrodinâmico de uma válvula borboleta, operando nas seguintes condições

Fluído = Água
 $P_1 = 200$ psia
 $P_2 = 125$ psia
 $P_V = 58$ psia
 $T = 305$ ° F
 $d = 6$ "
 $C_V = 328$
 $F_L = 0,56$

SOLUÇÃO:

a) Cálculo de $SPL_{\Delta P}$

$$F_L^2 (P_1 - P_V) = 0,562 \cdot (200 - 58) = 44 \text{ psi}$$

$$\Delta P - F_L^2 (P_1 - P_V) = (200 - 125) - (0,562 \cdot (200 - 58)) = 31 \text{ psi}$$

Do gráfico da figura 55, obtemos $SPL_{\Delta P} = 70$ dbA

b) Cálculo de SPL_{Δ}

$$P_2 - P_V = 125 - 58 = 67 \text{ psi}$$

Do gráfico da figura 56, obtemos **$SPL_{\Delta} = 36$ (dbA)**

c) Cálculo de SPL_C

Como **$K_c > 0,9 FL^2$** , ou seja, $0,38 > 0,9 \cdot (0,56)^2 > 0,28$

Então **$SPL_C = 0$**

d) Cálculo de SPL

$SPL = SPL_{\Delta P} + SPL_{\Delta} - SPL_C = 70 + 36 - 0 = 106$ (dbA)

2) Calcular o ruído aerodinâmico de uma válvula esfera operando nas seguintes condições:

Fluído = Gás Natural

$P_1 = 1460$ psia

$P_2 = 250$ psia

$T = 100$ ° F

$G = 0,55$

$Q = 880.000$ SCFH

$C_v = 30$

$FL = 0,55$

$D = 1$ " (SCH. 80)

SOLUÇÃO:

a) Cálculo de SPL_Q

$C_v \cdot FL = 30 \cdot 0,55 = 16,5$

Do gráfico da figura 59, obtemos **$SPL_Q = 23$ (dbA)**

b) Cálculo de SPL_P

Como sabemos que a Pressão de Entrada (P_1) = 1460 psia, obtemos do gráfico da figura 60 que **$SPL_P = 85$ (dbA)**.

c) Cálculo de SPL_E

Sabendo-se que $P_1/P_2 = 1460/250 = 5,84$ e que $FL = 0,55$, obtemos da tabela da figura 61, **$SPL_E = 23$ (dbA)**

d) Cálculo de SPL_G

Sabendo-se que o fluído é gás natural, obtemos na tabela das fig. 62 **$SPL_G = -1$ (dbA)**

e) Cálculo de SPL_A

Sabendo-se que o diâmetro da linha é 1" e que o Schedule da tubulação é 80, obtemos na tabela 63, **SPL_A = 17 (dbA)**

f) Cálculo de SPL

$$\text{SPL} = \text{SPL}_Q + \text{SPL}_P + \text{SPL}_E + \text{SPL}_G + \text{SPL}_A =$$

Então:

$$\text{SPL} = 23 + 85 + 23 + (-1) - 17 = \mathbf{113 \text{ (dbA)}}$$

8) ATUADORES PARA VÁLVULAS DE CONTROLE

8.1) INTRODUÇÃO

O atuador constitui-se no elemento responsável em proporcionar a necessária força motriz ao funcionamento da válvula de controle.

O atuador em si, é um dispositivo que em resposta ao sinal enviado pelo controlador, produz a força motriz necessária para movimentar o elemento vedante da válvula de controle.

O atuador utilizado em aplicações de controle modulado, baseado no meio de produção de sua força motriz, classifica-se basicamente em cinco principais tipos:

- 1) Pneumático à mola ou diafragma;
- 2) Pneumático à pistão;
- 3) Elétrico;
- 4) Elétrico-hidráulico e
- 5) Hidráulico

8.2) ATUADOR PNEUMÁTICO TIPO MOLA E DIAFRAGMA

Este tipo de atuador utiliza um diafragma flexível, sobre o qual age uma pressão de carga variável em oposição à força produzida por uma mola. O diafragma é alojado entre dois tampos, formando duas câmaras, uma das quais totalmente estanque, por onde entra o sinal da pressão de carga. A força motriz é obtida pelo produto da pressão de carga, que é o sinal proveniente do controlador ou do posicionador, pela área útil do diafragma.

O atuador mola e diafragma pode ter dois modos de ação, dependendo da posição de segurança requerida pelo processo na falha ou falta da pressão de carga :

a) Ação Direta

Conforme mostra a figura 64.a, neste tipo de ação o aumento da pressão de carga sobre o diafragma empurra a haste para baixo, enquanto a mola força a haste para cima.

b) Ação Reversa

Conforme mostra a figura 64.b, neste tipo de ação o aumento da pressão de carga sobre o diafragma puxa a haste para cima, enquanto a mola força a haste para cima

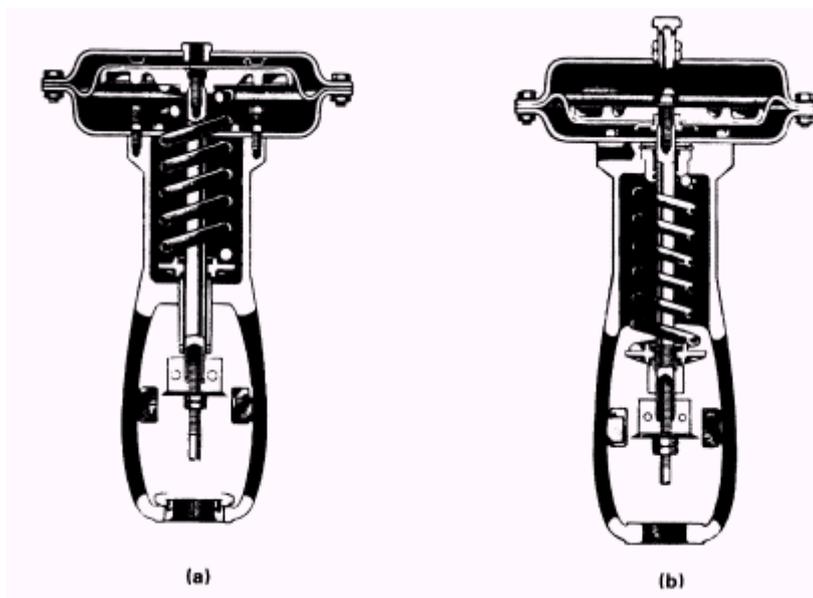


Fig.64 – Atuadores pneumáticos tipo mola e diafragma

Para termos uma noção, o tamanho do atuador tipo mola e diafragma é diretamente proporcional ao diâmetro do diafragma, conforme tabela da figura 65.

DIÂMETRO DA VÁLVULA (POL.)	1/2-3/4-1						1,1/2						2"-2,1/2					
	125 a 600			900 e 1500			125 a 600			900 e 1500			125 a 600			900 e 1500		
TAMANHO DO ATUADOR	06	07	08	09	08	09	07	08	09	08	09	08	09	10	08	09	10	
ÁREA EFETIVA DO ATUADOR (POL.)	DIR.	47,40	70,58	70,58	106,62	70,58	106,62	70,58	106,62	70,58	106,62	70,58	106,62	154,38	70,58	106,62	154,38	
	REV.	54,38	70,19	70,19	106,03	70,19	106,03	70,19	106,03	70,19	106,03	70,19	106,03	166,51	70,19	106,03	166,51	
MÁXIMO CURSO (POL.)	3/4						3/4						1 1/8					
DIÂMETRO HASTE DA VÁLVULA (POL.)	NORM.	3/8	3/8		1/2	1/2	3/8			1/2	1/2	1/2	1/2		1/2	1/2		
	REF.			1/2	1/2			1/2	1/2					3/4			3/4	
CARGA MÁXIMA NA HASTE DA VÁLVULA (LB)	1500	1500	2500	2500	2500	2500	1500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	5000	2500	2500	5000	
DIÂMETRO DA VÁLVULA (POL.)	3-4						6-8						10-12-14					
CLASSE	125 a 600			900 e 1500			125 a 600			900 e 1500			125 a 600			900 e 1500		
TAMANHO DO ATUADOR	09	10		10	11	12	10	11	12			10	11	12	11	12		
ÁREA EFETIVA DO ATUADOR (POL.)	DIR.	106,62	154,38	154,38	167,12	275,30	154,38	167,12	275,30	154,38	167,12	275,30	167,12	275,30	167,12	275,30		
	REV.	106,03	166,51	166,51	181,95	277,80	166,51	181,95	277,80	166,51	181,95	277,80	181,95	277,80	181,95	277,80		
MÁXIMO CURSO (POL.)	1,1/2						2						3					
DIÂMETRO HASTE DA VÁLVULA (POL.)	NORM.	1/2			3/4		3/4					3/4			1	1		
	REF.			3/4		1	1			1	1		1	1				
CARGA MÁXIMA NA HASTE DA VÁLVULA (LB)	2500	5000	5000	8000	8000	8000	5000	8000	8000	5000	8000	8000	5000	8000	8000	8000	8000	

Fig.65 – Tamanhos de atuadores pneumáticos tipo mola e diafragma em função do diâmetro da válvula

8.3) ATUADOR PNEUMÁTICO TIPO PISTÃO

O princípio de funcionamento do atuador tipo pistão é idêntico ao tipo mola e diafragma, visto que a única diferença entre os mesmos é a troca do diafragma por um pistão, conforme mostrada na figura 66.

Existem dois tipos básico de atuadores à pistão:

8.3.1) ATUADOR À PISTÃO COM DESLOCAMENTO LINEAR

São atuadores à pistão, conforme figura 66a, concebidos para operarem válvulas com deslocamento linear. Ex: Válvula Globo.

8.3.2) ATUADOR À PISTÃO COM DESLOCAMENTO ROTATIVO

São atuadores à pistão, conforme figura 66.b, concebidos para operarem válvula rotativas. Ex: Válvulas borboletas.

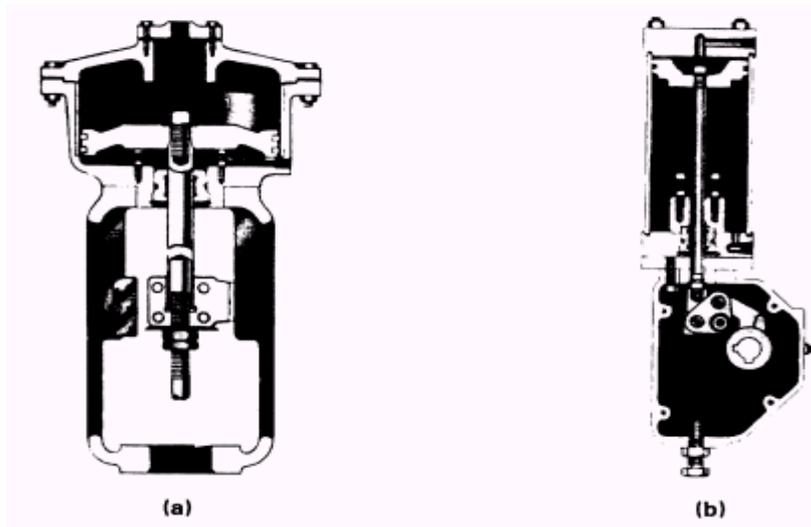


Fig.66 – Atuadores pneumáticos tipo pistão

8.4) ATUADOR ELÉTRICO

Os atuadores elétricos consistem de um motor com um conjunto de engrenagens, que disponibiliza uma elevada faixa de torque de saída, para operação tanto de válvulas com deslocamento linear quanto de deslocamento rotativo, conforme figuras 67.

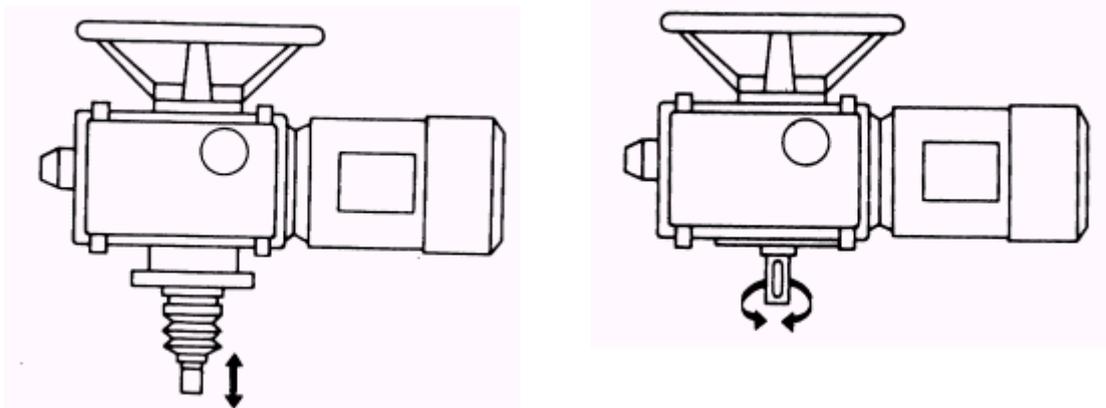


Fig.67 – Atuadores Elétricos

8.5) ATUADOR ELETRO-HIDRÁULICO

Este tipo de atuador, conforme mostra a figura 68, consiste de uma unidade de bombeamento de óleo a altas pressões e de uma bobina, que ao ser sensibilizada por um sinal de corrente, gera um campo magnético que faz o deslocamento de uma palheta provocando a obstrução maior ou menor de um bocal, através do qual escoa óleo a uma alta pressão. O escoamento deste óleo para o pistão, origina o deslocamento do mesmo e produz uma elevada força motriz.

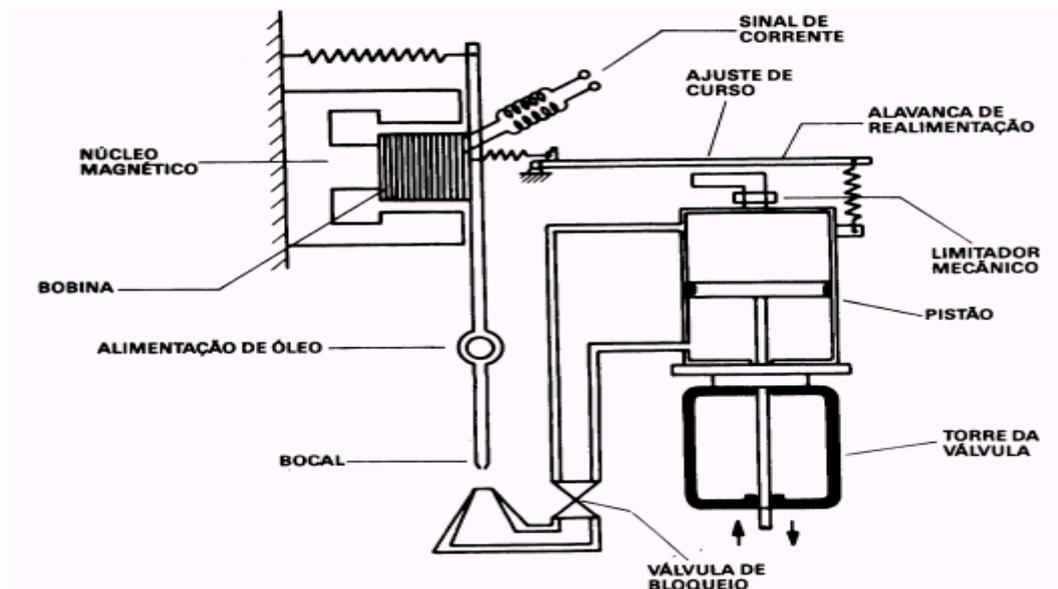


Fig.68 Esquema de uma atuador eletro-hidráulico

8.6) POSIÇÃO DE SEGURANÇA POR FALHA

Define-se posição de segurança por falha de energia de suprimento como sendo a posição que a válvula deve assumir, fechada ou aberta, em caso de falha. Sendo esta falha motivada por falha mecânica do atuador ou por falha no sistema de energia de suprimento.

A escolha da posição de segurança deve ser baseada nas condições de segurança do processo industrial, no qual a válvula será instalada, conforme mostra a figura 69.

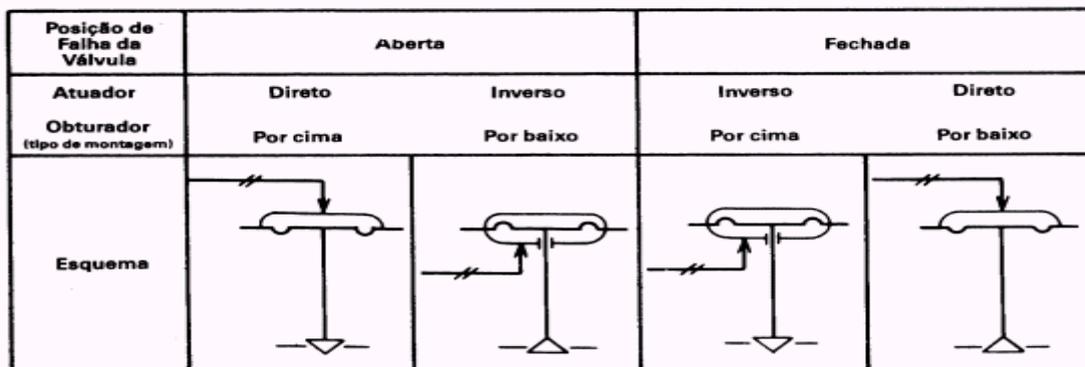


Fig.69 – Posições de segurança por falha em função das diversas combinações entre atuador e obturador

TIPO DE ATUADOR	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Mola e Diafragma	<p>Baixo custo Simplicidade Posição de segurança por falha é inerente Necessidade de baixa pressão de ar de suprimento Ajustabilidade Facilidade de manutenção Capacidade de operação sem a necessidade do uso de posicionador Resposta rápida Seguro em aplicações eletricamente perigosas</p>	<p>Torques limitados Limitação quanto à temperatura Inflexibilidade para alterações das condições de serviço</p>
Cilindro ou Pistão	<p>Capacidade de torque elevado Compactidade Menor peso Adaptabilidade às altas temperaturas do meio ambiente Adaptabilidade às variações dos requisitos de torque da válvula Resposta rápida Seguro em aplicações eletricamente perigosas</p>	<p>Posição de segurança por falha, requer acessórios opcionais Necessidade do uso do posicionador para aplicações em controle modulado Maior custo que o atuador tipo mola e diafragma Necessidade de alta pressão de ar de suprimento</p>
Elétrico	<p>Compactidade Aptidão para aplicações remotas</p>	<p>Alto custo Falta de posição de segurança por falha Habilidade limitada para sistemas de controle modulado Resposta lenta</p>

		Falta de ajustabilidade
Eletro-Hidráulico	Capacidade de altíssimo torque Ótima rigidez construtiva Excelente estabilidade dinâmica contra as forças do fluido Resposta rápida	Alto custo Complexidade Grande peso e tamanho Posição de segurança por falha requer acessórios opcionais

Tabela 6 – Vantagens e Desvantagens por Tipo de Atuador

9) ACESSÓRIOS DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

9.1) INTRODUÇÃO

Neste capítulo descreveremos os principais e mais comuns acessórios de uma válvula de controle. São chamados de acessórios todos os dispositivos que são utilizados em válvulas para se obter determinadas adaptações ao sistema de controle utilizado ou sofisticações quanto dos mesmos.

Os principais tipos de acessórios utilizados são:

9.2) POSICIONADORES

Define-se como posicionador, o dispositivo que transmite pressão de carga para o atuador, permitindo posicionar a haste da válvula no valor exato determinado pelo sinal de controle.

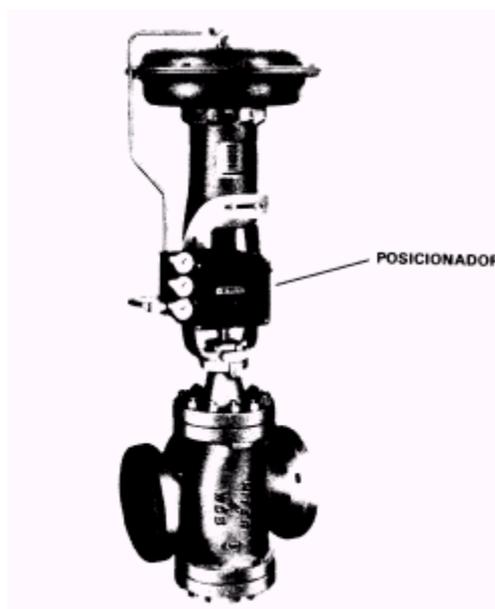


Fig.70 – Posicionador pneumático montado em uma válvula de controle tipo globo

Um posicionador opera adequadamente quando o seu tempo de resposta somado ao tempo de posicionamento da válvula é muito mais rápido que o tempo de atuação requerido pelo

processo.

Devido a isto em sistemas lentos tais como: controle de temperatura, controle de nível de líquido, controle de temperatura, etc. , o posicionador é utilizado, conforme mostrado na figura 71.a.

Em sistemas rápidos tais como o controle de pressão ou de vazão de um líquido, um “booster” amplificador é normalmente utilizado com sensíveis vantagens, conforme mostrado na figura 71.b

Os principais tipos de posicionadores são:

- a) Pneumático
- b) Eletro-pneumático
- c) Inteligente

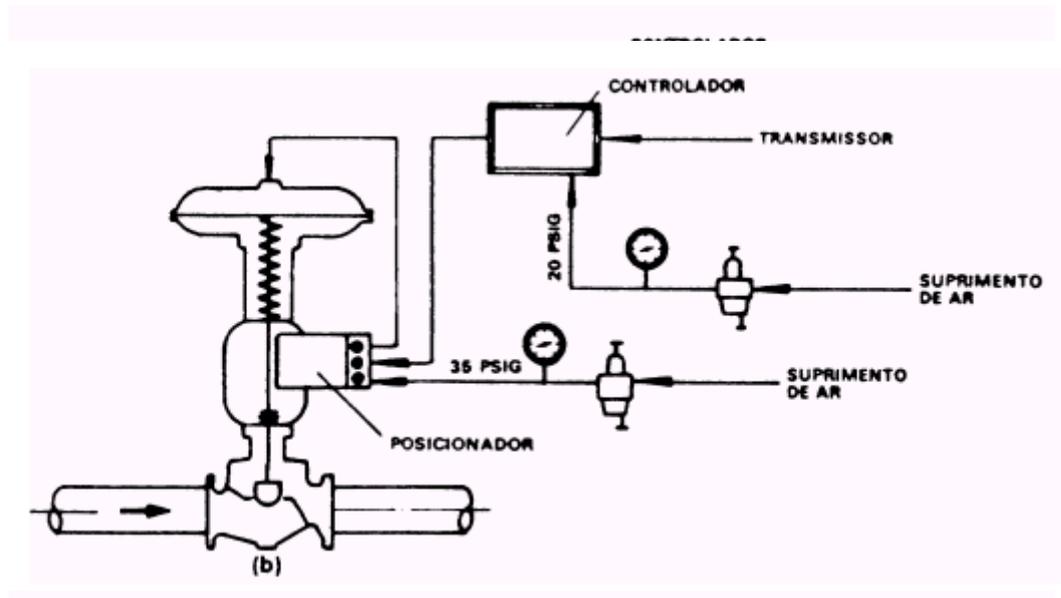


Fig. 71.a – Esquema de uma válvula operando sem posicionador

Fig. 71.b – Esquema de uma válvula operando com posicionador

9.2.1) POSICIONADOR PNEUMÁTICO

O princípio de funcionamento deste tipo de posicionador, conforme mostrado na figura 72, consiste na atuação do sinal de saída de um controlador sobre um fole, fazendo com que o mesmo se expanda ou retraia deflexionando assim uma palheta que provocará a obstrução ou abertura de um bocal.

Esta obstrução ou abertura do bocal faz com que haja um deslocamento do diafragma do relé, e conseqüente movimento da válvula interna de suprimento de ar, aumentando ou diminuindo a pressão sobre o diafragma do atuador da válvula, o que provocará o movimento da haste da

mesma.

O posicionamento da haste da válvula é verificada por meio de um excêntrico que envia a informação correta da posição da haste à palheta, fazendo a mesma afastar-se ou aproximar-se do bocal.

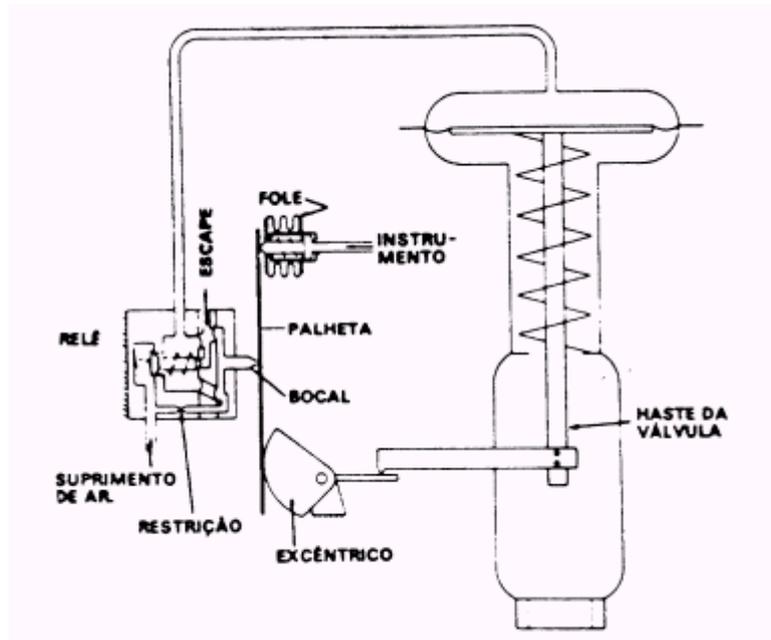


Fig.72 – Esquema do princípio de funcionamento do posicionador pneumático

9.2.2) POSICIONADOR ELETRO-PNEUMÁTICO

O posicionador eletro-pneumático diferencia-se do posicionador pneumático somente pelo fato de aceitar um sinal elétrico, normalmente analógico, em sua entrada.

O princípio de funcionamento deste tipo de posicionador, conforme mostrado na figura 73, baseia-se em uma força eletromotriz originada por um sinal elétrico que alimenta uma bobina, que tem que ser balanceada por uma mola que é defletida pelo movimento da haste da válvula.

Esta força provocará uma deflexão na palheta, e conseqüente abertura ou obstrução do bocal de ar, resultando daí, uma variação no sinal de ar, o qual por sua vez, depois de ser amplificado num relé, moverá a haste do atuador até a posição desejada.

A variação na posição faz aumentar a tensão na mola de realimentação até que a força eletromotriz na bobina esteja balanceada.

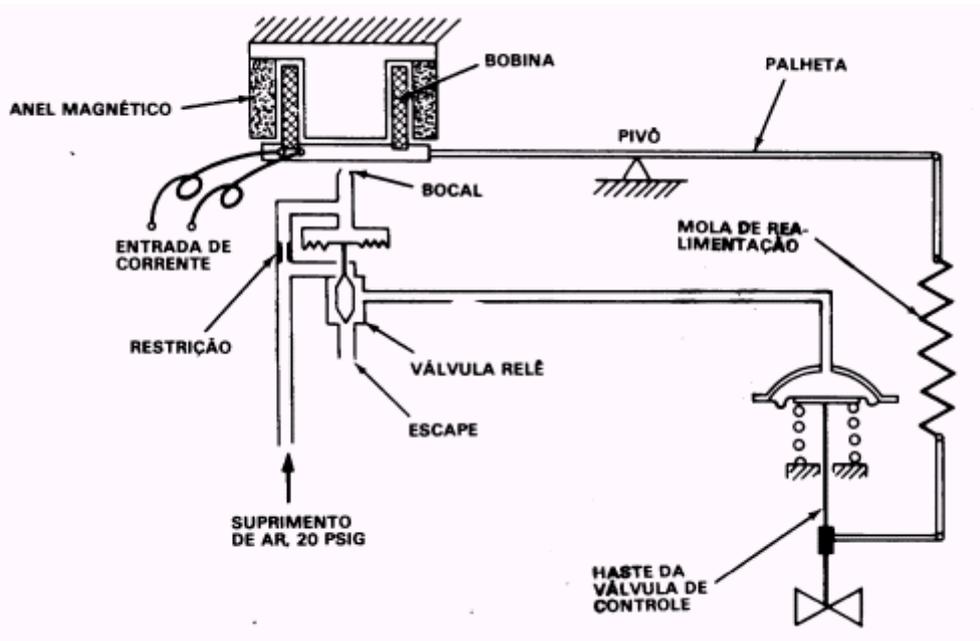


Fig.73 – Esquema do princípio de funcionamento do posicionador eletro-pneumático

9.2.3) POSICIONADOR INTELIGENTE

A grande diferença entre um posicionador eletro-pneumático comum e um posicionador inteligente está na possibilidade de se ter diferentes curvas para abertura e fechamento de uma válvula de controle. Aliados a isso temos uma tecnologia digital, calibração via teclado ou programador, e em alguns modelos a realimentação da posição da válvula é feita por sensores magnéticos ao invés de link mecânico.

Atualmente alguns fabricantes incorporaram ao posicionador inteligente, interfaces inteligentes para válvulas, que possuem sensores de posição e de pressão incorporados que permitem funções de diagnóstico de performance da válvula de controle.

Algumas das importantes características funcionais e de diagnóstico destas interfaces, além da monitoração de posição, são:

- Auto-calibração
- Auto-ajuste
- Came digital para caracterização do fluxo
- Banco de dados
- Medição de atrito
- Medição de ciclos
- Velocidade de curso
- Monitoração dos tempos de resposta
- Histórico de calibração e da configuração

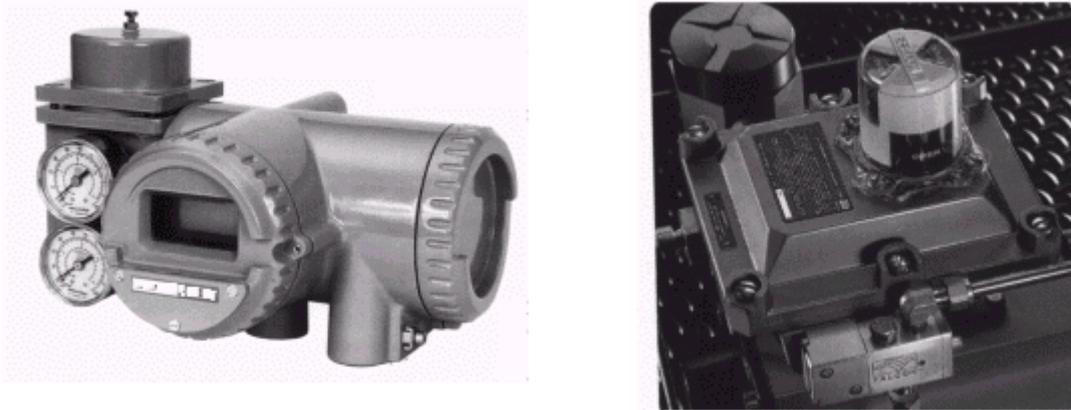


Fig. 74 – Modelos de Posicionadores Inteligentes

9.2.4) APLICAÇÕES RECOMENDADAS PARA USO DE UM POSICIONADOR

Basicamente, são as seguintes aplicações recomendadas para utilização de um posicionador em uma válvula de controle:

a) Para Compensar a Força Gerada pelo Atrito:

Nas aplicações em processos de alta pressão ou outras aplicações onde a vedação da válvula tem que ser bastante apertada para evitar vazamentos, há o surgimento de um atrito considerável contra a haste, produzindo-se uma histerese e tempo morto maior que o limite normalmente aceito. Neste caso aconselha-se a utilização de um posicionador para enviar maior volume de ar, compensando o atraso na resposta da válvula devido às excessivas forças de atrito nas gaxetas.

b) Para Aumentar a Velocidade de Resposta da Válvula:

Se uma válvula de controle for operada diretamente por um controlador pneumático, a velocidade de operação da válvula depende da:

- 1) distância entre o controlador e a válvula e diâmetro da tubulação do sinal do controlador que vai até a válvula;
- 2) volume do atuador e
- 3) capacidade do relé do controlador

Ao utilizarmos um posicionador na válvula, o sinal do controlador irá direto para o posicionador, e este não requer volume de ar muito grande para operar a válvula fazendo assim que a velocidade de resposta da válvula aumente, conforme mostrado na tabela da figura 75, a seguir:

Área	Curso	Constante	Tempo de Resposta (segundos)
------	-------	-----------	------------------------------

do Diafragma (poleg.2)	do Válvula (poleg.)	de Tempo do Posicionador (segundos)	Válvula com Posicionador Pneumático	Válvula com Solenóide de 1/4"	Sinal do Controlador Direto no Atuador		
					Com "Booster" de Volume	Com Relé no Controlador	Sem qualquer Acessório
50	3/4	4	3	2	1	4	15
75	1	8	6	2,5	2	7	32
100	1. 1/2	12	10	4	3	16	70
150	2	20	20	9	6	28	140
200	3	36	40	17	10	65	260

Fig. 75 – Velocidade na resposta de uma válvula com e sem acessórios

c) Para Operar Atuadores Pneumáticos sem Mola:

Conforme mostrado na figura 76 esta configuração é geralmente utilizada em aplicações de controle tipo biestável. A grande vantagem deste tipo de aplicação é a de proporcionar grandes forças de assentamento, já que não temos necessidade de primeiramente comprimir a mola.

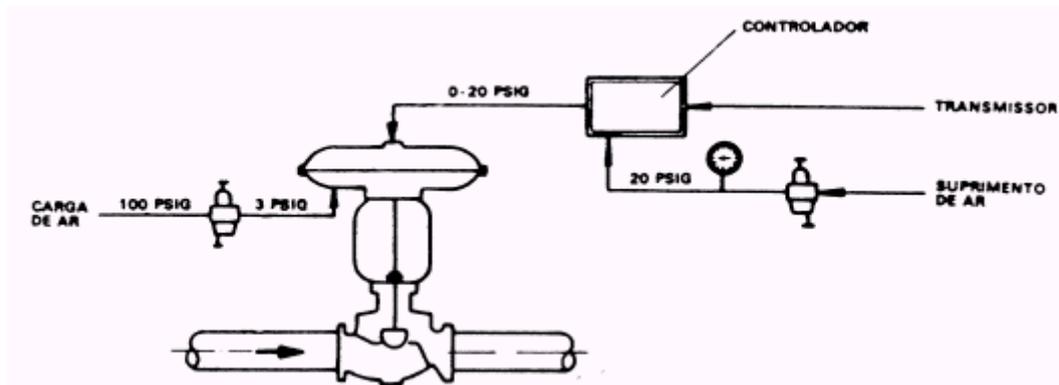


Fig.76 – Válvula de controle com atuador pneumático sem mola e sem posicionador em aplicações de controle biestável

d) Para Permitir uma Operação de Faixa Dividida (Split-Range):

Às vezes é desejável operar uma válvula de controle, utilizando-se apenas de um parte da faixa do sinal de saída do controlador. Esta ação pode ser realizada se especificarmos um posicionador para esta aplicação em particular.

e) Para Inverter a Ação da Válvula:

Um posicionador cuja pressão de ar de saída aumenta conforme aumenta o sinal de entrada, é denominado posicionador com ação direta, e um posicionador cujo o sinal de saída diminui conforme aumenta o sinal de entrada é denominado posicionador de ação inversa. A mudança do tipo de ação do posicionador é facilmente realizada no próprio campo.

f) Para Modificar a Característica de Vazão da Válvula:

A maioria dos posicionadores são lineares, isto é, eles mudam a posição da haste da válvula linearmente em relação a pressão de saída do controlador.

Contudo, em alguns posicionadores temos meios para mudar essa relação linear, normalmente através do excêntrico, e alterar conseqüentemente a característica de vazão da válvula.

g) Para Aplicações de Banda Larga Proporcional:

Quando a válvula deve responder a variações muito pequenas na pressão de ar (menos do

que 0,25 psi), é recomendável a utilização de um posicionador.

h) Natureza do Meio Fluído:

Se o fluído do processo tende a grudar ou aglomerar nas partes da válvula, provocando um aumento do atrito entre as partes móveis o uso do posicionador é recomendado para proporcionar força adicional necessária para vencer estes atritos.

Podemos concluir, mediante o que foi anteriormente exposto que, basicamente, a utilização de um posicionador acoplado à uma válvula de controle nos assegura que a posição do obturador da válvula será sempre proporcional ao valor de pressão de saída do controlador, **independente** das forças de atrito na gaxeta, histerese do atuador a diafragma ou forças de desequilíbrio do fluído sobre o obturador da válvula.

Um posicionador contudo não pode corrigir um mau desempenho, quando:

- a) A válvula de controle é super dimensionada ou subdimensionada;
- b) O controlador possui uma excessiva banda morta e histerese;
- c) A resposta dinâmica do sistema completo de um controlador é muito lenta para satisfazer os desejados requisitos do processo que está sendo controlado.

7.2.5) LIMITAÇÕES NO USO DO POSICIONADOR

As alterações e usos recomendados que foram mencionados no item 7.2.4 são considerados tradicionais. Contudo, recentes estudos e pesquisas tem indicado que, o uso de um posicionador pode prejudicar a qualidade do controle em processos rápidos, tais como: pressão e vazão de líquidos. Onde, necessita-se, por exemplo, de maiores pressões de ar, para efeito de fechamento da válvula ou de maior rapidez de operação, está recomendando-se a utilização do “*booster*” no lugar do posicionador.

7.2.6) TIPOS DE POSICIONADORES EM FUNÇÃO DO TIPO DE ATUADOR

Os posicionadores até agora mencionados são do tipo de *simples ação*, para utilização em conjunto com atuadores pneumáticos de simples ação, isto é, ou com mola de retorno ou com carga de ar que substitui o efeito da mola.

Porém, para utilizarmos um atuador de dupla ação em controle modular, é necessário a utilização de um posicionador também de *dupla ação*. Tal tipo de posicionador, possui um relê de reversão que produz uma saída balanceada a qual pode ser aplicada à lados opostos de um cilindro ou pistão. O relê de reversão produz um sinal do posicionador diminui, e vice-versa. Os dois sinais de fase oposta podem, portanto, operar um pistão ou cilindro de ação dupla, conforme vemos no esquema da figura 77.

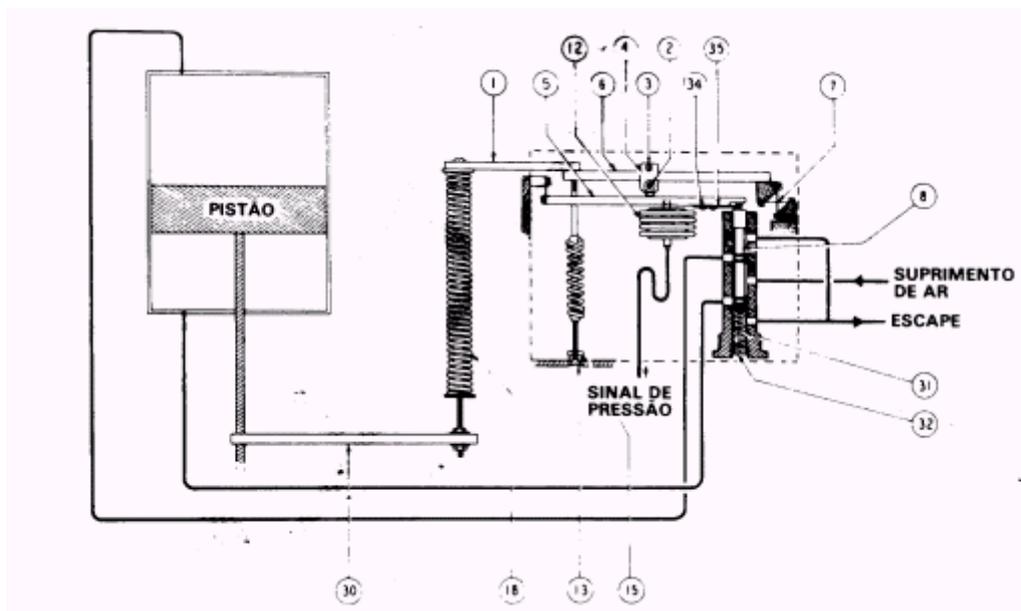


Fig. 77 – Esquema do princípio de funcionamento do posicionador de dupla ação

9.3) “BOOSTERS” PNEUMÁTICOS DE VOLUME E DE PRESSÃO

Não muito conhecidos e utilizados, os “boosters” (figura 78), tem aumentado consideravelmente a sua utilização, face a diversos estudos quanto a utilização dos posicionadores, como foi comentado em itens anteriores. Existem dois tipos de “boosters”: de volume e de pressão.



Fig. 78 – Booster Pneumático

9.3.1) “Boosters” de volume

Este tipo de “booster”, pode ser utilizado para aumentar a velocidade da operação de uma válvula de controle, conforme mostra o esquema da figura 79.

O controlador aplica seu sinal de saída, diretamente ao “booster” no qual, aproximadamente 1 pé cúbico de ar é necessário para posicionar o seu piloto. Desta forma o volume de ar que desloca-se entre o controlador e o “booster” é muito pequeno. O ar que opera a válvula de controle, vem através do “booster” e desde que esse piloto possua uma grande capacidade de passagem (de ordem de 335 SCFM), o tempo para cursar totalmente a válvula de controle é substancialmente reduzido.

Se utilizarmos uma válvula redutora de pressão na linha de alimentação de ar para o “*booster*” esta terá que ser do tipo de alta capacidade, afim de não limitar a capacidade de saída do “*booster*”.

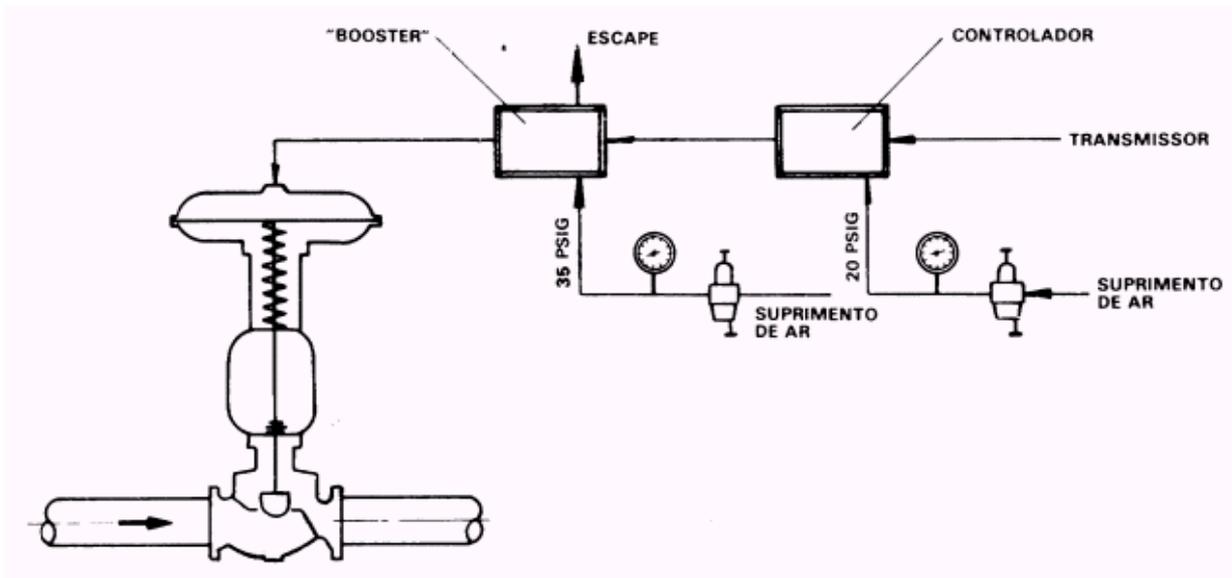


Fig. 79 – Esquema de utilização de um booster de volume em uma malha de controle

9.3.2) “Booster” de pressão

Os “*boosters*” de pressão geralmente são de volume, entretanto, a sua principal função é a de aumentar a pressão vinda do controlador. Na figura 80, vemos esquematicamente uma válvula de controle sede simples (ar para abrir), com faixa de mola 6-30 psig.

A mola mais forte é para obtermos um fechamento da válvula contra uma alta pressão à montante. Contudo, a saída normal do controlador (máximo 20 psig) não é suficiente para abrir a válvula. Um “*booster*” de pressão com relação de multiplicação 2:1, resolve esse problema, tornando o sistema operacional.

O “*booster*” é preferível ao posicionador, devido ao seu menor custo. Ainda, o “*booster*” não fecha o circuito ao redor da válvula, fato este que, pode proporcionar maior estabilidade em sistemas de resposta rápida.

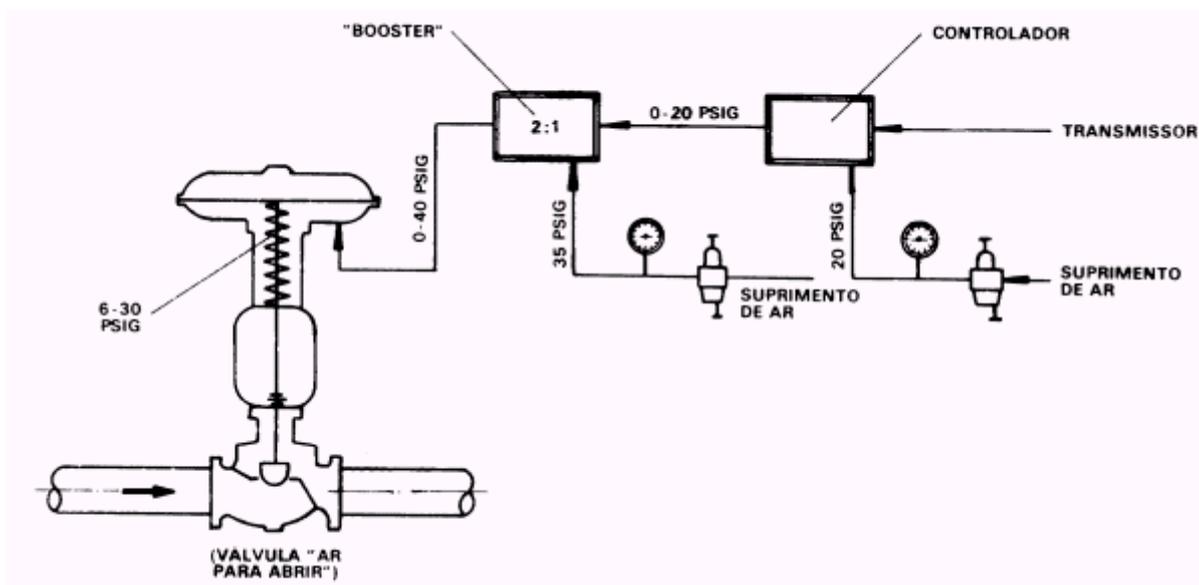


Fig.80 – Esquema de utilização de um booster de pressão numa malha de controle

9.5 - VÁLVULAS SOLENÓIDES

A sua utilização principal é em aplicações de controle biestável, pilotando uma válvula de controle pneumático, conforme mostrado na figura 81.

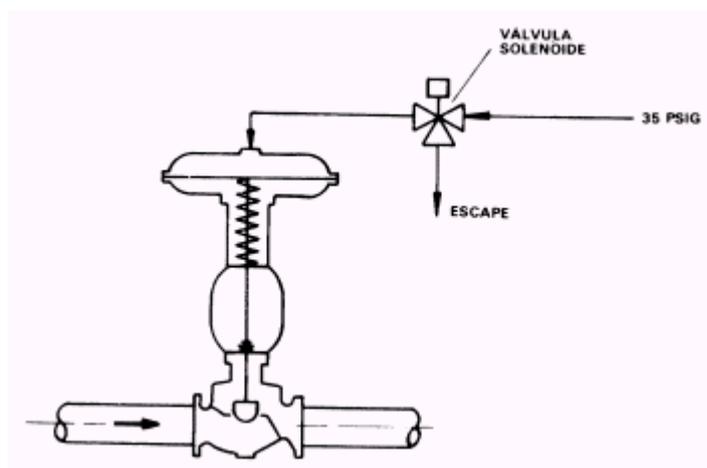


Fig.81 – Esquema para utilização de uma válvula solenóide de 3 vias para controle biestável

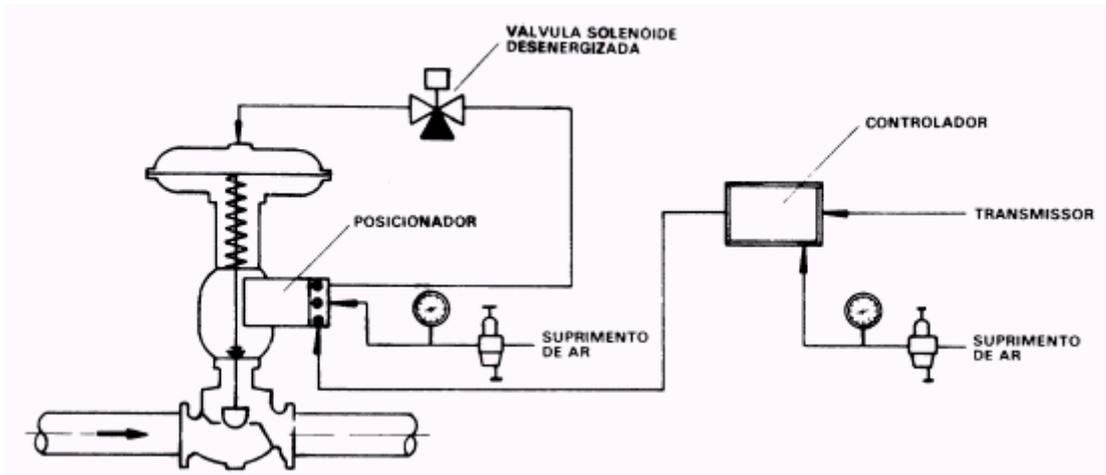


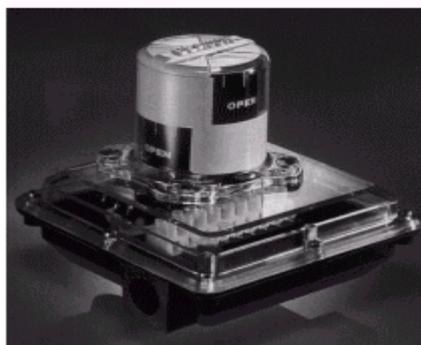
Fig. 82 – Esquema para utilização de uma válvula solenóide numa aplicação de emergência

A válvula solenóide também pode ser instalada em aplicações de controle modulado, para serviço de emergência conforme mostrado na figura 82.

Neste tipo de aplicação, uma válvula solenóide de 3 vias é instalada entre o controlador (ou posicionador) e a válvula de controle, de forma que normalmente, a saída de escape esteja fechada (isto é, estando a válvula solenóide desenergizada, a passagem do ar é direta para a válvula de controle). Em casos de necessidade de bloquear a válvula de controle, por medida de segurança um sinal elétrico pode ser acionado remotamente, energizando instantaneamente a válvula solenóide, ficando a válvula de controle sem ar de atuação, levando a força da mola a fechar ou abrir rapidamente a mesma.

9.6 - CHAVES INDICADORAS DE POSIÇÃO

São utilizadas para indicação remota da posição da haste da válvula. Essa indicação fornecida pela chave indicadora é do tipo de duas posições, ou seja, possibilita a indicação, por exemplo, de válvula fechada e de válvula aberta. São montadas diretamente na torre do atuador (caso



seja atuador do tipo de deslocamento linear) ou no adaptador (caso seja atuador tipo rotativo).

Fig.83 – Chave Indicadora de Posição

9.7) VÁLVULA FIXADORA DE AR

É uma válvula auxiliar utilizada em aplicações nas quais seja necessário que, a válvula mantenha a sua posição caso haja uma queda de pressão de ar de suprimento central da planta.

9.8) TRANSMISSOR DE POSIÇÃO

O transmissor de posição, é um dispositivo para indicação contínua da posição da haste da válvula. É geralmente instalado sobre a torre do atuador, de forma similar ao posicionador. Na realidade o transmissor de posição é uma adaptação do posicionador.

Através do braço de realimentação, ele sente a posição da haste da válvula e transmite um sinal proporcional a um indicador instalado em lugar remoto.

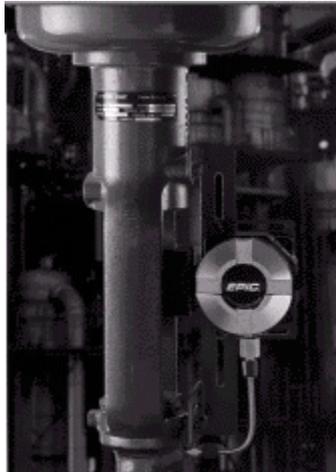


Fig.84 – Transmissor de Posição

9.9) TRANSDUTORES ELETROPNEUMÁTICOS

Estes dispositivos convertem o sinal elétrico da saída de um controlador eletrônico, em sinal pneumático compatível com o atuador pneumático da válvula de controle.

Estes transdutores tanto podem ser corrente para pressão (I/P), ou voltagem para pressão (E/P).

O sinal de entrada de corrente é aplicado a um eletroímã. O campo magnético criado e a corrente, produzem uma força que desloca a palheta alterando a posição relativa entre a palheta e o bocal. Isso faz aumentar ou diminuir a pressão no bocal, aumentando ou diminuindo o sinal de pressão para a válvula de controle.



Fig.85 – Transdutor de Sinal

9.10) CONJUNTO FILTRO-REGULADOR DE AR

Talvez um dos acessórios mais comuns seja o filtro regulador, conforme mostrado na figura 7.8, que é uma válvula reguladora de pressão de ar, do tipo auto-operada, de pequenas dimensões e alta capacidade, com filtro de ar integral. A sua função é a de fornecer ar limpo, à uma pressão constante compatível com os limites de alimentação dos posicionadores.

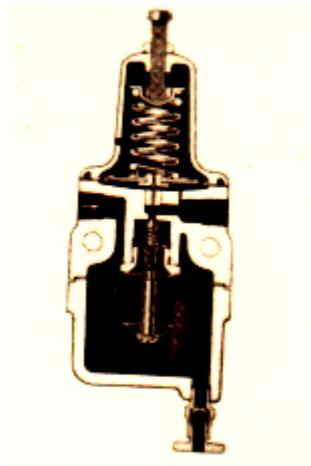


Fig.86 – Filtro Regulador de Ar

9.11) VOLANTES MANUAIS

Trata-se de um acessório amplamente utilizado na linha de válvulas de deslocamento linear da haste. Na maioria das válvulas rotativas, o volante faz parte da válvula não sendo considerado como acessório adicional propriamente dito. O volante manual é utilizado para possibilitar uma operação manual de válvula de controle, no caso de falta de ar.

Existem dois tipos de volantes, conforme a sua instalação na válvula: de topo e lateral.

Um volante manual de topo, conforme mostrado na figura 87(a) a consiste na adaptação de um volante no tampo superior do diafragma.

O volante manual tipo montagem lateral, conforme figura 87(b), é adaptado a torre do atuador agindo diretamente sobre a haste da válvula. Costuma-se, normalmente utilizar este tipo de montagem nas válvulas de grande diâmetro, em função da sua altura o que tornaria bastante difícil a operação manual, caso a válvula tivesse volante de montagem tipo topo.

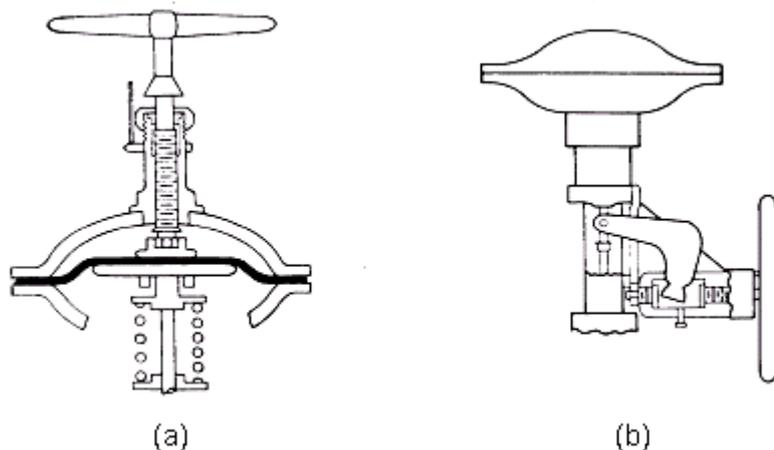


Fig.87 – Tipos de Volantes para Acionamento Manual

10) INSTALAÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

10.1) INTRODUÇÃO

A válvula de controle é geralmente o elemento mais caro em um sistema de controle e por tal razão, aliada ao fato de ser um elemento em contínuo contato com o fluido do processo, é que se justifica plenamente um criterioso programa de manutenção, no qual, os métodos adequados quanto à instalação de uma válvula de controle surgem como etapa inicial para a execução de um programa eficiente de manutenção.

Este capítulo tratará o assunto de uma forma recomendativa, seguindo basicamente as especificação recomendada pela ISA RP 4.2, visto que os procedimentos de como instalar uma válvula mudam de usuário para usuário.

10.2) RECOMENDAÇÕES BÁSICAS NA INSTALAÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

No projeto de uma tubulação de entrada e de saída de uma válvula, uma aproximação recomendada e amplamente utilizada é a de considerar a válvula de controle como sendo um orifício de área variável; desta forma as recomendações quanto à tubulação, dadas no sistema de uma placa de orifício, podem ser utilizadas no caso de uma válvula de controle. Portanto, são as seguintes recomendações básicas:

- 1) Deixar o máximo trecho reto de tubulação à montante da válvula. Uma boa regra é deixar de 10 a 20 diâmetros da tubulação.

- 2) Onde for possível, deixar um trecho de 3 a 5 diâmetros da tubulação, no trecho à jusante da válvula.
- 3) O trecho à montante da válvula deve permitir que o fluxo entre na válvula com uma pressão estável, para que possamos ter a cada nova abertura do orifício uma vazão estável e repetível.
- 4) Devemos instalar manômetros à jusante e à montante da válvula de forma correta para que tenhamos a leitura da pressão estática somente, e não a leitura de pressão estática mais ou menos a pressão dinâmica (velocidade), devido ao formato do escoamento do fluxo não uniforme.
A medição da queda de pressão através da válvula e a posição de abertura da válvula, indicam se a mesma está operando conforme projetado ou se está com algum problema interno.
- 5) Sempre que possível instalar válvulas de bloqueio à montante e à jusante da válvula de controle visando possibilitar futuras expansões do sistema e manutenções na válvula de controle com segurança.
- 6) O ar de instrumentação deve ser livre de óleo ou umidade
- 7) As válvulas de controle devem ser protegidas por filtros apropriados para eliminarem danos internos causados por objetos estranhos dentro da tubulação.
- 8) Não force o corpo da válvula ao instalá-la no sistema, principalmente nas válvulas de corpo bipartido.
- 9) Se a válvula for destinada a operar numa atmosfera suja, proteja de alguma forma a haste contra abrasão.
- 10) Certifique-se que seguiu todas as instruções apresentadas nos manuais do fabricante, sobre como se procede a correta instalação de uma válvula assim como seu início de funcionamento
- 11) Certifique-se de que o local onde será instalado a válvula de controle permitirá um fácil acesso para a manutenção da mesma ou uma operação manual emergencial.
- 12) Certifique-se de que o espaço livre deixado ao redor, a cima e abaixo da válvula de controle é suficiente para possibilitar a sua manutenção permanecendo o corpo na própria linha.
- 13) Tome as devidas precauções para que válvulas de controle operando com fluidos combustíveis estejam suficientemente afastadas de equipamentos ou linhas quentes.
- 14) Em caso de fluidos corrosivos, proteja os equipamentos ou linhas localizadas próximas à válvula de controle, devido a possibilidade de algum tipo de vazamento.
- 15) Certifique-se da instalação de drenos à montante e à jusante da válvula de controle, para escoamento do fluido aprisionado em caso de necessidade de manutenção ou remoção da válvula.

Mostramos na figura 88 a seguir, uma boa instalação de uma válvula de controle:

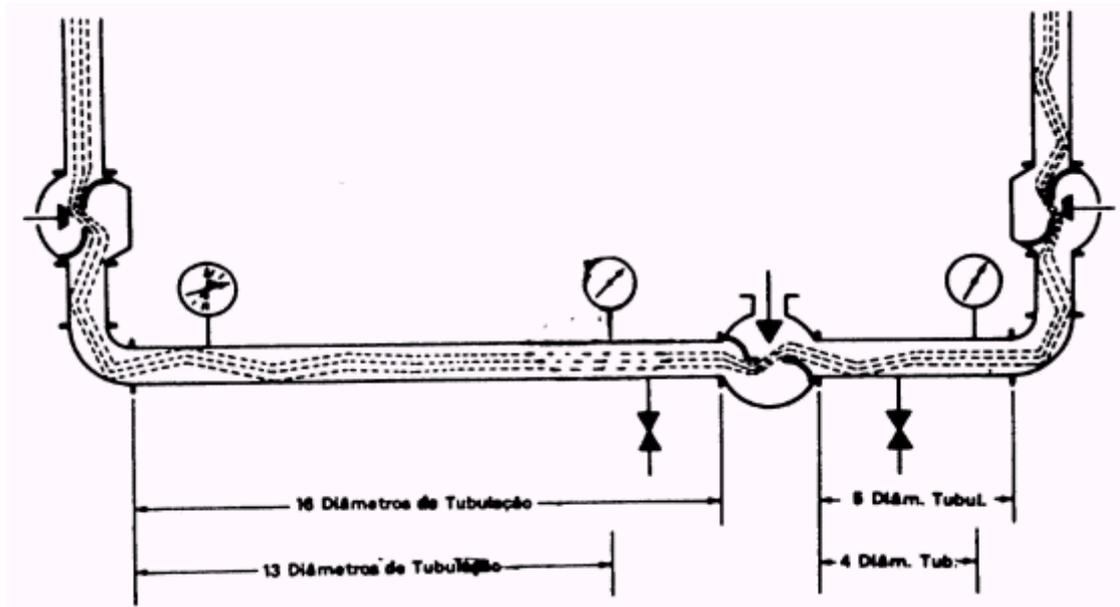


Fig. 88 – Montagem Ideal de uma Válvula

APÊNDICE A

GUIA PARA A SELEÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

1) INTRODUÇÃO

Nos diversos capítulos procedentes foram abordados de forma completa todos os assuntos referentes aos tipos de válvulas de controle, dimensionamento, características de vazão, atuadores etc., matéria essa considerada como basicamente necessária e suficiente para o adequado desempenho das diversas funções profissionais que venham a lidar com válvulas de controle.

Agora, neste capítulo, focalizaremos de forma objetiva os diversos e principais fatores que orientam a correta seleção de uma válvula de controle.

2) FATORES PRINCIPAIS QUE DEFINEM A SELEÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

O procedimento para a seleção da válvula de controle mais adequado para uma determinada aplicação, baseia-se num conjunto de dados e informações muito importantes: as condições de operação e as informações referentes ao processo e fluido. É a partir desses dados que o próprio usuário ou fabricante da válvula poderá selecionar de forma correta a melhor válvula para uma determinada aplicação. Tal procedimento de seleção, embora não seja de todo fácil, é bastante facilitado se realizarmos uma análise por etapas dos diversos e principais fatores que influenciam na escolha de uma válvula.

Tais fatores são:

- 1) Considerações quanto ao *Tipo de Controle*;
- 2) Considerações quanto ao *Tipo de Válvula*;
- 3) Considerações quanto ao *Custo da Válvula*;
- 4) Considerações quanto a *Pressão e Queda de Pressão*;
- 5) Considerações quanto a *Temperatura*;
- 6) Considerações quanto ao *Fluído*;
- 7) Considerações quanto ao *Nível de Vazamento*;
- 8) Considerações quanto ao *Sistema de Guia do Elemento Vedante*;
- 9) Considerações quanto a *Característica de Vazão*;
- 10) Considerações quanto aos *Materiais da Gaxeta*;
- 11) Considerações quanto aos *Materiais do Corpo e Internos*;
- 12) Considerações quanto a *Cavitação e "Flashing"*;
- 13) Considerações quanto a *Erosão e à Abrasão*;
- 14) Considerações quanto ao *Nível de Ruído*;
- 15) Considerações quanto ao *Atuador e Acessórios*;
- 16) Considerações quanto a *Instalação*;

2.1) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO TIPO DE CONTROLE

Existem basicamente dois tipos de sinais: (1) duas posições (controle biestável) e (2) analógico (controle modulado). Válvulas de controle para funcionarem num sistema de controle biestável, podem ser comandadas por simples contatos “abre-fecha” provenientes de chaves elétricas, eletro-pneumáticas ou pneumáticas.

É o tipo mais simples de controle automático, possibilitando a utilização de uma válvula simples e de baixo custo.

No caso de controle modulado, entretanto, onde a válvula vai posicionar-se em função do valor do sinal analógico, a aplicação requer uma maior complexidade e tecnologia, exigindo adequado desempenho por parte da válvula de controle, que deverá posicionar-se precisamente e à tempo, em resposta ao sinal do instrumento.

2.2) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO TIPO DE VÁLVULA

De todos os tipos de válvulas de controle apresentados, alguns apresentam características de aplicabilidade particularizadas, enquanto que outros tipos são utilizados em uso geral. É nesse grupo de válvulas de utilização mais geral, que residem as principais dúvidas quanto a decisão da escolha, pois alguns desses modelos são conflitantes e concorrentes entre si. Nesse grupo encontram-se as válvulas globo convencional, globo gaiola, borboleta, esfera e de obturador excêntrico rotativo.

2.3) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO CUSTO DA VÁLVULA

O custo unitário direto e indireto (manutenção), deve ser levado em consideração durante o procedimento da seleção do tipo de válvula.

O custo poderá ser um fator decisivo no caso de, por exemplo, mais de um tipo de válvula ser considerado como adequado para uma determinada aplicação.

2.4) CONSIDERAÇÕES QUANTO A PRESSÃO E QUEDA DE PRESSÃO

A maioria das válvulas de controle comerciais, preenchem os requisitos quanto à pressão do ANSI (“*American National Standards Institute*”), os quais estabelecem diversas classes de pressão em função da pressão e temperatura do fluido e do respectivo material de construção.

Desta forma, em função da necessária classe de pressão da válvula, podemos realizar uma das primeiras etapas no procedimento da seleção de uma válvula de controle.

Assim, caso tenhamos uma condição de serviço na qual o fluido está à uma pressão de 62 kg/cm² (880 psig) e a uma temperatura de 320°C (608°F), significa que o corpo da válvula requer uma classe de pressão 600 lbs, no caso do material ser aço carbono WCB. Esse dado é suficiente para excluir diversos tipos de válvulas que não são fabricados nessa moderada classe de pressão, tais como as válvulas diafragma, guilhotina e borboleta. Porém, se as condições do fluido fossem 8kg/cm² (113 psig) e 24°C (75°F), todos os tipos de válvulas listados na Tabela 2.2 seriam aptos de utilização sendo, nesse caso, necessário a verificação de outros fatores que venham limitar o número de válvulas possíveis para utilização.

Um outro aspecto, no que diz respeito à pressão, é a queda de pressão através da válvula.

Dependendo do tipo de construção, umas apresentam maior capacidade de suportar altas quedas de pressão do que outras. Um exemplo disso, o temos entre a válvula globo e a válvula borboleta. A válvula globo, como também a globo gaiola, possuem uma alta capacidade de funcionamento mesmo sob altas quedas de pressão estática, enquanto que a válvula borboleta é muito mais limitada.

As construções mais recentes e mais elaboradas tecnicamente, tem apresentado resultados de maior capacidade da queda de pressão do que o apresentado pelas válvulas borboleta convencionais, porém, mesmo assim, suportam quedas de pressão inferiores à linha de válvulas globo.

2.5) CONSIDERAÇÕES QUANTO A TEMPERATURA

A temperatura do fluido é outra importante consideração operacional. As precauções quanto à seleção da válvula em função de sua capacidade de suportar determinada temperatura do fluido são duplamente extremas: altas temperaturas e baixas temperaturas.

No caso de altas temperaturas, digamos da ordem de 300^oC (572^oF), fica, por exemplo, totalmente eliminada a possibilidade de utilização de qualquer válvula em cujas partes internas em contato com o fluido contenham elastômeros. Em caso de temperaturas muito altas, digamos da ordem de 550^oC (932^oF), há necessidade da especificação de tipos especiais de construção além dos materiais especiais para os subcomponentes do corpo. O material do corpo não está sendo considerado pois já foi considerado através do valor *combinado* da pressão e temperatura na escolha da necessária classe de pressão da válvula, conforme explicação no item anterior.

Quanto ao caso de fluidos a baixíssimas temperaturas, como é o caso das aplicações criogênicas (temperaturas, da ordem de -50^oC e inferiores), exigem-se considerações especiais quanto ao material e construção da válvula de controle.

2.6) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO FLUÍDO

O tipo de fluido de escoamento deve, sem dúvida alguma, entrar em considerações na escolha do tipo de válvula. As propriedades corrosivas, erosivas, abrasivas e viscosas do fluido são altamente significativas na determinação da válvula. Um exemplo dessa influência é dada pelos líquidos lamacentos, que devido a grande capacidade de erosão e abrasão, requerem válvulas especialmente aptas para tal aplicação, entre as quais destacam-se aquelas que possam ter seus corpos revestidos internamente por forros de borracha, como Neoprene, Buna N, Viton etc. Ou então utilizando-se de materiais para a fabricação das partes internas (local de maior desgaste por erosão e abrasão) com materiais de altíssima dureza, como os aços inoxidáveis 17-4PH e 440C, Stellite, etc.

Fluidos corrosivos são também um caso típico de influência do fluido no tipo de válvula a ser utilizada. Aqui também, uma boa escolha do ponto de vista econômico, recairia nas válvulas que possam ter os seus corpos revestidos por materiais sintéticos resistentes à corrosão do fluido. Contudo, nem sempre a escolha das válvulas que permitem o revestimento (Diafragma e borboleta) podem ser tecnicamente recomendável do ponto de vista de controlabilidade, sendo então necessária uma opção muito mais onerosa porém tecnicamente recomendável, como a utilização de válvulas com materiais especiais resistentes à corrosão, como o aço inoxidável, Hastelloy, Monel, etc.

2.7) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO NÍVEL DE VAZAMENTO

Ao lado da temperatura e fluido, um outro fator de importância na especificação do tipo de

internos é a capacidade de estanqueidade da válvula. O nível de vazamento apresentado quando a válvula está totalmente fechada varia de tipo para tipo de válvula. Assim, dependendo da necessidade de estanqueidade que o processo em questão requer, é que deve basear-se o procedimento da escolha do tipo de construção de internos ou tipo de válvula. Na tabela 11.3 do capítulo 11, são dadas as várias classes de vazamentos para cada tipo de válvula, conforme a norma (ANSI B 16.104).

Convém esclarecer que severas especificações quanto ao aspecto da capacidade, geralmente encarecem o custo da válvula, o qual poderá apenas ser justificado caso haja estrita necessidade de uma excelente estanqueidade. Por exemplo vamos pensar numa válvula globo sede dupla de 4" de diâmetro operando à 250°C (662°F), e com uma queda de pressão, quando fechada, de 20 kg/cm² (300 psi). Se um vazamento da ordem de 0,5 % da sua capacidade máxima nominal não for tolerável, sendo necessário um nível de vazamento da ordem de 2 mililitros por minuto (aproximadamente 6 bolhas por minuto), custo dessa válvula poderia *duplicar* face a necessidade de construção de internos especiais.

Verifica-se, primeiramente, a sua capacidade de vazamento tolerável por parte do processo, e, então, especifique o nível de vazamento através da ANSI B16.104, obtendo-se assim uma limitação dos tipos de válvulas possíveis de uso quanto ao aspecto do vazamento. Caso contrário, gastos adicionais serão realizados para pagamento de atuadores superdimensionados ou válvulas de construção especiais.

2.8) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO SISTEMA DE GUIA DO ELEMENTO VEDANTE

O tipo de guia do elemento vedante é também um fator a ser considerado, principalmente quando em aplicações de alta pressão, no que diz respeito à estabilidade do funcionamento da válvula.

Assim, uma válvula de obturador guiado apenas superiormente possui uma menor capacidade de suportar queda de pressão do que uma válvula com guia superior e inferior. O sistema de guia do obturador das válvulas de deslocamento linear por ordem crescente de qualidade, ou seja, da pior para a melhor, é a seguinte: haste, sede, superior, superior e inferior e gaiola.

Enquanto que, por exemplo, um sistema de guia na sede, como o apresentado pelas válvulas globo de 3 vias, é limitado a quedas de pressão inferiores a 100 psi, uma guia na gaiola, como a utilizada nas válvulas do mesmo nome, pode suportar quedas da ordem de 1000 psi e superiores.

O material utilizado no sistema de guia do elemento vedante é também um fator muito importante, principalmente em aplicações erosivas, abrasivas, alta pressão e alta temperatura. Na tabela a seguir são dadas algumas combinações entre os materiais recomendados para utilização no sistema de guias:

GUIA DO OBTURADOR	BUCHA DA GUIA	RESULTADO
Inox Tipo 316	Inox Tipo 316	Muito Pobre
Inox Tipo 316	Inox 17-4PH	Regular
Inox Tipo 316	Stellite	Regular
Inox Tipo 316	Bronze	Regular
Stellite	Inox 17-4PH	Bom
Stellite	Stellite	Muito Bom
Inox Tipo 440C	Inox 17-4PH	Bom

Inox Tipo 440C	Stellite	Muito Bom
Cromo Duro	Inox 17-4PH	Bom
Cromo Duro	Stellite	Excelente

2.9) CONSIDERAÇÕES QUANTO A CARACTERÍSTICA DE VAZÃO

Como já foi amplamente comentado anteriormente, a característica de vazão, pese aos inúmeros trabalhos realizados e publicados, continua sendo um dos fatores menos compreendidos na seleção dos internos de uma válvula de controle.

O principal objetivo e função da característica de vazão de uma válvula de controle é variar o ganho da válvula para compensar as variações do ganho do processo face às flutuações da demanda. O ganho da válvula indica sensibilidade da sua saída (vazão) para as variações da sua entrada (sinal de comando no atuador). Portanto, uma válvula de alto ganho exibe uma grande variação da sua vazão para uma pequena variação do seu curso, enquanto que o inverso ocorre para uma válvula de baixo ganho.

Uma *característica de vazão abertura rápida*, conforme já vimos, apresenta um ganho muito alto até aproximadamente 30% do seu curso, para depois passar a um ganho muito baixo.

Uma *característica de vazão linear* mantém um ganho constante e unitário durante todo o seu curso, enquanto que, as *características de vazão igual porcentagem e parabólica modificada* mostram ganhos pequenos nas regiões iniciais do seu curso, porém, conforme este aumenta, o ganho da válvula também aumenta.

A característica de vazão discutida até aqui, é denominada de *inerente*, que é aquela observada quando a queda de pressão através da válvula for constante.

Contudo, a válvula quando instalada, dificilmente se mantém sob condições de queda de pressão constante devido à inúmeras variações que ocorrem no processo.

Nessa condição, como resultado, obteremos uma característica de vazão *instalada*.

A queda de pressão através da válvula também influencia o total de variação da vazão que ocorre como resultado de uma variação do curso da válvula. Consideremos uma válvula linear instalada num sistema no qual a queda de pressão através da válvula aumenta conforme aumenta a vazão. Em pequenas vazões correspondentes a pequenas aberturas do curso a queda de pressão será também pequena. Conforme a vazão aumenta, a queda de pressão também aumentará. Se analisarmos a curva obtida, verificaremos que embora a característica de vazão inerente da válvula seja linear, a instalada é mais próxima a uma igual porcentagem. Por outro lado, se a queda de pressão variar inversamente com a vazão, a tal forma que conforme a vazão aumente a queda de pressão através da válvula diminua, então a característica de vazão instalada será mais próxima a uma abertura rápida.

Para se estabelecer de forma correta a necessária característica de vazão de uma válvula, exige-se uma análise dinâmica do sistema, de tal forma que o ganho da válvula possa compensar adequadamente as variações do ganho do processo.

A experiência e as inúmeras análises realizadas nos mostram que quando houver dúvida e melhor escolher uma característica de igual porcentagem ou parabólica modificada. A utilização de uma característica linear onde, por exemplo, uma igual porcentagem seria uma

melhor escolha, geralmente nos conduz a um sistema instável. Entretanto, a recíproca raramente produz instabilidade no sistema.

2.10) CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS MATERIAIS DA GAXETA

A menos que haja especificações em contrário, uma válvula de controle vem equipada com o material de gaxeta considerado pelo fabricante como sendo padrão para a aplicação em questão.

Como tivemos a oportunidade de verificar, os principais materiais utilizados isoladamente para a gaxeta são: amianto, grafite e Teflon. O amianto, de baixo custo, é estável até temperaturas da ordem de 424^oC (800^oF), porém, possui um alto coeficiente de atrito. O grafite, também possui um coeficiente de atrito abaixo apresenta como vantagem uma mais ampla faixa de aplicação em função da temperatura, já que ele é considerado estável até temperatura de 1650^oC (3000^oF) em fluidos não oxidantes.

Na prática o uso do grafite está limitado à temperatura de até 400^oC (750^oF) em caso de aplicações em fluidos oxidantes, e de 650^oC (1200^oF) para fluidos não oxidantes. O grafite não sendo um material facilmente deformável, requer maiores forças de aperto através do prensa gaxeta a fim de possibilitar uma operação livre de vazamentos através da haste da válvula.

Os materiais à base de Tetrafluoretileno (TFE), como o *Teflon*, são mais inertes quimicamente que os anteriormente citados além de possuírem baixíssimos coeficientes de atrito, fatores esses que lhes conferem excepcionais qualidades de utilização como o material de selagem. Talvez o principal inconveniente do TFE seja o fato de requerer um melhor acabamento superficial da haste da válvula, e, caso essa superfície ou a da gaxeta for ligeiramente danificada, deve-se esperar vazamentos através da caixa de gaxetas. Os limites de utilização do TFE em função da temperatura, são de -200 à +260^oC (-328 à 500^oF) para serviços contínuos.

A utilização de material composto é uma prática bastante comum, aproveitando-se as vantagens de, por exemplo, dois materiais diferentes. É o caso do amianto grafitado, amianto impregnado com *Teflon*, etc.

Todo e qualquer tipo de gaxeta requer alguma manutenção periódica. Embora a gaxeta de anéis sólidos em "V" de TFE comprimida por mola seja a que menos manutenção exija, deve-se sempre esperar a possibilidade de um pequeno vazamento. Se devido às condições e características da aplicação, for estritamente necessário uma operação totalmente livre de vazamentos através da gaxeta, deverá, então, ser especificado um castelo com fole de vedação.

Pelo fato do alto custo da fabricação desse tipo de castelo a sua especificação somente poderá ser justificada em casos estritamente necessários, tais como, fluidos inflamáveis, tóxicos ou extremamente caros.

A lubrificação da haste é uma prática bastante comum e às vezes necessária dependendo do tipo de material utilizado na gaxeta.

As gaxetas de TFE não necessitam de lubrificação auxiliar da haste, enquanto que nas gaxetas

à base de amianto, a lubrificação é necessária ou então recomendável caso o amianto esteja impregnado de algum material autolubrificável como o TFE, grafite, etc.

A composição do lubrificante é opcional, porém ele deve ser compatível tanto com o fluido de processo quanto com o material da gaxeta. Para temperaturas moderadamente altas e baixas, (-40 à 260°C) lubrificantes à base de silicone são amplamente utilizados.

2.11) CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS MATERIAIS DO CORPO E INTERNOS

A adequada seleção dos materiais é, uma importante etapa a ser considerada no procedimento da seleção de uma válvula de controle.

A escolha do material referente ao corpo da válvula procede-se em função das condições do fluido quanto à pressão e temperatura, além das propriedades inerentes ao tipo de fluido, como corrosão, abrasão, etc.

De uma forma geral, o ferro fundido e os não ferrosos, são materiais destinados à fabricação de corpos para aplicações leves em serviços auxiliares. Aço carbono e aços ligados, destinam-se a grande parte das aplicações industriais não corrosivas. Aços aos cromo-molibdênio e os aços inoxidáveis austeníticos (da série 300), constituem-se em soluções adequadas para aplicações erosivas, corrosivas e à altas temperaturas. Outras ligas especiais como Monel, Alloy 20, Hastelloy B e C, etc., destinam-se para certas aplicações altamente corrosivas, nas quais materiais como os aços inoxidáveis 304 ou 316 não foram tecnicamente aceitáveis.

Determinados tipos de válvulas que permitem a possibilidade de um revestimento das paredes internas do corpo com materiais sintéticos, vidros, etc., são soluções econômicas utilizadas em aplicações corrosivas, erosivas e abrasivas.

Para a fabricação das partes internas da válvula convencionam-se a utilização de materiais nobres, resistentes à ação corrosiva e erosiva do fluido. Os materiais mais amplamente utilizados são os aços inoxidáveis austeníticos 304 e 316, os martensíticos 410, 416 e 440C, Stellite, 17-4PH, Monel, etc.

2.12) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO DIMENSIONAMENTO

O procedimento do cálculo do diâmetro de uma válvula de controle, constitui-se numa etapa importantíssima e que deve ser executada após termos já selecionado o tipo da válvula e a sua característica de vazão.

O procedimento do dimensionamento consiste em determinar o diâmetro da válvula que melhor se adapte para controlar o processo em questão. Ela não deverá nem ser demasiadamente pequena, de tal forma a não permitir a passagem da requerida quantidade de fluxo, nem demasiadamente grande, a ponto de operar numa posição muito fechada, o que irá, sem dúvida alguma, provocar desgastes prematuros das partes internas, problemas de estabilidade do controle, além de ser desnecessariamente onerosa.

Já foram apresentadas as várias equações padronizadas pela Norma ANSI/ISA S75.01, que substituem oficialmente a antiga formulação sugerida pela FCI 62.1. Tais fórmulas, constituem-se no procedimento mais exato e completo até hoje conhecido. E a sua utilização é recomendada sempre que se desejar obter um valor o mais otimizado possível.

Porém, em muitas aplicações comuns, principalmente em líquidos sob condições não

cavitantes, escoamento turbulento e com válvulas de baixa recuperação de pressão, como é o caso da válvula globo, as novas fórmulas da ISA não apresentam resultados diferentes dos obtidos através da fórmula do FCI.

As devidas precauções devam ser tomadas em casos de líquidos cavitantes ou em “*flashing*”, líquidos viscosos, gases em escoamento crítico, e no caso do uso de válvulas de alta recuperação de pressão, nas quais devido à inerente alta capacidade da válvula, possa ser instalada uma válvula de diâmetro 2 ou 3 vezes menor que o diâmetro da linha. Isso significa uma substancial correção do valor do C_v , pois haverá de considerar-se as quedas de pressão adicionais nos cones de redução e expansão instalados antes e depois da válvula respectivamente.

2.13) CONSIDERAÇÕES QUANTO A CAVITAÇÃO E “FLASHING”

No escoamento de fluídos líquidos através de uma válvula de controle, existem três tipos diferentes de regime de escoamento: não cavitante, cavitante e “*flashing*”. Cada um deles deve ser considerado quando da escolha e especificação de uma determinada válvula, face aos diferentes potenciais de tolerância a danificar mecanicamente a válvula e de produção de ruído.

No caso de líquidos *não cavitantes* e com formação de “*flashing*”, os níveis de ruído produzidos são geralmente baixos e portanto não se constituem em grandes problemas. Quanto ao aspecto da formação do “*flashing*”, este deve ser apenas previsto e proceder ao adequado dimensionamento, limitando-se a queda de pressão efetiva, o que implica no cálculo de uma válvula um pouco maior, fato esse perfeitamente lógico pois o líquido, ao passar pelo orifício da válvula e vaporizar-se aumenta o seu volume específico, necessitando portanto, uma maior área de passagem para dar escoamento a mesma quantidade de vazão. O principal problema produzido pelo “*flashing*” é o da erosão, requerendo portanto materiais de especial dureza.

Realmente é no escoamento cavitante que se encontram os principais problemas decorrentes do escoamento de líquidos através de válvulas de controle. A cavitação deve ser combatida e evitada. O resultado do surgimento do fenômeno da cavitação numa válvula de controle, consiste na produção de excessivos níveis de ruído hidrodinâmico e de prematuros desgastes das partes da válvula, localizadas logo após o orifício de passagem, além da tubulação adjacente à jusante.

A cavitação deve, portanto, receber uma grande consideração quando da seleção de uma válvula.

O fenômeno da cavitação ocorre quando a pressão do líquido no interior da válvula (ponto de mínima pressão) se torna menor que a pressão de vapor, formando-se bolhas. Conforme o fluído desloca-se para a saída da válvula, recupera parte da sua pressão estática perdida, e

caso essa pressão na saída, exceda à pressão de vapor do líquido as bolhas implodem produzindo ondas de choque a altíssimas pressões, que ocasionam severa erosão às partes metálicas mais próximas à zona da implosão. Foi verificado que tais níveis de pressões liberadas na implosão podem atingir valores da ordem de 500.000 psi .

São vários os métodos utilizados para evitar o surgimento da cavitação, dentre dos quais destacamos os principais e portanto mais amplamente utilizados: (1) escolha de tipo de válvula cuja recuperação de pressão não seja suficientemente alta para produzir a cavitação; (2) utilização de duas válvulas em série, dividindo entre elas a queda de pressão total do sistema;

(3) localização estratégica da válvula na planta de processo, e (4) utilização de válvulas com internos especialmente projetados para evitar a formação da cavitação.

Conforme já mencionado, o índice de cavitação incipiente K_c é uma forma bastante prática para identificar o início de cavitação. Por exemplo, se para uma determinada aplicação verifica-se que para que não seja atingida a região da cavitação incipiente o valor K_c deve ser igual ou maior que 0,55, podemos, então, no procedimento da seleção da válvula, eliminarmos alguns tipos, tais como, esfera ($K_c = 0,28$), borboleta ($K_c = 0,30$), excêntrica rotativa ($K_c = 0,347$), bi-partida ($K_c = 0,50$), etc., pois todas elas, possuindo um coeficiente K_c menor que 0,55, provocariam o surgimento da cavitação.

O método da quebra de pressão total entre duas válvulas instaladas em série, se por um lado traz os benefícios de eliminar a possibilidade da cavitação, por outro lado nos traz o inconveniente de um controle muito mais difícil, onde há interferências do ganho de uma válvula sobre a outra, e, portanto, sempre que esse método de combate a cavitação for utilizado, os devidos cuidados quanto ao aspecto da dinâmica do controle devem também serem estudados, fato esse que não deixa de ser complexo.

A localização estratégica da válvula de controle na planta de processo, constitui-se num outro método bastante utilizado para evitar o surgimento da cavitação, impossibilitando que, a pressão de saída após a passagem do líquido da válvula, eleve-se acima da pressão de vapor. Nesse caso teríamos apenas a formação do “*flashing*” e não da cavitação. Um exemplo disso é o de uma válvula descarregando diretamente para um tanque, de forma que a pressão de saída seja menor que a pressão do vapor.

Válvulas especialmente projetadas para operarem nessas condições, evitando o surgimento da cavitação, constitui-se numa solução a ser tomada onde outros métodos trouxeram quase nenhuma ou insuficiente contribuição ao problema.

As válvulas globo tipo gaiola, em função da sua alta flexibilidade de construção dos seus internos, constituem-se no principal tipo de válvula a ser utilizada nessas condições, equipada com sistema de internos “anti-cavitação”. Esse sistema utiliza como princípio de funcionamento conceitos de forma a “quebrarem” a queda de pressão total em várias etapas, não permitindo que a velocidade ultrapasse determinados limites e, portanto, evitando que a pressão estática atinja o valor da pressão de vapor do líquido.

2.14) CONSIDERAÇÕES QUANTO A EROSÃO

O procedimento de combate a erosão está mais amplamente ligado a escolha dos materiais dos internos, do que dos materiais do corpo da válvula.

Existem quatro tipos principais de erosão em válvulas de controle: (1) erosão-abrasiva, (2) erosão-cavitativa, (3) erosão-corrosiva, e (4) erosão por choque do fluido a alta velocidade.

A erosão-abrasiva é o produto de bilhões de finas partículas mais duras que a superfície do material dos internos, e que sendo carregadas pelo fluxo a altas velocidades, provocam o desgaste principalmente dos internos da válvula. A erosão-abrasiva pode ser reduzida mediante a seleção de adequados materiais suficientemente duros para resistirem aos desgastes produzidos pelas partículas abrasivas, ou então, selecionando-se os tipos de válvulas com melhor formato aerodinâmico. A seleção de válvulas que permitam o seu revestimento interno com, por exemplo, neoprene, Buna N, et., é também uma solução tecnicamente

adequada de resistência a erosão-abrasiva.

A erosão-cavitativa é originada pelo fenômeno da cavitação, o qual já foi comentado anteriormente.

A erosão-corrosiva surge quando a fina película superficial e protetora do metal é destruída pela efeito ou da aplicação. Após isso, o efeito da erosão pode tomar conta rapidamente devido ao enfraquecimento do material contra a corrosão.

A erosão-corrosiva pode ser reduzida utilizando-se para os internos, os materiais mais resistentes à erosão e a corrosão, como Monel, Níquel, Hastelloy, etc., ou, através da utilização de válvulas revestidas por TFE.

A erosão provocada pelo choque do fluxo a alta velocidade é proveniente de aplicações à alta quedas de pressão. Este tipo de erosão é consideravelmente reduzida selecionando-se válvulas tipo gaiola ao invés da globo convencional e pela utilização de materiais mais duros para a fabricação dos internos.

De uma forma geral, quando da utilização de uma válvula de controle numa aplicação erosiva, deve-se especificar com muito critério os materiais referentes aos internos, selecionando-se materiais mais duros quanto maior for a ação erosiva, podendo nesse caso, operarmos inclusive com altas quedas de pressão. A utilização de válvulas com revestimento interno de forros de elastômeros é mais propriamente indicada para aplicações erosivas a moderadas quedas de pressão.

2.15) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO NÍVEL DE RUÍDO

Nos últimos anos, em decorrência de procedimentos de otimização da produção, os níveis de pressões, vazões e temperaturas tem aumentado consideravelmente, resultando em altos níveis de ruído provocados pelas válvulas de controle, principalmente em aplicações com fluidos compressíveis.

Antes de querermos saber de que forma podemos reduzir o nível de ruído aos limites normalizados pela OSHA, devemos conhecer o porque do surgimento do ruído numa válvula de controle, pois o melhor método para combatê-lo talvez seja combater a sua causa.

O ruído numa válvula pode ser provocado por três fatores: (1) *ruído mecânico*, devido à vibração das partes internas; (2) *ruído hidrodinâmico*, produzida pelas colisões das bolhas de vapor durante o fenômeno da cavitação nos líquidos e (3) *ruído aerodinâmico*, produzido pelo turbulento processo da compressão e expansão dos gases e vapores através da válvula.

O *ruído mecânico*, conforme tivemos a oportunidade de analisar, pode ser produzido por vibração horizontal, oscilação vertical e pela ressonância do obturador.

O ruído produzido pela vibração horizontal do obturador é o mais comum de acontecer, e possui uma frequência em torno de valores inferiores a 1500 Hz. Diminuindo-se a folga entre a guia da haste do obturador e a bucha de guia e ainda endurecendo essas partes, com Stellite, diminui-se substancialmente esse tipo comum de ruído, que entretanto, não chega a atingir valores muito elevados.

O ruído produzido pela oscilação vertical é proveniente da direção de entrada do fluxo no interior da válvula. O fluido deve, nas válvulas de sede simples, entrar tendendo a abrir a válvula,

caso contrário, surgirão oscilações verticais do obturador lançando-o de encontro a sede e produzindo ruído e principalmente danificando por completo o sistema de assentamento da válvula. Um sistema auxiliar de amortecimento hidráulico no atuador, recomenda-se para a eliminação deste tipo de ruído que pode ocorrer em casos extremos mesmo na válvula de sede dupla devido a queda de pressão desigual entre as duas sedes.

O ruído de origem mecânica mais grave é o produzido pela ressonância do obturador, surge quando este vibra a uma frequência igual a sua frequência natural. O ruído gerado por esse fenômeno possui uma frequência da ordem 2000 a 7000 Hz. A redução desse nível de ruído obtém-se selecionando-se válvulas com guia apenas superior, ou na gaiola, ou utilizando-se de obturadores de menor peso, e, portanto, menos susceptíveis à vibração, ou ainda utilizando-se de uma guia de maior diâmetro.

Quanto ao *ruído hidrodinâmico*, produzido pela cavitação dos líquidos, o procedimento de seleção é idêntico ao dado para cavitação. Desde que a cavitação é um fenômeno que deve ser evitado, o seu ruído não deverá ser ouvido.

O *ruído aerodinâmico*, o mais importante e temido, é o mais fácil de ocorrer podendo atingir níveis extremamente altos. Ocorre devido ao excesso de turbulência, característico do escoamento dos fluidos compressíveis e também às altas velocidades de escoamento.

Os diversos procedimentos de redução do nível de ruído aerodinâmico à valores em torno de 90 dbA (que é o máximo nível de ruído permitido para uma exposição diária de 8 horas, conforme a Regulamentação da OSHA) diferem em função do quanto a mais e 90 dbA está estimado o nível de ruído através da válvula.

Assim, se o excesso de ruído é da ordem de 5 a 10 dbA, soluções econômicas e simples, independentemente do tipo de seleção da válvula, devem ser tomadas, tais como, isolamento acústico da linha, aumento da espessura da parede de tubulação à jusante da válvula de controle, localização da válvula num ponto bem afastado da presença humana, etc.

Porém, se o nível de excesso de ruído por ordem e 20 a 30 dbA, essas soluções são insignificantes e, portanto, outras medidas mais drásticas e onerosas são necessárias, por exemplo, a seleção da válvula globo tipo gaiola com internos "anti-ruído", a qual devido ao princípio de funcionamento do seu sistema de internos, permite que a velocidade do escoamento mantenha-se praticamente constante durante a passagem do fluido no interior da válvula, reduzindo-se assim, consideravelmente o nível de ruído aerodinâmico.

Outras soluções para obtermos reduções do nível de ruído da mesma ordem, ou seja, 20 a 340 dbA, podem ser obtidas através do uso de válvulas comuns e dispositivos instalados logo após a saída da válvula, tais como difusores e silenciadores.

2.16) CONSIDERAÇÕES QUANTO AO ATUADOR E ACESSÓRIOS

O atuador e seus acessórios geralmente constituem-se na etapa final do procedimento da seleção de uma válvula de controle. Os principais tipos de atuadores utilizados em controle modulado são: (1) pneumático tipo mola e diafragma; (2) pneumático tipo pistão ou cilindro; (3) motor elétrico; (4) eletro-hidráulico e (5) hidráulico.

O atuador pneumático tipo mola e diafragma é sem dúvida alguma o mais amplamente utilizado. Operando normalmente com sinais de pressão de ar de 3 – 15 psig, pode ser diretamente posicionado pelo sinal de saída do controlador sem necessitar do uso do posicionador.

Possui pouquíssimas partes móveis, fato pelo qual constitui-se num atuador extremamente econômico, de alta confiabilidade e pouca manutenção, além de possuir inerente sistema de posicionamento de segurança em caso de falha no sistema de suprimento de ar.

A sua principal desvantagem e, portanto, fator que limita o seu uso, reside em não permitir sinais de comando superior a 50 psig devido a pobre resistência mecânica do diafragma. Isso, por exemplo, limita a sua utilização em aplicações sob elevada queda de pressão, a menos que a válvula seja balanceada.

O atuador pneumático tipo pistão tem surgido com bastante força nos últimos anos, principalmente em decorrência da crescente tendência a utilização das válvulas tipo rotativas que, devido ao seu elevado torque, necessitam de maiores forças de atuação do que as válvulas de deslocamento linear.

A principal vantagem do atuador a pistão está na sua capacidade de funcionamento com sinais de pressão de carga de até 150 psig. A sua construção normal é sem mola de retorno, havendo assim, em caso de controle modulado, necessidade da utilização de um posicionador de dupla ação.

Não possuindo meios inerentes de posição de segurança por falha, o atuador pneumático a pistão requer, caso necessário tal posicionamento de segurança, a utilização de meios operacionais, como uma mola de retorno ou então de um sistema auxiliar de segurança por falha, o qual utiliza o ar armazenado num reservatório em volume e pressão suficientes para deslocar o obturador da válvula até a posição de segurança requerida.

Este tipo de atuador é utilizado basicamente nas válvulas borboleta e esfera e, eventualmente nas válvulas globo, em caso de quedas de pressão superiores às suportadas a mola e diafragma.

Os atuadores elétricos não são muito utilizados em controle automático, devido a sua operação lenta e peso excessivo. Não apresenta sistema inerente de posição de segurança em caso de falha.

Os atuadores eletro-hidráulicos apresentam características ótimas para o desempenho do controle modulado devido a sua alta rigidez, fato esse que lhe confere excepcional resistência às variações das forças do fluido agindo no corpo da válvula, a elevada capacidade de força de atuação e a sua compatibilidade com os sinais analógicos da instrumentação eletrônica.

Entretanto o seu elevado custo, complexidade, tamanho excessivo e elevada manutenção, tem contribuindo de forma preponderante no impedimento da sua utilização mais ampla. Os atuadores hidráulicos apresentam características de utilização semelhantes aos eletro-hidráulicos.

Sendo que o atuador representa uma parte significativa do custo total da válvula, especialmente em diâmetros menores, os critérios para a sua seleção estão baseados no seu custo e na sua capacidade de desempenho.

Quanto à capacidade de desempenho de um atuador, esta pode ser analisada em função de três fatores principais: (1) fonte de suprimento (natureza do sinal e valores); (2) característica de posicionamento de segurança em caso de falha, e (3) capacidade motora.

Quanto ao tipo de fonte de suprimento no local da válvula, dificilmente deixaremos de ter suprimento pneumático ou elétrico.

A grande maioria dos atuadores hoje utilizados são de natureza pneumática utilizando sinais de comando de até 150 psig. Quanto à característica de posicionamento de segurança em caso de falha, podemos classificar esse aspecto da seguinte maneira: (1) o sistema de segurança por falha é *inerente* ao tipo de atuador; (2) o sistema de segurança por falha *não é inerente ao atuador*, sendo considerado como um item opcional.

Alguns atuadores possuem essa característica de forma inerente, como é o caso do atuador pneumático tipo mola e diafragma. Outros necessitam a especificação desse item opcional, o que significa um custo adicional, como é o caso do atuador pneumático à pistão, atuador elétrico, etc.

Quanto à capacidade motora, o atuador deve possuir suficiente torque ou empuxo para a específica aplicação, proporcionando estável e confiável.

Dos diversos acessórios utilizados, sem dúvida alguma o *posicionador* é o que mais amplamente se destaca entre eles. A necessidade do uso do posicionador em determinados tipos de atuadores para operarem em aplicações de controle modulado, constitui-se num fator de limitação ao seu uso, já que isso significa uma considerável aumento de custo.

Como já mostramos, o atuador pneumático tipo mola e diafragma não requer a obrigatoriedade do uso do posicionador no desempenho das suas funções em controle modulado. Por outro lado, as válvulas em controle modulado operada por atuadores pneumáticos a pistão necessitam obrigatoriamente do uso de posicionadores, sendo a sua utilização desnecessária apenas em aplicações de controle biestável.

A decisão do uso do posicionador num atuador pneumático tipo mola e diafragma deve ser realizada com critério. O uso de posicionadores nesse tipo de atuador às vezes é uma necessidade, geralmente um excesso.

Os *conversores* de sinais são hoje dispositivos amplamente utilizados face a natureza eletrônica da instrumentação moderna, que para compatibilizar-se com a natureza pneumática da válvula de controle, requer a conversão, por exemplo, de sinais 4-20 mA para 3-15 psig.

Quando da escolha do tipo de atuador deve-se sempre selecionar o tipo mais simples e confiável para aplicações em questão, evitando-se gastos excessivos de manutenção. *A transferência das forças para o elemento vedante deve ser realizada da forma mais simples, direta, rígida e confiável.*

Pelo fato do atuador pneumático tipo mola e diafragma ser o mais popular, versátil, confiável e econômico, deverá sempre ser considerado em primeiro lugar.

A seguir considere o atuador pneumático a pistão, e, caso necessário, então, considere os atuadores elétricos, eletro-hidráulicos e hidráulicos.

2.17) CONSIDERAÇÕES QUANTO À INSTALAÇÃO

De nada adiantaria proceder a uma completa análise dos fatores já mencionados, no intuito de selecionarmos a melhor válvula de controle para a aplicação em questão, se o aspecto da sua instalação for preterido.

Siga criteriosamente os diversos procedimentos e esquemas do sistema de instalação dados no

Desta forma estará assegurando obter o melhor desempenho da válvula selecionada.

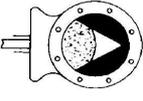
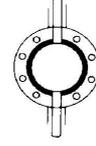
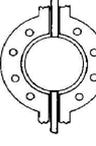
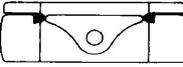
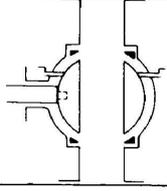
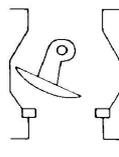
Tabela 12.2. - GUIA PRÁTICO DE SELEÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

Tipo de Válvula	Globo Convencional, Sede Dupla.	Globo Convencional, Sede Simples.	Globo Convencional, Sede Simples, Micro Fluxo.	Globo Convencional, Duplo Estágio.	Globo Gaiola, Sede Simples.	Globo Gaiola, Sede Simples, Micro Fluxo.
Forma Esquemática						
Classes de Pressão	150 a 1500 lbs (ANSI)	150 a 1500 lbs (ANSI)	150 a 1500 lbs (ANSI)	900 e 1500 lbs (ANSI)	150 a 600 lbs (ANSI)	150 a 600 lbs (ANSI)
Tipo de Conexões (1)	R, F, SW e BW	R, F, SW e BW	R, F, SW e BW (10)	F e BW	R, F, SW e BW	R, F, SW e BW (10)
Diâmetros	3/4 a 14"	1/2 a 10"	1/2 a 2"	2 a 12"	1/2 a 6"	1/2 a 2"
Custo	Médio	Médio	Médio	Alto	Médio	Médio
Capacidade Relativa (2)	100	95	-	86	102	-
Cv Min./Max.	8/2500	8/1350	0,25/14	39/980	12/465	0,25/14
Pressão de Operação (psig). Min./Max.	Vácuo/3600	Vácuo/3600	Vácuo/3600	Vácuo/3600	Vácuo/1440	Vácuo/1440
Limites de Temperatura (°C) Min./Max.	-268 a 600	-268 a 600	-268 a 600	-100 a 600	-268 a 600	-268 a 600
Características de Vazão (3)	L, LP, PM e AR	L, LP, PM e AR	L, LP, PM e AR	L, PM e AR	L, LP e AR	L, LP e AR
Alcance de Faixa	Até 50 1	Até 50 1	Até 50 1	Até 50 1	Até 50 1	Até 50 1
Desempenho em Controle Modulado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Uso em "Flashing"	Limitado	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Uso em Alta Viscosidade (u > 10 ⁴ cps.)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Uso em Serviços Erosivos e Abrasivos (4)	Não	Não	Não	Não	Limitado	Limitado
Capacidade de Vedação (5)	Boa (ANSI Classe II)	Boa (ANSI Classe IV)	Boa (ANSI Classe IV)	Boa (ANSI Classe IV)	Boa (ANSI Classe IV)	Boa (ANSI Classe IV)
Tipos de Guia do Elemento Vedante (6)	S + 1	S + 1	S ou S + AS (11)	G	G	G ou AS
Estabilidade de Funcionamento, Mesmo Sob Alto T.P. Devido ao Tipo de Guia do Elemento Vedante.	Boa	Boa	Regular	Excelente	Vide Nota (13)	Vide Nota (15)
Força Necessária de Atuação	Pequena	Grande	Pequena	Pequena	Grande	Pequena
Passagem Desobstruída ao Fluxo	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Capacidade de Recuperação da Pressão	Baixa (FL = 0,89/0,97) (8)	Baixa (FL = 0,91/0,97) (8)	Baixa (FL = 0,85)	Baixa (FL = 0,90)	Baixa (FL = 0,90)	Baixa (FL = 0,85)
Tendência a Cavitação Devido à Alta Recuperação da Pressão (7)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Fluxo em Qualquer Direção	Possível	Possível	Possível	Não	Não	Não
Possib. de Revestimento do Corpo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possib. de Inversão da Ação no Corpo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Possib. de Corpo Encamisado	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Sim	Sim
Facilidade de Remoção dos Internos	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baixa	Baixa
Manutenção	US, Gerat	US, Gerat	US, Gerat	Altos, DP, com ótima estanqueidade mesmo em alta temperatura	US, Gerat	US, Gerat em aplicações de baixa vazão
Aplicações Típicas	Estac. návia	Estac. návia	Estac. návia	Crescente	Crescente	Crescente
Tendência de Uso	Estac. návia	Estac. návia	Estac. návia	Crescente	Crescente	Crescente

Tabela 12.2. - GUIA PRÁTICO DE SELEÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

	Globo Gaveta Balanceada.	Globo Gaveta Duplo Estrago	Globo Gaveta Angular Sede Simples	Globo Gaveta Angular Balanceada.	Bi-Partida	Diaphragma
Tipo de Válvula	Globo Gaveta Balanceada.	Globo Gaveta Duplo Estrago	Globo Gaveta Angular Sede Simples	Globo Gaveta Angular Balanceada.	Bi-Partida	Diaphragma
Forma Esquemática						
Classes de Pressão	150 a 600 lbs (ANSI)	150 a 600 lbs (ANSI)	150 a 600 lbs (ANSI)	150 a 600 lbs (ANSI)	150 a 600 lbs (ANSI)	125 e 150 lbs (ANSI)
Tipo de Conexões (1)	R, F, SW e BW	F e BW	F, SW e BW	F, SW e BW	F	R e F
Diâmetros	1/2 a 6"	2 a 12"	1 a 6"	1 a 6"	1/2 a 12"	1/2 a 6"
Custo	Médio	Alto	Médio-Alto	Médio-Alto	Médio	Baixo
Capacidade Relativa (2)	109	109	109	132	95	144
Cv Min./Max.	1,3/470	62/1700	18/400	17/402	0,25/452	4,7/833
Pressão de Operação (psig). Min./Max.	Vácuo/1440	Vácuo/1440	Vácuo/1440	Vácuo/1440	Vácuo/1440	< 1 mm Hg/150
Limites de Temperatura (°C) Min./Max.	Vide Nota (16)	-255 a 600	-40 a 600	Vide Nota (16)	-40 a 232	-62 a 177
Características de Vazão (3)	L, IP e AR	L, IP, PM e AR	L, IP e AR	L, IP e AR	L, IP, PM e AR	Própria (19)
Alcance de Faixa.	Até 50.1	Até 50.1	Até 50.1	Até 50.1	Até 50.1	Até 10.1
Desempenho em Controle Modulado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Pobre
Uso em "Flashing"	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Uso em Alta Viscosidade ($\mu > 10^4$ cps.)	Não	Não	Limitado	Limitado	Limitado	Sim
Uso em Serviços Erosivos e Abrasivos (4)	Limitado	Limitado	Sim-Limitado	Sim-Limitado	Sim	Sim
Capacidade de Vedação (5)	Pobre (ANSI Classe II)	Bom (ANSI Classe IV)	Bom (ANSI Classe IV)	Pobre (ANSI Classe II)	Bom (ANSI Classe IV)	Excelente (ANSI Classe VI)
Tipos de Guia do Elemento Vedante (6)	G	G	G	G	S ou S + AS	S
Estabilidade de Funcionamento. Mesmo Sob Alto ΔP Devido ao Tipo de Guia do Elemento Vedante.	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Regular	Pobre
Força Necessária de Atuação	Pequena	Pequena	Pequena	Pequena	Regular	Grande
Passagem Desobstruída ao Fluxo	Não	Não	Não	Não	Grande	Sim
Capacidade de Recuperação da Pressão	Baixa ($F_L = 0,85$)	Baixa ($F_L = 0,85$)	Baixa ($F_L = 0,85$)	Moderada ($F_L = 0,80$)	Moderada ($F_L = 0,82$)	Sim
Tendência à Cavitação Devido à Alta Recuperação da Pressão (7)	Não	Não	Não	Baixa ($F_L = 0,85$)	Moderada ($F_L = 0,82$)	Sim
Fluxo em Qualquer Direção	Não (12)	Não (12)	Sim	Sim	Moderada	Sim
Possib. de Revestimento do Corpo	Não	Não	Não	Não	Não (9)	Sim
Possib. de Inversão da Atão no Corpo	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Possib. de Corpo Encamisado	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Não
Facilidade de Remoção dos Internos	Uso Geral	Uso Geral	Uso Geral	Uso Geral	Uso Geral	Não
Manutenção	Uso Geral	Uso Geral	Uso Geral	Uso Geral	Uso Geral	Não
Aplicações Típicas	Uso Geral	Altos ΔP com ótima estanqueidade mesmo em alta temperatura	Instalações nas quais a tubulação de saída da válvula deve ser auto-drenável. Aplicações com fluidos erosivos e "flashing" (17)	Instalações nas quais a tubulação de saída da válvula deve ser auto-drenável. Aplicações com fluidos erosivos e "flashing" (17)	Fluidos altamente corrosivos, que exigem uma constante inspeção dos internos (18)	Fluidos altamente corrosivos, que exigem uma constante inspeção dos internos (18)
Tendência de Uso	Crescente	Crescente	Decrescente	Decrescente	Decrescente	Decrescente

Tabela 12.2 - GUIA PRÁTICO DE SELEÇÃO DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

Tipo de Válvula	Guilhotina, Face em "V"	Borboleta Metal-Borracha (24)	Borboleta Metal-Metal	Borboleta Metal-TFE	Esfera	OBTURADOR ROTATIVO EXCÊNTRICO
<p>Forma Esquemática</p> 						
<p>Classes de Pressão Tipo de Conexões (1) Diâmetros Custo Capacidade Relativa (2) C_v Min./Max.</p>	<p>125 e 150 lbs (ANSI) W 2 a 24" Baixo 186 97/14840</p>	<p>150 lbs (25) W e F (26) 2 a 60" Baixo 115 (27) 55/125500 (28)</p>	<p>150 lbs (26) W e F 2 a 60" Baixo 120 (27) 60/125500 (28)</p>	<p>150 e 300 lbs W 3 a 24" Baixo-Médio 100 (27) 110/18330 (28)</p>	<p>150 a 600 lbs (ANSI) F, SW e BW 3/4 a 12" Alto 480 17/8433</p>	<p>150 a 600 lbs W 1 a 12" Médio 147 16,8/2100</p>
<p>Pressão de Operação (psig). Min./Max. Limites de Temperatura (°C) Min./Max. Características de Vazão (3) Alcance de Faixa. Desempenho em Controle Moduladado</p>	<p>Vide Nota (21) PM Até 15 l Pobre</p>	<p>Vide Nota (29) Própria (30) 10.1 a 20.1 Regular</p>	<p>Vácuo/275 -200 a 400 Própria (30) Até 20.1 Regular-Bom</p>	<p>Vácuo/720 -200 a 260 Própria (33) Até 20.1 Regular-Bom</p>	<p>< 1 mm Hg/1440 Vide Nota (36) Própria (36) Entre 50.1 e 100.1 Bom</p>	<p>Vácuo/1440 -200 a 400 Própria (39) Entre 50.1 e 100.1 Bom</p>
<p>Uso em "Flashing" Uso em Alta Viscosidade (u > 10⁴ cps.) Uso em Serviços Erosivos e Abrasivos (4) Capacidade de Vedação (5) Tipos de Guia do Elemento Vedante (6) Estabilidade de Funcionamento, Mesmo Sob Alto ΔP, Devido ao Tipo de Guia do Elemento Vedante.</p>	<p>Não Sim Limitado Vide Nota (22) AS</p>	<p>Não Sim Limitado Excelente (ANSI Classe VI) E</p>	<p>Não Sim Limitado Ruim (32) E</p>	<p>Não Sim Limitado Excelente (ANSI Classe VI) E</p>	<p>Não Sim Sim-Limitado Vide Nota (37) S + AS ou S + I + AS (38)</p>	<p>Sim Sim-Limitado Sim-Limitado Boa (ANSI Classe IV) S + I</p>
<p>Força Necessária de Atuação Passagem Desobstruída ao Fluxo Capacidade de Recuperação da Pressão Tendência à Cavitação Devido à Alta Recuperação da Pressão (7) Fluxo em Qualquer Direção</p>	<p>Pobre Grande Moderada</p>	<p>Pobre Muito Grande Sim Alta (F_L = 0.56/0.69) (31)</p>	<p>Pobre Muito Grande Sim Alta (F_L = 0.56/0.69) (31)</p>	<p>Pobre Muito Grande Sim Alta (F_L = 0.56/0.69) (31)</p>	<p>Boa Grande Sim Alta (F_L = 0.5b)</p>	<p>Boa Moderada Moderada-Baixa (F_L = 0.70/0.84) (40)</p>
<p>Possib. de Revestimento do Corpo Possib. de Inversão da Ação no Corpo Possib. de Corpo Encamisado Facilidade de Remoção dos Internos Manutenção Aplicações Típicas</p>	<p>Sim (23) Não Sim Sim Baixa E utilizada mais para biquêto do que para controle moduladado, com exceção das aplicações em massa de papel</p>	<p>Sim Não Sim Sim Elevada Serviços Gerais leves (baixo ΔP), principalmente em grandes vazões</p>	<p>Sim Não Sim Sim Elevada Serviços Gerais leves (baixo ΔP), especialmente em grandes vazões</p>	<p>Sim (34) Não Sim Sim Elevada Serviços Gerais moderados, especialmente em grandes vazões. Mais indicada para controle moduladado do que os outros tipos de válvulas borboleta</p>	<p>Não Não Sim Elevada Serviços Gerais leves</p>	<p>Não Não Sim Moderada Serviços Gerais leves</p>
<p>Tendência de Uso</p>	<p>Estacionário</p>	<p>Crescente</p>	<p>Crescente</p>	<p>Crescente</p>	<p>Crescente</p>	<p>Crescente</p>

NOTAS REFERENTES À TABELA 12.2

- (1) R = Rosca
F = Flange
W = "Wafer"
SW = Solda de Encaixe
BW = Solda de Tópo
- (2) Foi utilizada como base de comparação, a válvula globo sede dupla de 3" de diâmetro.
- (3) L = Linear
IP = Igual Porcentagem
PM = Parabólica Modificada
AR = Abertura Rápida
- (4) A possibilidade de uma determinada válvula operar com fluidos erosivos e abrasivos, depende do tipo de construção da válvula principalmente quanto ao aspecto de auto-drenagem, além dos materiais utilizados. Aquelas válvulas que possibilitam um revestimento interno do seu corpo com, por exemplo, materiais elastômeros, apresentam uma perfeita aptidão para tal aplicação, caso contrário haverá necessidade da seleção de materiais de alta dureza, tais como o Stellite, Incox 440C, Inconel, Niquel, etc.
- (5) Conforme a norma ANSI B16.104, as capacidades de vedação das diversas válvulas, quando totalmente fechadas, classificam-se da seguinte forma:
- Classe I - Qualquer válvula pertencente às classes II, III e IV, sem necessidade de teste conforme acordo entre fabricante e usuário. Não é fornecida garantia de estanqueidade.
 - Classe II - Vazamento de até 0,5% da capacidade nominal da válvula.
 - Classe III - Vazamento de até 0,1% da capacidade nominal da válvula.
 - Classe IV - Vazamento de até 0,01% da capacidade nominal da válvula.
 - Classe V - Vazamento de até 5 x 10⁻⁴ cm³ por minuto por polegada de diâmetro de orifício, por psi de pressão diferencial.
 - Classe VI - Vazamento conforme tabela abaixo.

Diâmetro de Orifício de passagem (pol)	Centímetros Cúbicos por minuto	Bolhas por minuto
1 1/2	0,15	1
2	0,30	2
2 1/2	0,45	3
3	0,60	4
4	0,90	5
6	1,70	11
8	4,00	27
10	6,75	45

As classes de vedação dadas na Tabela de Seleção são as consideradas em válvulas de construção normal. Níveis de vedação superiores podem ser obtidos através de construções especiais, como assentamento composto ("soft-seat"), atuadores superdimensionados, etc.

- (6) S = Superior
I = Inferior
G = Gaiola
AS = Anel da Sede
E = Exo (Nas válvulas rotativas significa guia nas duas extremidades do eixo.)
- (7) O fato das válvulas consideradas de alta recuperação da pressão, apresentarem uma maior tendência à cavitação do líquido, está relacionado com o fato de que para uma mesma queda de pressão global, nas válvulas de alta recuperação da pressão (borboleta, esfera), a pressão no ponto da "vena contracta" é muito menor que o apresentado pelas válvulas de baixa recuperação da pressão (globo).
- (8) O valor duplo dado para o fator F_L corresponde a obturador de contorno e de passagem em "V", respectivamente.
- (9) Fluido deve tender a abrir a válvula.
- (10) A conexão soldada tipo solda de topo, embora seja normalmente especificada para diâmetros superiores a 2", pode ser utilizada em diâmetros inferiores a 2", caso o fluido seja corrosivo e com alto diferencial de temperatura.

- (11) A guia do obturador é apenas superior, com obturadores tipo contorno. Se o obturador for com rasgos em "V" (utilizado para menores capacidades de vazão), a guia é superior e no anel da sede.
- (12) Fluido entra pela janela da gaiola e sai pelo anel da sede.
- (13) A estabilidade de funcionamento apenas será considerado como excelente na válvula gaiola modelo 1020 (grande superfície de guia). No modelo 1030 (pequena superfície de guia) a estabilidade é considerada como regular.
- (14) Fluido entra sob o anel da sede e sai pela janela da gaiola.
- (15) A estabilidade de funcionamento apenas é considerada como excelente na válvula modelo 1070, (guiada na gaiola). No modelo 1060, guiada no anel da sede, a estabilidade é considerada como regular.
- (16) A válvula gaiola balanceada com anel de selagem de TFE grafitado é utilizada em temperaturas de -73 à +232°C. Para temperaturas de -255 até +600°C utiliza-se a válvula com anel de grafite.
- (17) A utilização da válvula tipo angular em aplicações erosivas, provocadas por sólidos em suspensão no líquido, fluidos lamacentos, ou pelo "flashing" de líquidos é facilitada pela possibilidade de instalação de um anel da sede venturi que irá proporcionar uma proteção do corpo contra o desgaste de erosão.
- (18) O uso da válvula borboleta em aplicações corrosivas, deve-se à simplicidade de construção do seu corpo e principalmente ao fator custo, devido à possibilidade de utilização de corpos em materiais nobres tais como Monel, Hastelloy, Niquel, etc., e flanges em aço carbono soldados ao corpo. Além disso, pelo fato de possibilitar uma fácil desmontagem dos internos, possibilita o seu uso basicamente em aplicações corrosivas.
- (19) A característica de vazão inerente da válvula diafragma localiza-se entre a característica linear e a de abertura rápida.
- (20) O seu uso em aplicações corrosivas deve-se à grande variedade de materiais para revestimento do seu corpo.
- (21) Se o seu anel de vedação for de TFE, pode-se utilizá-lo numa faixa de -73 até +232°C. Caso o anel de vedação seja de aço inoxidável, até 450°C.
- (22) A vedação da válvula guilhotina com anel de TFE depende da pressão na linha. Para um diferencial de pressão através da válvula de 70 psi, apresenta uma excelente estanqueidade (ANSI Classe VI). Entretanto, caso o diferencial seja de 40 psi, o seu vazamento é da ordem de 0,01% da máxima capacidade da válvula, ou seja ANSI Classe IV. Para a válvula com anel de vedação de aço inoxidável a estanqueidade é ruim.
- (23) Sendo que o anel de selagem de TFE está instalado em apenas um dos lados da face, caso seja necessária uma vedação boa, o fluxo deve entrar na válvula de acordo com a recomendação dada na próxima válvula, ou seja, forçando a face de encontro ao anel de TFE. Caso contrário, é possível um fluxo em qualquer direção.
- (24) Sob a denominação de metal-borracha, englobam-se não só as válvulas borboletas propriamente revestidas, mas também aquelas com anel de vedação alojado no disco ou no corpo.
- (25) Em diâmetros de até 24" a válvula borboleta é tipo "wafer" a ser montada entre par de flanges 150 lbs conforme a norma ANSI. Para diâmetros de 26 a 60" o projeto da válvula borboleta segue as determinações da norma AWWA, isto é, corpo com classe de pressão 75 a 150 psi conforme norma AWWA 504-74.

- (26) Até 24" o corpo é tipo "wafer", de 26 a 60" é flangeado conforme a norma AWWA 207 55.
- (27) A capacidade relativa dada é baseada numa abertura máxima (para controle modulado) de 60°. Para 90° a capacidade aumenta da ordem de 100%.
- (28) O máximo valor dado para o C_v representa um valor relativo a uma abertura de 90°. Para uma abertura máxima de 60°, o C_v reduz-se da ordem de 50%.
- (29) Os limites de temperatura dependem do tipo de elastômero utilizado para sede da válvula. Tais limites, de acordo com o FULLMER RESEARCH INSTITUTE LTD., são:
Buna N = -20 a +120°C
Neoprena = -20 a +130°C
Silicona = -60 a +230°C
Viton = -40 a +230°C
Os valores dados acima, são considerados como valores limites em serviços contínuos.
- (30) A característica de vazão inerente da válvula borboleta com disco concêntrico é próxima à igual porcentagem. Outras características de vazão obtêm-se mediante o uso de posicionador caracterizado.
- (31) O valor duplo dado para o fator F_L corresponde a abertura 60 e 90°, respectivamente.
- (32) A válvula borboleta metal-metal com disco e corpo de formato convencional, apresenta um alto índice de vazamento (da ordem de 5% da capacidade máxima da válvula). A própria Norma da ANSI B 16 104 não a classifica em nenhuma das classes de vedação. Um formato de disco e de corpo especial, porém, denominado de assento de encosto é especificado para utilização em aplicações onde seja necessário reduzir o vazamento permitido pela válvula borboleta metal-metal comum. O nível de vazamento dessa construção especial é da ordem de 3% da máxima capacidade da válvula.
- (33) A característica de vazão inerente da válvula borboleta com disco excêntrico, apresenta nos seus 10 a 15° iniciais da abertura, uma tendência à abertura rápida, para depois passar a igual porcentagem. Outras características de vazão obtêm-se mediante o uso de posicionador caracterizado.
- (34) Este tipo de construção possui como assento um anel TFE preso entre o corpo e um disco retentor do anel.
- (35) Caso o anel sede seja de TFE, os limites de operação quanto à temperatura são -73 a +200°C, com anéis em aço inoxidável revestidos por Stellite, a faixa de utilização quanto à temperatura vai de -255 a +650°C.
- (36) A característica de vazão inerente da válvula esfera é próxima à igual porcentagem entre 9° e 80° de abertura. Outras características de vazão obtêm-se mediante o uso de posicionadores caracterizado.
- (37) A válvula esfera com anéis da sede em TFE, permite uma vedação estanque, Classe VI, enquanto que com anéis metálicos apresenta um vazamento da ordem de 0,01% da capacidade máxima, isto é, uma vedação Classe IV.
- (38) A guia da esfera na série 2000 é superior e nas sedes nos diâmetros de até 6" inclusive. Acima de 8" passa a ter também guia inferior, além daquelas já citadas.
- (39) A característica de vazão inerente da válvula no obturador rotativo excêntrico é próxima à linear, entre esta e a igual porcentagem. Outras características de vazão obtêm-se mediante o uso de posicionador caracterizado.
- (40) O valor duplo dado para o fator F_L é caso o fluxo tenda a fechar ou a abrir a válvula, respectivamente.

APÊNDICE B

Material	Designação da ASTM (material fundido)	Limites de Temperatura			
		Mínimo		Máximo	
		°C	°F	°C	°F
Ferro Cinzento	ASTM A126	-29	-20	210	410
Ferro Nodular	ASTM A395	-29	-20	343	650
Bronze	ASTM B62	-198	-325	288	550
Aço Carbono	ASTM A216 Gr. WCB	-29	-20	538	1000
Aço Ferrítico	ASTM A352 Gr. LCB	-45	-50	343	650
Aço Liga Cromo-Molibdênio	ASTM A217 Gr. C5	-29	-20	593	1100
Aço Níquel (3,5%)	ASTM A352 Gr. LC3	-101	-150	343	650
Aço Inox, Tipo 304	ASTM A351 Gr. CF8	-255	-425	816	1500
Aço Inox, Tipo 316	ASTM A351 Gr. CF8M	-255	-425	816	1500
Monel	ASTM A296-M35	-198	-325	482	900
Alloy 20	ASTM A296-CN-7M	-45	-50	149	300
Hastelloy B	ASTM A296-N-12M-1	-198	-325	371	700
Hastelloy C	ASTM A494 (CW-12M-1)	-198	-325	538	1000

* Em aplicações de serviço contínuo à temperaturas acima de 425°C (800°F), não recomenda-se o seu uso, pois a fase do carbono pode transformar-se em grafite.

Fig.1 – Materiais para Fabricação de Válvulas

Material do Corpo	Temperatura		Especificação do Material	
	(°F)	(°C)	Parafusos ou Prisioneiros	Porcas
Ferro Cinzento	-20 à 410	-29 à 210	ASTM A 307 Gr. B	ASTM A 307 Gr. B
Ferro Nodular	-20 à 650	-29 à 343	ASTM A 193 Gr. B7	ASTM A 194 Gr. 2H
Aço Carbono (Grau WCB)	-20 à 800	-29 à 427	ASTM A 193 Gr. B7	ASTM A 194 Gr. 2H
Aço Carbono (Grau LCB)	-50 à 650	-46 à 343	ASTM A 193 Gr. B7	ASTM A 194 Gr. 2H
Aço Níquel - 3,5% (Grau LC3)	-150 à -50	-101 à -46	ASTM A 320 Gr. L7	ASTM A 194 Gr. 4 com teste de charpy ou Gr. 8M
	-50 à 650	-46 à 343	ASTM A 193 Gr. B7	ASTM A 194 Gr. 2H
Aço Cromo - Molib. (Grau C5)	-20 à 800	-29 à 427	ASTM A 193 Gr. B7	ASTM A 194 Gr. 2H
	801 à 1000	427 à 538	ASTM A 193 Gr. B7	ASTM A 194 Gr. 7
	1001 à 1100	538 à 593	ASTM A 193 Gr. B16	ASTM A 194 Gr. 4
Aço Inox (Grau CF8)	-425 à 100	-255 à 38	ASTM A 320 Gr. B8	ASTM A 194 Gr. 8
	100 à 1500	38 à 816	*ASTM A 193 Gr. B8	*ASTM A 194 Gr. 8
Aço Inox (Grau CF8M)	-325 à 100	-198 à 38	ASTM A 320 Gr. B8	ASTM A 194 Gr. 8
	100 à 1500	38 à 816	*ASTM A 193 Gr. B8M	*ASTM A 194 Gr. 8M

* Em caso de temperaturas moderadas, pode ser utilizado o ASTM A 193 Gr. B7 para parafusos e o ASTM A 194 Gr. 2H para porcas.

Fig.2 – Materiais de Fixação

Material	Limites de Temperatura		Dureza	Aplicações Gerais	Limitações de Uso
	°C	°F			
Bronze	-273 a 232	-460 a 450	60 BNH	Água, ar, gases e vapor saturado.	Serviços não erosivos, não corrosivos e a baixas quedas de pressão (50 psi no máximo).
Aço Inox Tipo 316	-268 a 316 ⁽¹⁾	-450 a 600 ⁽¹⁾	14 Rc (Máx.)	Vapor, água, óleo e gases até 200 psi de queda de pressão. Gases frios, até 300 psi de queda de pressão.	Serviços não erosivos, corrosivos ² e a moderadas quedas de pressão.
Aço Inox Tipo 17-4PH	-40 a 400	-40 a 750	40 - 45 Rc	Serviços erosivos. Maiores quedas de pressão que as dadas para o aço inox 316.	
Aço Inox Tipo 410	-100 a 400 ⁽¹⁾	-150 a 750 ⁽¹⁾	37 - 42 Rc	Serviços erosivos. Altas quedas de pressão.	Serviços corrosivos.
Stellite n.º 6	- 268 a 650	- 450 a 1200	40 - 45 Rc (a 20°C) 38 Rc (a 650°C)	Serviços erosivos. Altas quedas de pressão.	
Aço Inox Tipo 440C	-46 a 400	- 50 a 750	50 - 60 Rc	Serviços altamente erosivos, erosivos, abrasivos e cavitantes.	Serviços corrosivos.
Monel K	-240 a 482	-400 a 900	27 - 35 Rc	Serviços altamente corrosivos: alcalis, sais, produtos alimentícios etc.	Serviços erosivos.
Monel S	-240 a 482	-400 a 900	30 - 38 Rc	Serviços altamente corrosivos: alcalis, sais, produtos alimentícios, etc.	Serviços erosivos.
Hastelloy B	370	700	14 Rc	Serviços altamente corrosivos: ácidos minerais, sulfúrico, fosfórico, clorídrico, etc.	Serviços erosivos.
Hastelloy C	540	1000	23 Rc	Serviços altamente corrosivos.	Serviços erosivos.

NOTAS:

- (1) O limite de temperatura máximo, refere-se à limitação da superfície do assento. Como material base pode ser utilizado a superiores temperaturas.
 (2) Em serviços severos com H₂S especificar outro material.
 (3) Como em aplicações em água pura.

Fig. 3 – Seleção do Material dos Internos

Elastômero	Designação da ASTM D1418	Temperatura	
		°C	°F
Borracha Natural	NR	-50 a +100	-58 a +212
Neoprene	CR	-20 a +130	-4 a +266
Nitrílica	NBR	-20 a +120	-4 a +248
Etileno-Propileno	EPM & EPDM	-40 a +150	-40 a +302
Poliuretano	AU, EU	-50 a +100	-58 a +212
Silicone	VMQ	-60 a +230	-76 a +446
Polietileno cloro - sulfonado ("Hypalon")	CSM	-40 a +120	-40 a +248
Fluoroelastômero ("Viton")	FKM	-40 a +230	-40 a +446
Tetrafluoroetileno (TFE)		-200 a +260	-328 a +500

* Os limites de temperatura máximos e mínimos dados, referem-se para serviço contínuo, de acordo com FULMER RESEARCH INSTITUTE LTD.

Fig.10 – Limite de Temperatura de Vários Elastômeros

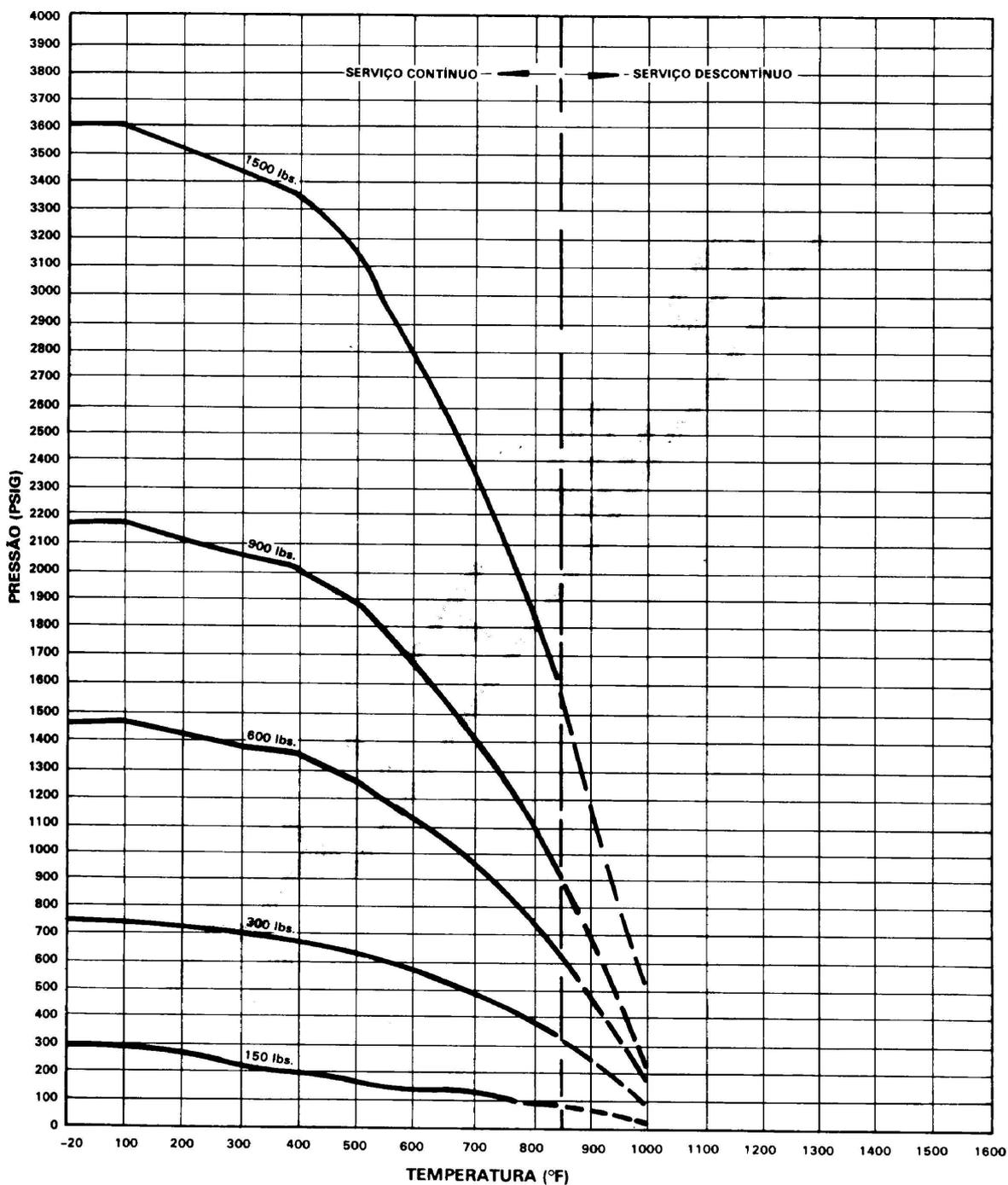


Fig.4 – Limites de Pressão e Temperatura do Aço Carbono Gr. WCB

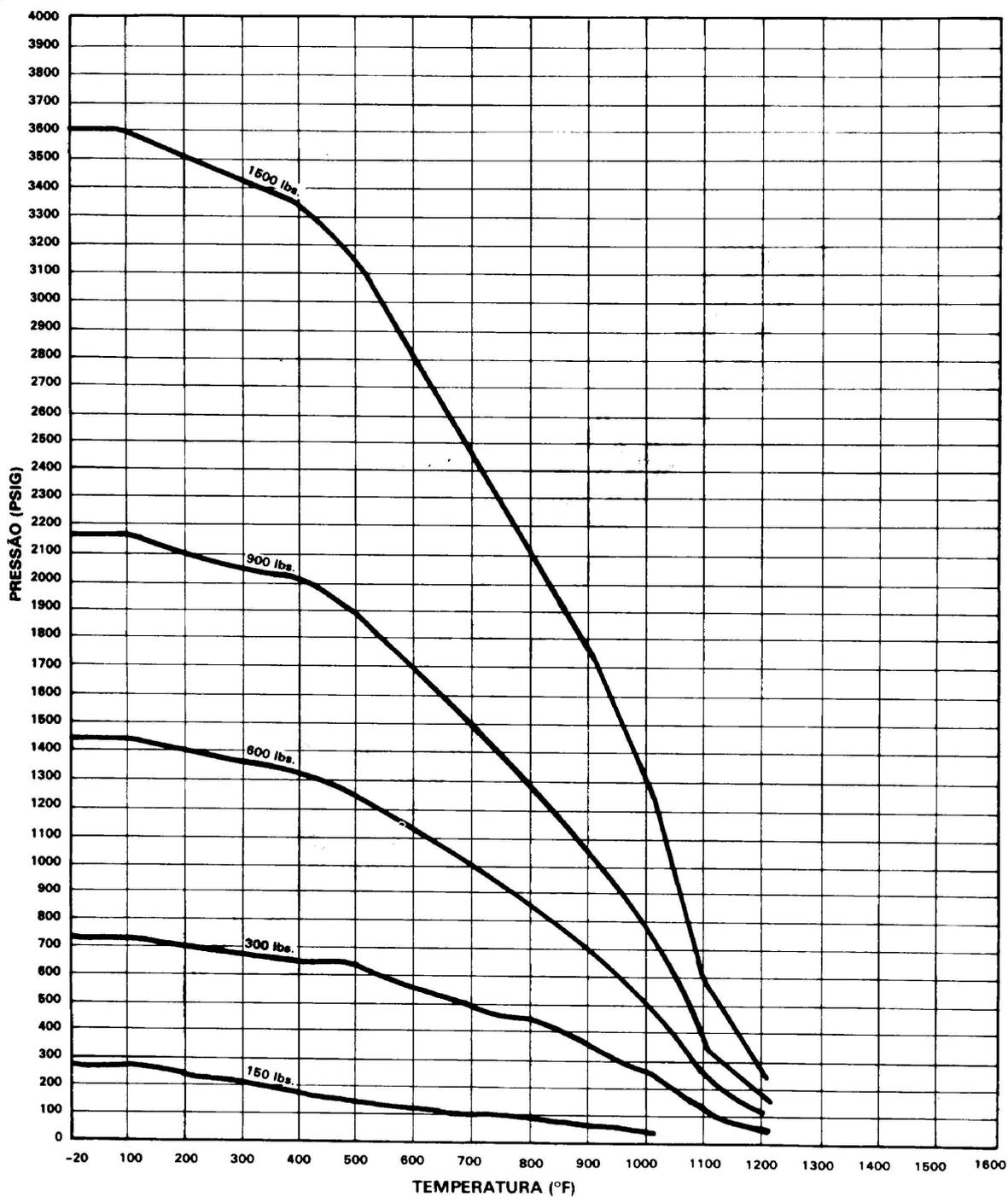


Fig.5 – Limites de Pressão e Temperatura do Aço Carbono Gr. C5

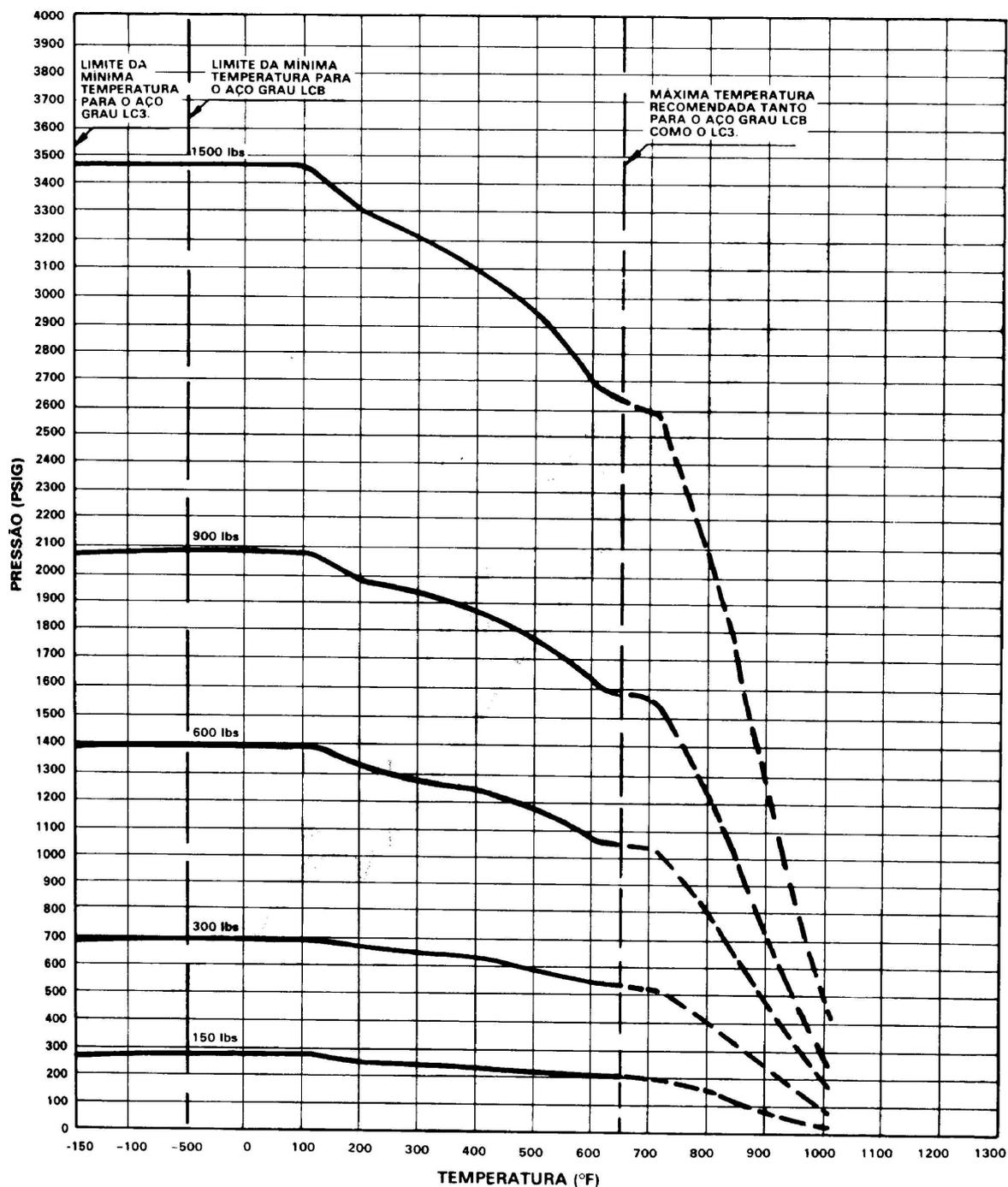


Fig.6 – Limites de Pressão e Temperatura do Aços Gr. LCB e LC3

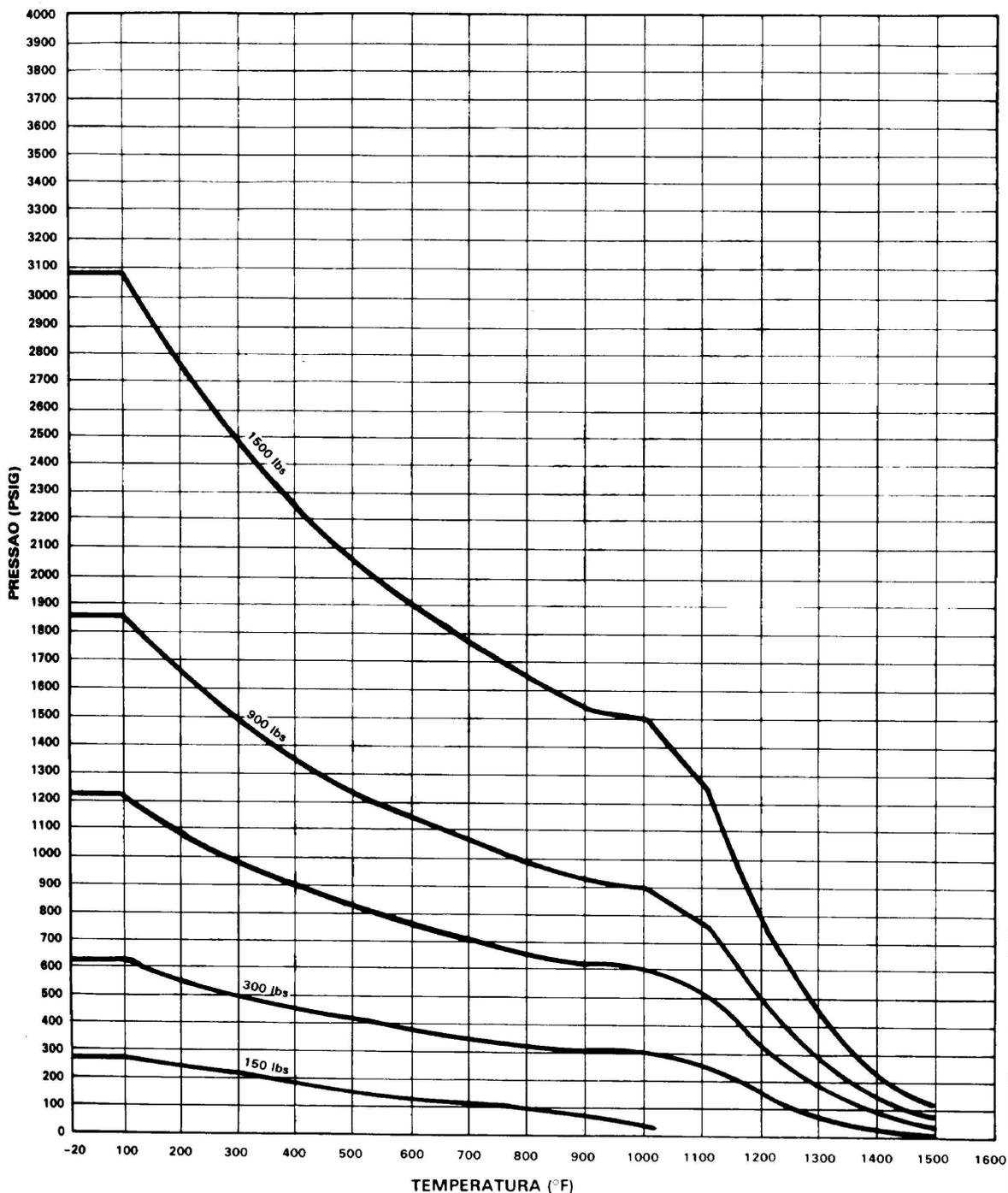


Fig.7 – Limites de Pressão e Temperatura do Aço Inox Tipo 304

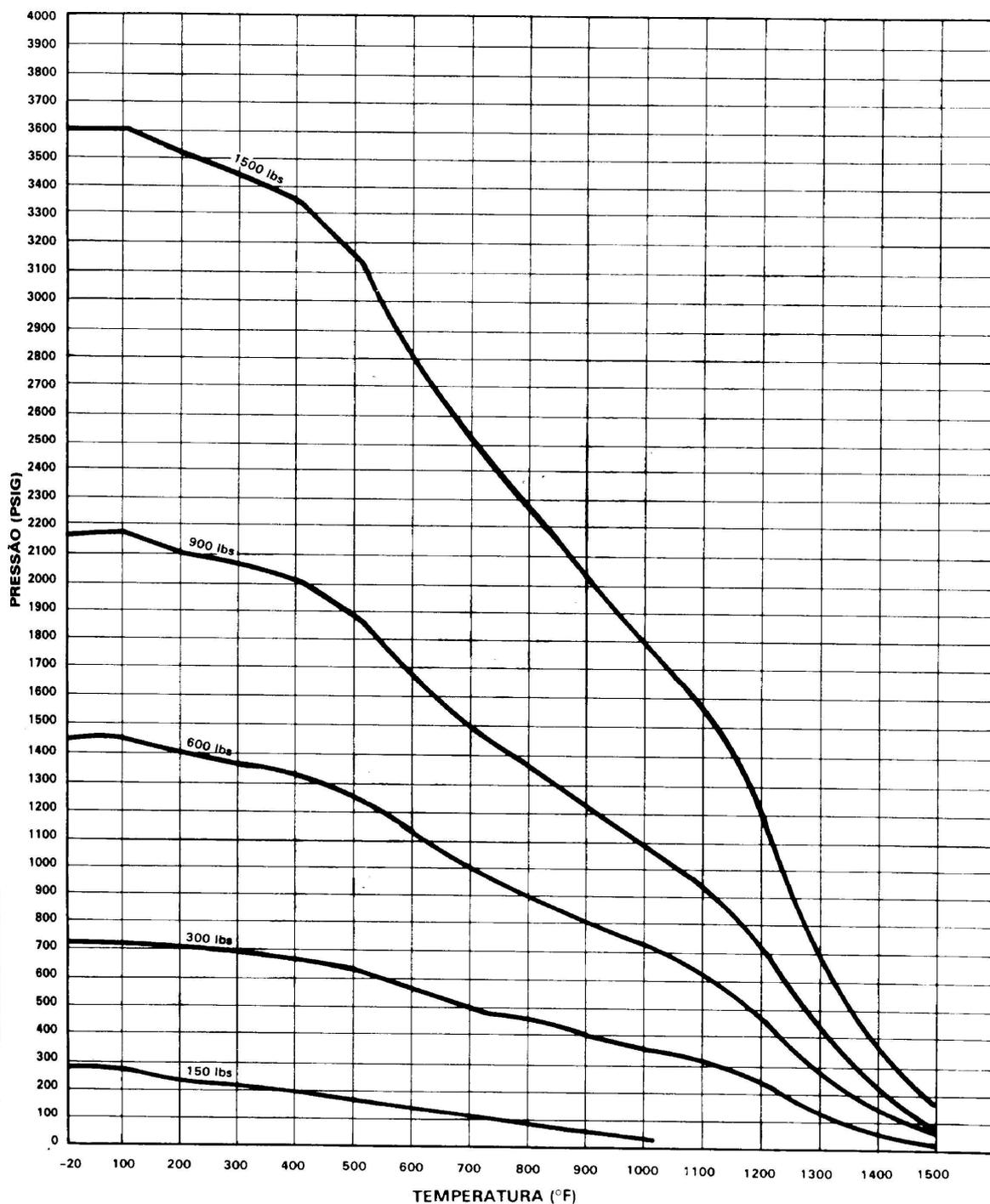


Fig.8 – Limites de Pressão e Temperatura do Aço Inox Tipo 316

MATERIAIS RESISTENTES A CORROSÃO

PARA USO EM VÁLVULAS

Meio Corrosivo e Condições	Temp. °F	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Bronze	Ferro e Aço	Outros
Acetato de Amila conc/	70	R	B	B	A	A	B	A	C	
Acetato de Butila	70	B	B	A	A	A	A	A	A	
Acetato de Cobre sat/	70	B	B	B	A	A	D	D	D	
Acetato de Chumbo	70	B	B	B	B	B	D	-	D	
Acetato de Etila conc/	70	A	A	B	B	B	A	A	B	
Acetato de Sódio úmido	70	B	B	B	B	B	-	B	C	
Acetileno	70	A	A	B	A	A	A	D	A	
Acetona	Eb.	R	B	A	A	A	A	A	B	
Ácido Acético 5-10%	70	A	A	B	A	A	A	D	D	
Ácido Acético 5-10%	Eb.	B	B	B	B	A	D	D	D	C-20-A
Ácido Acético 20%	70	A	A	B	A	A	A	D	D	
Ácido Acético 50%	70	A	A	B	A	A	A	D	D	
Ácido Acético 80%	70	A	A	B	A	A	A	D	D	
Ácido Acético 80%	Eb.	D	B	A	B	A	C	D	D	
Ácido Acético Glacial	70	A	A	A	A	A	A	D	D	Zr-A
Ácido Acético Glacial	Eb.	D	B	B	B	A	B	D	D	C-20-A
Ácido Benzóico	70	B	B	B	A	A	B	B	B	
Ácido Bórico 5%	Qt.	B	B	B	A	A	D	R	D	
Ácido Butírico 5%	150	B	B	B	B	A	C	A	B	
Ácido Butírico (sol.aq.)	Eb.	B	B	B	B	A	D	B	D	
Ácido carbônico sat/	70	B	B	B	A	A	B	C	D	
Ácido Cianídrico	70	B	B	B	B	B	C	A	D	
Ácido Cítrico 5%	70	A	A	A	A	A	B	C	D	
Ácido Cítrico 5%	150	B	B	B	A	A	B	C	D	
Ácido Cítrico 15%	Eb.	B	B	B	A	A	C	D	D	
Ácido Cítrico conc/	Eb.	D	B	B	A	A	B	D	D	Ni-A
Ácido Clorídrico 1%	70	D	C	C	A	A	D	D	D	C-20-A
Ácido Clorídrico 1%	Eb.	D	D	D	B	D	D	D	D	Zr-A
Ácido Clorídrico 5%	70	D	D	D	A	B	D	D	D	C-20-B
Ácido Clorídrico 5%	Eb.	D	D	D	B	D	D	D	D	Zr-A
Ácido Clorídrico 10%	70	D	D	D	A	C	D	D	D	
Ácido Clorídrico 10%	Eb.	D	D	D	B	D	D	D	D	Zr-A
Ácido Clorídrico 25%	70	D	D	D	A	B	D	D	D	
Ácido Clorídrico 25%	Eb.	D	D	D	B	D	D	D	D	Zr-A
Ácido Clorídrico conc/	70	D	D	D	A	B	D	D	D	
Ácido Clorídrico conc/	Eb.	D	D	D	B	D	D	D	D	Zr-B

TABELAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO (continuação)

Meio Corrosivo e Condições	Temp. °F	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Bronze	Ferro e Aço	Outros
Ácido Cloroacético	70	D	D	D	B	B	D	D	D	
Ácido Clorosulfônico 10%	70	C	B	D	A	A	B	D	D	
Ácido Clorosulfônico conc	70	B	B	D	A	A	B	D	D	
Ácido Cresílico	70	A	A	A	A	A	A	B	B	
Ácido crômico 5%	70	B	B	B	D	B	B	C	B	Zr-A
Ácido crômico 10% C.P.	Eb.	C	B	D	D	B	B	D	D	
Ácido Crômico 50% Com.	Eb.	D	D	D	D	B	D	D	D	
Ácido Esteárico	70	B	A	A	A	A	A	C	C	
Ácido Fluorsilícico	70	D	D	B	B	B	D	D	D	
Ácido Fluorídrico conc/	70	D	D	A	B	B	D	D	D	C-20-B
Ácido Fluorídrico conc/	176	D	D	B	B	B	D	D	D	C-20-B
Ácido Fôrmico 5%	70	B	B	B	C	A	D	C	C	
Ácido Fôrmico 5%	150	B	B	C	C	A	D	C	D	g
Ácido Fôrmico 10-50%	70	B	B	B	C	A	D	C	C	
Ácido Fôrmico 10-50%	Eb.	D	D	C	C	B	D	D	D	C-20-B
Ácido Fôrmico 100%	70	C	C	B	B	A	D	C	D	C-20-A
Ácido Fôrmico 100%	Eb.	D	D	C	C	B	D	C	D	C-20-B
Ácido Fosfórico 1%	70	B	B	B	A	A	B	B	D	
Ácido Fosfórico 5%	70	B	B	B	A	A	C	C	D	
Ácido Fosfórico 10%	70	C	B	B	A	A	C	C	D	
Ácido Fosfórico 10%	Eb.	D	C	D	A	A	D	D	D	C-20-A
Ácido Fosfórico 25%	Eb.	D	C	D	A	B	D	D	D	C-20-A
Ácido Fosfórico 45%	70	D	B	B	A	A	D	D	D	
Ácido Fosfórico 45%	Eb.	D	C	D	A	B	D	D	D	C-20-A
Ácido Fosfórico 85%	70	D	B	A	A	A	D	D	D	
Ácido Fosfórico 85%	Eb.	D	D	C	A	D	D	D	D	C-20-B
Ácido Gálico 5%	70	B	B	B	B	B	D	C	B	
Ácido Gálico 5%	150	B	B	B	B	B	D	D	C	
Ácidos Graxos	Eb.	B	B	A	B	A	C	B	C	Ic-A
Ácido Iodídrico (diluído)	70	D	D	C	B	C	D	D	D	
Ácido Lático 1%	Eb.	B	B	C	B	C	D	D	D	
Ácido Lático 5%	70	B	A	B	B	B	A	D	D	
Ácido Lático 5%	150	B	B	C	B	B	B	D	D	
Ácido Lático 5%	Eb.	D	B	D	B	C	D	D	D	
Ácido Lático 10%	70	B	A	B	B	B	A	D	D	
Ácido Lático 10%	150	C	B	C	B	B	B	D	D	
Ácido Lático 10%	Eb.	D	C	D	B	C	D	D	D	C-20-B
Ácido Lático conc/	70	B	A	B	B	B	A	D	D	
Ácido Lático conc/	Eb.	D	D	D	B	C	D	D	D	C-20-B
Ácido Máfico conc/	70	B	B	B	B	B	B	-	D	
Ácido Máfico	Qt.	B	B	B	B	B	C	-	D	
Ácido Muriático	70	D	C	C	B	A	D	D	D	
Ácido Nítrico 1%	70	A	A	D	D	A	B	D	D	
Ácido Nítrico 1%	Qt.	B	B	D	D	C	D	D	D	
Ácido Nítrico 5%	70	A	A	D	D	A	B	D	D	
Ácido Nítrico 10%	70	A	A	D	D	A	D	D	D	
Ácido Nítrico 10%	Eb.	B	C	D	D	C	D	D	D	
Ácido Nítrico 20%	70	A	A	D	D	B	D	D	D	

TABELAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO (continuação)

Meio Corrosivo e Condições	Temp. °F	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Bronze	Ferro e Aço	Outros
Ácido Nítrico 50%	70	A	A	D	D	B	C	D	D	
Ácido Nítrico 50%	Eb.	B	B	D	D	D	D	D	D	Zr-A
Ácido Nítrico 65%	Eb.	B	C	D	D	D	C	D	D	Ti-B
Ácido Nítrico 85%	70	B	B	D	D	B	B	D	B	
Ácido Nítrico 85%	Qt.	B	C	D	D	D	D	D	D	Zr-A
Ácido Nítrico conc/	70	B	B	D	D	B	A	D	B	
Ácido Nítrico conc/	Eb.	C	C	D	D	D	D	D	D	Zr-A
Ácido Nitroso 5%	70	B	B	D	D	B	C	D	D	
Ácido Oléico	70	B	B	A	B	B	B	C	C	
Ácido Oléico (bruto)	400	C	B	B	B	B	D	D	D	
Ácido Oxálico 5%	Qt.	C	C	B	B	B	D	D	D	
Ácido Oxálico 10%	70	B	L	B	B	B	B	C	C	C-20-A
Ácido Oxálico 10%	Eb.	D	D	C	B	B	D	D	D	C-20-B
Ácido Oxálico 50%	Eb.	D	D	C	B	B	D	D	D	
Ácido Oxálico (saturado)	70	B	B	B	B	B	B	D	C	
Ácido Oxálico (saturado)	Eb.	D	D	C	B	B	D	D	D	
Ácido Palmítico	70	B	B	B	B	B	B	B	C	
Ácido Pírico (sol. aquosa)	70	B	B	D	B	B	D	D	C	
Ácido Pirogálico	70	B	B	B	B	B	B	B	B	
Ácido Propiônico	70	B	B	B	A	A	B	D	D	
Ácido Salicílico	70	B	B	B	B	B	B	B	D	
Ácido Sulfúrico 1%	70	B	B	C	A	A	B	B	D	
Ácido Sulfúrico 1%	Eb.	C	C	B	B	C	C	D	D	C-20-B
Ácido Sulfúrico 5%	70	C	B	C	A	A	C	C	D	
Ácido Sulfúrico 5%	Eb.	D	C	B	B	C	D	D	D	C-20-B
Ácido Sulfúrico 10%	70	D	C	C	A	A	C	C	D	
Ácido Sulfúrico 10%	Eb.	D	D	B	B	C	D	D	D	Zr-A
Ácido Sulfúrico 50%	70	D	D	B	A	A	D	D	D	C-20-A
Ácido Sulfúrico 50%	Eb.	D	D	D	A	D	D	D	D	
Ácido Sulfúrico 60%	70	D	D	B	A	A	D	D	D	C-20-A
Ácido Sulfúrico 60%	Eb.	D	D	D	C	D	D	D	D	Zr-Ta-B
Ácido Sulfúrico 80%	70	C	C	C	A	A	D	D	D	
Ácido Sulfúrico 80%	Eb.	D	D	D	D	D	D	D	D	Ta-B
Ácido Sulfúrico conc/	70	B	B	D	A	A	B	D	B	
Ácido Sulfúrico conc/	Eb.	D	D	D	D	D	D	D	D	Ta-B
Ácido Sulfúrico conc/	300	D	D	D	D	D	D	D	D	Ta-B
Ácido Sulfúrico fumegante	70	C	B	D	A	A	A	D	C	
Ácido Sulfuroso saturado	70	D	B	D	D	B	C	D	D	C-20-B
Ácido Sulfuroso saturado	250	D	E	D	D	B	D	D	D	C-20-B
Ácido Tânico	70	B	B	B	B	B	C	B	D	C-20-A
Ácido Tânico	150	C	B	B	B	B	D	C	D	C-20-A
Ácido Tartárico 10%	70	A	A	A	B	B	A	C	D	
Ácido Tartárico 10%	Qt.	C	B	B	B	B	D	D	D	C-20-A
Ácido Tricloroacético	70	D	D	D	B	B	D	D	D	Zr-A
Ácido Úrico conc/	70	B	B	-	B	B	D	D	D	
Água Ácida de Mina	70	B	B	D	C	B	D	D	D	
Água Clorada (saturada)	70	D	C	D	D	B	D	D	D	

TABELAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO (continuação)

Meio Corrosivo e Condições	Temp. °F	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Bronze	Ferro e Aço	Outros
Água Destilada	-	A	A	B	A	A	A	D	D	
Água de Esgôto	70	B	B	C	B	B	C	C	C	
Água do Mar	70	B	B	A	A	A	C	C	D	
Aguarras	70	A	A	A	A	A	A	B	A	
Água Régia	70	D	D	D	D	C	D	D	D	Ti-B
Água Régia	200	D	D	D	D	D	D	D	D	
Alcool Amílico conc/	70	-	-	B	-	-	D	C	-	Cu-B
Alcool Etilico	70	B	B	A	A	A	A	B	B	
Alcool Etilico	Eb.	B	B	B	A	A	B	B	B	
Alcool Metílico	70	B	B	A	A	A	A	B	B	
Alcool Metílico	Eb.	C	B	B	A	A	C	B	B	
Alumina 10%	70	B	B	B	B	B	B	D	D	
Alumina 10%	Eb.	B	B	B	C	B	C	D	D	
Alumina (saturada)	Eb.	C	B	B	C	B	C	D	D	
Aminas	70	A	A	A	A	A	B	B	A	
Amoníaco (tôdas concentr.)	70	A	A	C	B	B	B	D	B	
Anidrido Acético	Eb.	B	B	B	B	A	B	D	C	
Anilina 3%	70	A	A	B	A	A	B	A	B	
Anilina conc/	70	B	B	B	B	B	B	A	B	
Benzeno (Benzol)	Qt.	B	B	B	B	B	B	A	B	
Bicarbonato de Sódio	70	B	B	B	B	B	C	B	C	
Bissulfato de Cálcio	70	C	B	D	C	B	D	C	D	
Bissulfato de Sódio	70	B	B	B	B	B	D	C	D	
Bissulfato de Quinosa(s)	70	B	B	B	B	B	D	B	D	
Borax 5%	70	A	A	A	A	A	B	C	B	
Brometo de Potássio	70	C	B	B	B	B	C	B	D	
Brometo de Prata	70	C	B	-	B	B	-	-	D	
"Bromine Water" (Ag. Bromo)	70	D	D	D	D	B	D	D	D	Zr-A
Bromo Sêco	70	D	D	B	B	B	D	D	C	
Butano	70	-	B	B	-	-	B	B	-	
Carbonato de Amônia	70	B	B	B	B	B	A	C	B	
Carbonato de Cálcio	70	B	B	B	B	B	B	B	B	
Carbonato de Cobre (sat.)	70	A	A	A	A	A	-	-	-	
Carbonato de Magnésio	70	B	B	B	B	B	-	-	-	
Carbonato de Potássio 1%	70	B	B	B	B	B	D	B	D	
Carbonato de Sódio 5%	70	B	B	B	B	B	D	B	B	
Carbonato de Sódio 5%	150	B	B	B	B	B	D	D	B	
Cerveja	-	A	A	A	A	A	B	A	B	
Cianeto de Cobre (sat.)	Eb.	B	B	C	B	B	-	-	-	
Cianeto de Mercúrio	70	B	B	-	B	B	-	-	D	
Cianeto de Potássio	70	B	B	B	B	B	D	D	B	
Cianeto de Sódio	70	B	B	B	B	B	D	D	B	
Clorato de Potássio	70	B	B	B	C	B	B	B	B	
Clorato de Sódio 10%	70	B	B	-	D	B	B	-	-	
Clorato de Sódio 25%	70	B	B	-	D	B	B	-	-	
Cloreto de Alumínio 25%	70	D	C	B	B	B	D	D	D	C-20-B
Cloreto de Alumínio 25%	Eb.	D	D	C	B	C	D	D	D	Zr-A

TABELAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO (continuação)

Meio Corrosivo e Condições	Temp. 2F	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Brnze	Ferro e Aço	Outros
Cloreto de Amônia 10%	70	B	B	F	B	B	D	D	C	C-20-A
Cloreto de Amônia 10%	Eb.	C	B	F	B	C	D	D	D	C-20-A
Cloreto de Amônia 25%	Eb.	D	C	B	B	C	D	D	D	
Cloreto Asfáltico 5%	Qt.	B	-	F	-	-	B	-	B	
Cloreto de Bário 5%	70	B	B	F	B	B	C	D	C	
Cloreto de Bário sat/	70	C	B	B	B	B	C	D	B	
Cloreto de Bário Sol.aq.	Qt.	D	C	B	B	C	D	D	D	
Cloreto de Cálcio conc/	70	D	C	A	B	A	C	C	D	
Cloreto de Cálcio conc/	Eb.	D	D	A	B	A	D	D	D	
Cloreto de Cálcio diluído	70	C	B	A	B	A	C	C	D	C-20-A
Cloreto de Cobre 1%	70	C	B	D	C	B	D	D	D	C-20-A
Cloreto de Cobre 5%	70	D	C	D	C	B	D	D	D	C-20-B
Cloreto de Cobre 5%	Eb.	D	D	D	D	C	D	D	D	Ti-B
Cloreto de Enxôfre	-	C	F	B	D	B	B	D	D	
Cloreto Estanoso sat/	70	D	C	C	F	B	D	D	D	Zr-A
Cloreto Estânico 5%	70	D	C	D	B	B	D	D	D	
Cloreto Estânico 5%	Eb.	D	D	D	C	B	D	D	D	
Cloreto Férrico 1%	70	D	C	D	D	B	D	D	D	C-20-A
Cloreto Férrico 1%	Eb.	D	D	D	D	C	D	D	D	Ti-Zr-B
Cloreto Férrico 5%	70	D	D	D	D	B	D	D	D	
Cloreto de Magnésio 5%	70	B	B	A	A	A	C	C	D	
Cloreto de Magnésio 5%	Qt.	D	D	A	A	B	D	D	D	
Cloreto de Mag. 10-30%	70	C	F	A	A	A	C	D	D	
Cloreto de Magnésio sat/	70	C	B	A	A	A	C	D	D	
Cloreto de Mercúrio 2%	70	D	D	D	D	B	D	D	D	C-20-A
Cloreto de Mercúrio 2%	Qt.	D	D	D	D	B	D	D	D	C-20-B
Cloreto de Metila (gás)	70	B	B	F	B	B	D	B	D	
Cloreto de Níquel	70	C	F	C	A	A	D	D	D	
Cloreto de Potássio 1-5%	70	C	F	A	B	A	C	C	D	
Cloreto de Potássio 1-5%	Eb.	D	D	B	B	B	D	D	D	C-20-A
Cloreto de Prata	70	D	D	-	D	B	-	-	D	
Cloreto de Sódio 5%	70	B	B	A	B	B	C	B	C	
Cloreto de Sódio 20%	70	B	B	A	B	B	C	B	C	
Cloreto de Sódio sat/	70	B	B	A	B	B	C	B	C	
Cloreto de Sódio sat/	Eb.	C	B	A	b	B	C	D	D	
Cloreto de Zinco 5%	70	C	H	B	b	B	B	D	D	
Cloreto de Zinco 5%	Eb.	D	C	B	B	C	D	D	D	Ti-Zr-A
Cloreto de Zinco 20%	70	D	B	B	B	B	C	D	D	
Cloreto de Zinco 20%	Eb.	D	C	C	B	C	D	D	D	Zr-A
Cloreto Benzeno conc/	70	A	A	A	A	A	-	A	A	
Clorofórmio	70	A	A	A	B	B	A	A	A	
Creosoto (Alcat.Hulha)	Qt.	B	B	B	A	A	B	C	B	
Cloreto de Etila seco	70	A	A	B	B	B	A	A	A	
"Developing Solns"	70	B	B	B	A	A	-	-	D	
Dicloroetano	Eb.	B	B	B	B	B	-	-	D	
Dicromato de Potássio	70	B	E	C	C	B	B	C	C	
Difosfato de Amônia	70	A	A	B	A	A	C	B	D	
Dióxido de Enxôfre seco	500	B	B	B	C	B	B	D	B	

TABELAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO (continuação)

Meio Corrosivo e Condições	Temp. QF	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Bronze	Ferro e Aço	Outros
Dióxido de Enxofre úmido	70	C	B	C	C	B	B	D	D	
Disulfeto de Carbono	70	B	B	C	B	B	B	D	B	
Dowtherm A.	Qt.	A	A	-	A	A	C	D	A	
Enxofre-fundido seco.	-	B	B	B	B	B	B	C	B	
Enxofre-fundido úmido	-	C	B	C	-	-	C	D	D	
Éter	70	A	A	A	B	B	A	A	A	
Fenol C.P.	Eb.	B	B	B	B	B	B	C	A	
Ferricianeto de Pot.5%	70	B	B	B	B	B	B	D	C	
Ferrocianeto de Pot.5%	70	B	B	B	B	B	B	D	C	
Fluoreto de Alumínio5%	70	D	C	A	B	B	D	D	D	
Fluoreto de Sódio 5%	70	B	B	-	B	B	-	B	-	
Fluorina seco	70	B	B	B	B	B	D	B	B	
Formaldeído	70	B	B	B	B	B	B	B	C	
Fosfato Tri-sódico	-	B	B	B	B	-	D	D	B	
Freon seco	-	A	A	A	A	A	A	A	A	
Freon úmido	-	C	C	B	B	B	C	B	B	
Furfural	70	B	B	B	B	B	B	B	B	
Gás Amoníaco	Qt.	D	D	D	-	-	D	D	C	
Gás Clorídrico seco	70	C	B	B	B	B	C	D	C	
Gás Clorídrico úmido	70	D	C	C	B	A	D	D	D	
Gás Cloro seco	70	D	C	B	B	A	B	C	B	
Gás Cloro com umidade	212	D	D	D	D	D	D	D	D	Ta-B
Gás Fluorídrico seco	70	C	C	B	B	B	D	D	C	
Gás Fluorídrico úmido	70	D	D	B	B	B	D	D	D	
Gás Sulfídrico seco	70	A	A	B	B	A	A	B	A	
Gás Sulfídrico úmido	70	C	B	C	C	B	B	C	C	Ic-A
Gasolina Ácida	70	A	A	D	A	A	A	D	C	
Gasolina Refinada	70	A	A	A	A	A	A	A	A	
Gelatina	-	A	A	A	A	A	D	A	D	
Glicerina	70	A	A	A	A	A	A	A	B	
Glicol Etileno	70	A	A	A	A	A	A	A	A	
Glicose	-	B	B	B	-	-	B	B	-	
Hidrocarboneto Alifático	70	A	A	A	A	A	A	A	A	
Hidrocarboneto Aromático	70	A	A	A	A	A	A	A	A	
Hidróxido de Amônia	70	A	A	C	A	A	B	B	D	
Hidróxido de Amônia conc/	Qt.	A	A	D	A	A	B	C	D	
Hidrocloreto de Anilina	70	D	C	B	B	B	-	-	-	
Hidróxido de Cálcio 5%	70	B	B	A	A	B	B	D	C	
Hidróxido de Cálcio 10%	Eb.	B	B	A	A	A	D	D	D	
Hidróxido de Cálcio 20%	Eb.	B	B	A	A	A	D	D	D	
Hidróxido de Cálcio 50%	Eb.	D	B	A	A	A	D	D	D	
Hidróxido Férnico	70	A	A	A	A	A	-	-	-	
Hidróxido de Magnésio	70	B	B	B	A	A	D	B	B	
Hidróxido de Potássio 5%	70	B	B	A	B	B	D	D	B	
Hidróxido Potássio 25%	Eb.	B	B	A	B	B	D	D	D	C-20-A
Hidróxido Potássio 50%	Eb.	B	B	A	B	B	D	D	D	C-20-A
Hidróxido de Sódio 5%	70	B	B	A	A	B	D	C	B	

TABELAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO (continuação)

Meio Corrosivo e Condições	Temp. °F	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Bronze	Ferro e Aço	Outros
Hidróxido de Sódio 20%	Eb.	B	B	A	A	B	D	D	B	C-20-A
Hidróxido de Sódio 50%	Eb.	B	B	A	A	B	D	D	D	C-20-A
Hidróxido de Sódio 75%	Eb.	D	C	B	B	B	D	D	D	C-20-A
Hipoclorito de Cálcio	70	D	B	C	D	A	D	D	D	
Hipoclorito de Cálcio 2%	70	C	C	C	C	B	D	D	D	C-20-H
Hipoclorito de Potássio	70	D	C	D	D	B	D	D	D	
Hipoclorito de Sódio 5%	70	D	C	C	D	B	D	D	D	Ti-A
Hipossulfito de Sódio	70	B	B	B	B	B	D	D	D	
Iodeto seco	70	D	C	C	C	B	D	D	D	
Iodeto úmido	70	D	D	D	D	B	D	D	D	
Iodoform	70	A	A	A	A	A	-	-	D	
Kerosene	70	A	A	A	A	A	A	A	A	
Ket Chup	70	B	A	B	A	A	A	C	D	
Laquê	Qt.	B	B	B	B	B	B	B	D	
Leite	70	A	A	B	A	A	A	C	D	
Leitelho "Buttermilk"	70	A	A	A	A	A	D	A	C	
Lítio	300	A	A	C	C	C	D	D	B	Ta-A
Lítio	1000	C	C	C	C	C	D	D	C	Ta-A
Lítio	1500	C	C	D	D	D	D	D	C	Ta-B
Lixívia (cáustica)	70	B	B	A	B	B	D	D	D	
Lixívia (cáustica)	Eb.	B	B	A	B	B	D	D	D	
Lysol	70	C	C	D	C	B	D	D	D	
Mercurio	300	C	C	C	-	-	D	C	B	
Mercurio	1000	D	D	D	-	-	D	D	D	
Mercurio	1500	D	D	D	-	-	D	D	D	
Mistura de Ácido 1% sulfúrico 99% nítrico	70	B	B	D	D	B	B	D	D	
Mistura de Ácido 1% sulfúrico 99% nítrico	230	C	C	D	D	C	D	D	D	Ta-B
Mistura de Ácido 10% sulfúrico 90% nítrico	70	B	B	D	D	B	B	D	D	
Mistura de Ácido 10% sulfúrico 90% nítrico	230	C	C	D	D	C	D	D	D	Ta-B
Mistura de Ácido 15% sulfúrico 5% nítrico	70	B	B	D	D	B	B	D	D	
Mistura de Ácido 15% sulfúrico 5% nítrico	230	C	C	D	D	C	D	D	D	Ta-B
Mistura de Ácido 30% sulfúrico 5% nítrico	70	B	B	D	D	B	C	D	D	
Mistura de Ácido 30% sulfúrico 5% nítrico	230	C	C	D	D	C	D	D	D	Ta-B
Mistura de Ácido 53% sulfúrico 45% nítrico	70	B	B	D	D	B	D	D	B	
Mistura de Ácido 53% sulfúrico 45% nítrico	230	C	C	D	D	C	D	D	D	Ta-B
Mistura de Ácido 58% sulfúrico 40% nítrico	70	B	B	D	D	B	D	D	B	

TABELAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO (continuação)

Meio Corrosivo e Condições	Temp. °F	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Bronze	Ferro e Aço	Outros
Mistura de Ácido 58% sulfúrico 40% nítrico	230	D	D	D	D	C	D	D	D	Ta-B
Mistura de Ácido 70% sulfúrico 10% nítrico	70	C	C	D	D	B	D	D	D	
Mistura de Ácido 70% sulfúrico 10% nítrico	230	D	D	D	D	D	D	D	D	Ta-B
Monofosfato de Amônia	70	A	A	B	A	A	D	D	C	
Monóxido de Carbono	400	A	A	A	A	A	B	B	A	
Monóxido de Carbono	1500	B	A	C	A	A	D	D	D	
Nafta	70	B	B	B	B	B	B	B	B	
Nitrato de Amônia	70	B	B	C	D	A	B	A	D	
Nitrato de Amônia sat/Eb.	Eb.	B	B	D	B	B	C	D	D	
Nitrato de Cobre 5%	70	A	A	A	D	B	-	-	D	
Nitrato de Cobre 50%	Qt.	B	B	B	D	B	-	-	D	
Nitrato de Estrôncio	70	A	A	A	A	A	A	C	D	
Nitrato Fêrrico 5%	70	B	B	B	C	B	-	-	D	
Nitrato Mercurioso	70	B	B	-	D	B	-	-	D	
Nitrato Potássio 1-5%	70	B	B	B	C	B	B	B	B	
Nitrato Potássio 1-5%	Qt.	B	B	B	C	B	B	C	B	
Nitrato de Prata	70	B	B	D	B	B	-	-	-	
Nitrato de Sódio	70	A	A	B	D	B	B	B	B	
Óleo Combustível	Qt.	A	A	A	A	A	A	A	B	
Óleo (crú); Petr. Bruto	Qt.	B	B	B	B	B	B	C	D	
Óleo (vegeal e mineral)	Qt.	B	B	B	B	B	B	B	B	
Oleum (Ac. sulfúrico conc)	70	C	B	D	B	A	C	D	B	
Oleum	Qt.	D	C	D	C	B	D	D	D	
Oxigênio	Frio	A	A	A	-	-	A	-	B	
Oxigênio	500	B	B	B	-	-	B	-	-	
Oxigênio	500-1000	B	B	B	-	-	C	-	-	
Oxigênio	1000	D	D	D	-	-	D	-	D	347-B
Parafina	Qt.	A	A	A	A	A	A	A	A	
Permanganato Potássio 5%	70	A	A	A	A	A	A	A	A	
Peróxido de Hidrogênio	70	A	A	B	B	A	A	C	D	C-20-B
Peróxido de Hidrogênio	Eb.	B	B	C	C	B	B	D	D	
Persulfato de Amônia 5%	70	B	B	D	D	A	D	-	D	
Propano	-	B	B	B	-	-	-	-	B	
Resina (fundida)	-	A	A	A	A	A	A	C	D	
Sabões	70	B	B	B	B	B	B	B	B	
Sal de amoníaco	70	B	B	B	B	B	D	D	C	
Sangue	70	B	A	-	A	A	-	-	D	
Silicato de Sódio	-	B	B	B	B	B	C	C	B	
Silicato de Sódio ou NaK	300	A	A	A	A	A	C	C	B	
Silicato de Sódio ou NaK	1000	A	A	B	A	A	D	D	D	Ti-A
Silicato de Sódio ou NaK	1500	A	A	D	A	A	D	D	D	Ta-A
Spray sulfuroso	70	D	D	D	D	B	D	D	D	
Suco de Açúcar	150	B	B	B	B	B	B	B	D	
Suco de Frutas	70	A	A	B	A	A	D	A	C	Ie-A
Suco de Vegetais	70	B	A	B	B	A	B	D	D	

TABELAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO

Meio Corrosivo e Condições	Temp. °F	Aço inox. 304	Aço inox. 316	Monel	Hastelloy B	Hastelloy C	Alumínio	Bronze	Ferro e Aço	Outros
Sulfato Alumínio (todos)	70	B	B	B	B	A	B	D	D	
Sulfato Alumínio (todos)	Eb.	B	B	B	C	B	C	D	D	
Sulfato de amônia 5%	70	C	B	A	B	B	C	A	D	
Sulfato de Amônia 10%	Eb.	D	C	B	D	B	D	C	D	C-20-B
Sulfato de Amônia sat/	Eb.	D	C	B	D	B	D	C	D	C-20-B
Sulfato de Bário	70	B	B	B	-	-	B	-	B	
Sulfato de Cálcio sat/	70	B	B	B	B	B	B	B	B	
Sulfato de Cobre 5%	70	B	B	D	D	B	D	D	D	C-20-A
Sulfato de Cobre sat/	Eb.	B	B	D	D	B	D	D	D	C-20-A
Sulfato Férnico 5%	70	B	A	C	D	B	D	D	D	
Sulfato Férnico 5%	Eb.	B	B	D	D	B	D	D	D	
Sulfato Ferroso 10%	70	B	B	B	B	B	C	B	D	
Sulfato Ferroso sat/	70	B	B	B	B	B	D	D	D	
Sulfato Licoroso	70	B	B	B	B	B	D	D	C	C-20-A
Sulfato de Magnésio	70	B	B	A	A	B	B	B	B	
Sulfato de Magnésio	Qt.	B	R	A	A	B	B	B	C	
Sulfato de Níquel	Qt.	C	B	B	D	B	D	D	D	
Sulfato Potássio 1-5%	70	B	B	B	B	B	B	B	B	
Sulfato Potássio 1-5%	Qt.	B	R	B	B	B	B	B	D	
Sulfato de Quinona seco	70	B	B	B	B	B	D	B	D	
Sulfato de Sódio sat/	70	C	B	B	B	B	B	B	B	
Sulfato de Zinco 5%	70	B	A	A	B	B	B	B	B	
Sulfato de Zinco 25%	Eb.	C	B	B	B	B	C	D	D	
Sulfato de Zinco sat/	70	B	A	A	B	B	B	C	B	
Sulfato de Bário sat/	70	C	B	B	B	C	B	D	D	
Sulfato de Sódio sat/	70	C	B	B	B	B	D	D	B	
Sulfato Licoroso	70	C	B	D	C	B	C	D	D	C-20-A
Sulfato Potássio sat/	70	B	B	B	B	B	D	D	C	
Sulfato de Sódio 5%	70	B	B	B	D	B	B	D	B	
Sulfato de Sódio 10%	150	C	B	B	D	B	B	D	B	
Sulfato de Sódio 10%	Eb.	C	B	B	D	B	C	D	D	
Tetracloreto Carbono C.P.	70	B	B	A	B	A	B	B	B	
Tetracloreto Carbono C.P.	Eb.	C	B	A	B	A	D	C	C	
Tetracloreto Carbono	Eb.	C	C	B	B	A	D	D	D	
Tetracloreto Titânio úm.	70	D	D	B	D	B	D	D	D	
Tiosulfato de Sódio 20%	70	B	B	B	B	B	B	D	D	
Tricloreto de Antimônio	70	D	D	-	B	-	D	D	D	
Tricloroetileno seco	70	B	B	B	B	A	B	B	B	
Trifosfato de Amônia	70	B	A	B	A	A	B	B	D	
Vapor	212	A	A	A	A	A	B	B	A	
Vapor	400	A	A	A	A	A	B	B	A	
Vapor	600	A	A	A	A	A	D	D	C	
Vapor de Ác. Acético 30%	Qt.	C	R	B	B	A	D	D	D	
Vapor de Ác. Acético 100%	Qt.	D	C	B	B	A	B	D	D	
Vapores de Vinagre	-	B	B	C	B	A	D	D	D	
Verniz	70	A	A	A	A	A	A	B	C	
Verniz	Qt.	B	B	A	A	A	B	D	D	
Vinagre	70	A	A	A	A	A	B	C	D	
Vinagre	Qt.	B	B	B	B	A	C	D	D	
Whisky e Vinho	70	A	A	B	A	A	C	R	D	

MATERIAIS RESISTENTES PARA USO EM GAXETAS

RECOMENDAÇÃO PARA VEDAÇÃO DE VÁLVULAS - MATERIAL DAS GAXETAS

	ASBESTOS			TIPOS DE BORRACHA					OUTROS	
	Fólia gaxeta 8	c/borracha	c/neoprene	GR-S	Neoprene	Buna N	Butíla	Natural	Fólia de Fi-bra ind.	Teflon
A- Resistência boa										
B- Resistência regular										
C- Depende das condições										
D- Inconveniente										
Acetato de Amina	A	A	C	D	D	D	-	B	C	A
Acetato de Butila	A	A	D	D	D	D	B	B	C	A
Acetato de Etila	A	A	D	B	D	D	B	B	A	A
Acetileno	A	A	-	A	C	A	A	A	C	A
Acetona	A	A	D	A	C	D	A	B	C	A
Ácido Acético (bruto)	C	C	A	C	B	B	B	C	B	A
Ácido Acético (puro)	C	C	A	C	B	B	B	C	B	A
Ácido Acético (vapores)	C	C	A	C	B	B	B	C	B	A
Ácido Acético 150 psi-400°F	B	C	-	D	B	B	D	D	D	A
Ácido Bórico	-	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Ácido Bromídrico	-	C	-	D	-	-	-	A	-	A
Ácido Carbólico, Fenol	-	A	C	D	C	D	D	D	-	A
Ácido Cianídrico	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A
Ácido Cítrico	C	C	A	B	A	B	B	A	B	A
Ácido Clorídrico <150°F	B	C	A	B	B	A	A	A	-	A
Ácido Clorídrico >150°F	D	C	C	D	B	D	-	B	-	A
Ácido Cloroacético	-	D	D	-	-	-	-	-	-	A
Ácido Clorosulfônico	C	D	D	D	D	D	D	D	D	A
Ácido Crômico	C	D	D	D	D	D	C	D	C	A
Ácido Esteárico	A	A	D	C	A	A	C	C	C	A
Ácido Fluorídrico frio <65%	D	D	-	B	A	-	B	B	D	A
Ácido Fluorídrico >65%	D	D	-	D	D	D	C	D	D	A
Ácido Fluorídrico quente <65%	D	D	-	C	A	-	C	C	D	A
Ácido Fluorídrico >65%	D	D	-	C	C	-	C	C	D	A
Ácido Fluorsilícico	A	D	-	A	B	A	A	A	D	A
Ácido Fórmico	-	D	C	A	D	D	A	A	-	A
Ácido Fosfórico (bruto)	A	D	C	C	C	C	C	C	-	A
Idem puro (frio) <45%	A	D	C	C	C	C	C	C	-	A
Idem puro (quente) >45%	A	D	C	C	C	C	C	C	-	A
Ácido Láctico (frio)	A	A	A	C	C	C	C	C	C	A
Ácido Láctico (quente)	A	C	A	C	C	C	C	C	C	A
Ácido Nítrico (bruto)	C	D	D	D	D	D	C	D	-	A
Ácido Nítrico (diluído)	C	D	D	D	D	D	A	D	-	A
Ácido Nítrico (concentrado)	D	D	D	D	D	D	C	D	-	A
Ácido Oléico	A	A	-	B	A	A	-	B	-	A
Ácido Oxálico	A	D	A	B	-	-	-	B	C	A
Ácido Palmítico	A	A	-	B	A	A	B	B	C	A
Ácido Pícrico	A	C	-	C	C	C	C	C	C	A
Ácido Pícrico (sol. aquosa)	A	D	C	C	A	A	A	A	A	A
Ácido Sulfúrico <10% frio	A	B	A	A	A	A	A	A	-	A
Ácido Sulfúrico <10% quente	A	B	D	A	A	A	A	A	-	A
Ácido Sulfúrico 10-75%, frio	B	D	D	C	C	C	A	C	-	A
Ácido Sulfúrico 10-75%, quente	B	D	D	C	C	C	A	C	-	A
Ácido Sulfúrico 75-95%, frio	C	D	D	C	C	C	A	C	D	A
Ácido Sulfúrico 75-95%, quente	C	D	D	D	D	D	C	D	D	A

RECOMENDAÇÃO PARA VEDAÇÃO DE VÁLVULAS - MATERIAL DAS GAXETAS

(continuação)

	ASBESTOS			TIPOS DE BORRACHA					OUTROS	
	Fôlha gaxeta 8	s/borracha	c/neoprene	GR-S	Neoprene	Buna N	Butila	Natural	Fôlha de Fi-bra indl.	Teflon
A- Resistência boa										
B- Resistência regular										
C- Depende das condições										
D- Inconveniente										
Ácido Sulfúrico Fumegante	D	D	D	D	D	D	D	D	-	A
Ácido Sulforoso	A	D	A	C	C	C	C	A	-	A
Ácido tânico	-	A	A	C	C	C	C	A	-	A
Ácido Tartárico	-	A	A	C	C	C	C	A	-	A
Água Acima de Mina	A	A	A	A	C	A	A	A	C	A
Água de Esgôto	A	A	-	C	B	A	D	C	C	A
Água do Mar	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A
Água Pura, destilada	A	A	C	A	C	A	A	A	A	A
Alcool Amílico	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A
Alcool Butílico, Butanol	A	A	C	A	A	A	A	A	D	A
Alcool Metílico, Metanol	A	A	C	A	A	A	A	A	C	A
Alcatrão	A	A	-	C	C	C	D	C	D	A
Alumina	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A
Anidrido Acético	-	C	A	-	-	-	-	-	-	A
Anilina	A	A	-	D	B	D	A	D	-	A
Anilina para tingimento	A	A	-	B	B	B	A	B	-	A
Ar	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Asfalto	B	A	-	D	B	B	D	D	B	A
Benzeno - Benzol	C	A	D	D	D	D	D	D	A	A
Benzina, Êter de petr., Nafta	C	A	D	D	D	D	D	D	A	A
Bicarbonato de Sódio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Bissulfato de Sódio	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A
Bissulfeto de Carbono	A	A	-	D	D	D	D	D	D	A
Bissulfito de Cálcio	C	C	A	C	-	-	C	C	-	A
Bórax	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A
Bromo	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A
Butano	A	A	-	D	B	C	-	D	D	A
Carbonato de Sódio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Castor Oil	A	A	D	A	A	A	A	A	A	A
Celulose de Etila	B	A	-	B	B	B	B	B	D	A
Cerveja	A	A	D	A	A	D	A	A	A	A
Cianeto de Potássio	-	A	-	A	A	A	A	A	-	A
Cianeto de Sódio	-	A	-	A	A	A	A	A	-	A
Cloreto de Alumínio	A	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Cloreto de Amônia	A	C	A	-	A	-	A	A	D	A
Cloreto de Bário	A	C	A	A	A	A	A	A	-	A
Cloreto de Cálcio	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A
Cloreto de Cobre	A	C	A	A	B	A	A	A	-	A
Cloreto de Enxôfre	C	D	-	D	B	B	D	D	D	A
Cloreto Estânico	A	D	A	A	A	A	B	A	C	A
Cloreto de Etila	A	A	-	A	A	A	A	A	C	A
Cloreto Férreo	-	C	C	A	A	A	A	A	-	A
Cloreto de Magnésio	A	C	C	A	A	A	A	A	C	A
Cloreto de Mercúrio	-	C	C	-	-	-	-	-	-	A
Cloreto de Metila	C	A	-	C	C	C	C	C	-	A

RECOMENDAÇÃO PARA VEDAÇÃO DE VÁLVULAS - MATERIAL DAS GAXETAS

(continuação)

	ASBESTOS			TIPOS DE BORRACHA					OUTROS	
	Fôlha gaxeta 8	c/borracha	c/neoprene	GR-S	Neoprene	Buna N	Butila	Natural	Fôlha de Fi-bra indl.	Teflon
A- Resistência boa										
B- Resistência regular										
C- Depende das condições										
D- Inconveniente										
Cloreto de Níquel	-	C	A	A	A	A	A	A	-	A
Cloreto de Potássio	-	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Cloreto de Sódio	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cloreto de Zinco	C	D	A	C	C	C	C	C	A	A
Cloro (sêco)	B	A	D	B	B	B	B	B	A	A
Cloro (úmido)	B	D	D	B	B	B	B	B	D	A
Creosoto, Alcatrão da Hulha	A	A	-	D	B	A	D	D	D	A
Cresóis, Ácido Cresílico	-	A	D	D	D	B	D	D	-	A
Dióxido de Carbono (sêco)	A	A	-	A	A	A	A	A	D	A
Dióxido de Carbono (úmido)	A	A	-	A	A	A	A	A	D	A
Dióxido de Enxôfre (sêco)	A	A	-	C	C	C	C	C	C	A
Dowtherm A	C	A	D	D	D	D	D	D	D	A
Dowtherm E	C	A	D	D	D	D	D	D	D	A
Enxôfre	A	A	-	B	A	B	B	B	C	A
Fluoreto de Alumínio	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A
Formaldeído	C	A	C	A	C	A	A	A	B	A
Fosfato Dibásico de Amônia	-	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Fosfato Monobásico de Amônia	-	C	A	A	A	A	A	A	-	A
Fosfato Tribásico de Amônia	-	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Fosfato Dibásico de Sódio	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A
Fosfato Monobásico de Sódio	A	C	A	A	C	A	A	A	A	A
Fosfato Tribásico de Sódio	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A
Freon	C	A	-	D	B	B	B	D	C	A
Furfural	C	A	-	D	D	D	-	D	D	A
Gás de Alto Forno	C	A	-	C	C	C	C	C	D	A
Gás Amônia (frio)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Gás Amônia (quente)	A	A	-	C	A	C	C	C	C	A
Gás de Coqueria	A	C	A	A	B	A	A	A	-	A
Gás Hidrogênio (frio)	A	A	-	B	A	A	A	B	C	A
Gás Hidrogênio (quente)	A	A	-	B	A	A	A	B	C	A
Gás Natural	A	A	-	B	A	A	A	D	B	-
Gás Sulfídrico, sêco, frio	-	A	D	C	B	C	A	C	-	A
Gás Sulfídrico, sêco, quente	-	A	D	C	B	C	A	C	-	A
Gás Sulfídrico, úmido, frio	-	A	D	C	B	C	A	C	-	A
Gás sulfídrico, úmido, quente	-	A	D	C	B	C	A	C	-	A
Gasogênio	A	A	-	-	-	-	-	-	-	A
Gasolina Ácida	-	A	-	D	A	A	D	D	-	A
Gasolina Refinada	C	A	-	D	A	A	D	D	D	A
Gelatina	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Glicol Etileno	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A
Glicose	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Glicerina e Glicerol	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A
Hidróxido de Amônia	A	A	A	C	C	C	A	C	B	A
Hidróxido de Bário	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A
Hidróxido de Cálcio	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A

RECOMENDAÇÃO PARA VEDAÇÃO DE VÁLVULAS - MATERIAL DAS GAXETAS
(continuação)

	ASBESTOS			TIPOS DE BORRACHA					OUTROS	
	Fôlha gaxeta 8	c/borracha	c/neoprene	GR-S	Neoprene	Buna N	Butila	Natural	Fôlha de Fi-bra índl.	Teflon
A- Resistência boa										
B- Resistência regular										
C- Depende das condições										
D- Inconveniente										
Hidróxido de Magnésio	A	A	C	A	A	A	A	A	C	A
Hidróxido de Potássio	-	A	C	A	A	A	A	A	-	A
Hidróxido de Sódio	A	A	A	C	C	C	A	C	C	A
Hipoclorito de Cálcio	A	C	A	C	C	C	A	C	B	A
Hipoclorito de Sódio	A	C	A	C	C	C	C	C	C	A
Kerosene	A	A	D	C	B	A	D	C	C	A
Leite	-	A	D	A	A	A	A	A	-	A
Licor de Aç.de Beterraba	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Licor de Cana de Açúcar	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A
Licor de Sulfeto Verde	A	A	-	A	A	A	A	A	D	A
Mercúrio	C	A	-	-	-	-	-	-	-	A
Metafosfato de Sódio	A	C	A	A	C	A	A	A	A	A
Monóxido de Carbono quente	A	A	-	C	C	C	C	C	C	A
Nitrato de Amônia	-	C	B	A	A	A	A	A	-	A
Nitrato de Sódio	C	C	A	C	C	C	A	C	-	A
Nitrobenzeno	-	C	-	D	D	C	D	D	-	A
Óleo de Carço de Algodão	A	A	D	D	B	A	A	D	D	A
Óleo de Cereal	A	A	D	D	B	A	A	D	C	A
Óleo Combustível	A	A	-	D	B	A	D	D	D	A
Óleo Combustível (ácido)	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A
Óleo Lubrificante (ácido)	A	A	C	B	A	A	D	B	C	A
Óleo Lubrificante (refinado)	A	A	C	B	A	A	D	B	C	A
Óleo de Madeira da China	A	A	D	D	B	A	-	D	C	A
Óleo Mineral	A	A	D	C	B	A	D	C	C	A
Oxigênio frio	A	A	-	C	A	C	-	C	C	A
Oxigênio < 500°F	C	A	-	C	C	C	-	C	D	D
Oxigênio 500-1.000°F	-	A	-	-	-	-	-	D	-	D
Oxigênio > 1.000°F	D	D	-	D	D	D	D	D	D	D
Ozona	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perborato de Sódio	C	A	-	C	C	C	A	C	-	A
Peróxido de Hidrogênio	-	A	D	B	A	-	B	B	-	A
Peróxido de Sódio	C	A	-	C	C	C	A	C	-	A
Petróleo (bruto) < 500°F	A	A	D	C	A	A	D	C	D	A
Petróleo (bruto) > 500°F	C	A	D	C	D	D	D	C	D	D
Petróleo (bruto) > 1.000°F	D	C	D	D	D	D	D	D	D	D
Propano	A	A	-	-	B	A	-	-	-	A
Silicato de Sódio	A	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Solução de Ácido Graxo	C	A	A	C	B	A	-	C	C	A
Solvente Clorado (seco)	C	A	D	D	D	C	D	D	D	A
Solvente Clorado (úmido)	C	A	D	D	D	C	D	D	D	A
Sulfato de Alumínio	-	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Sulfato de Amônia	A	C	A	A	A	A	A	A	-	A
Sulfato de Cobre	A	C	A	A	A	A	B	A	A	A
Sulfato Férrico	-	C	C	A	A	A	A	A	-	A
Sulfato Licoroso de negro de fumo	A	A	-	A	A	A	A	A	D	A

RECOMENDAÇÃO PARA VEDAÇÃO DE VÁLVULAS - MATERIAL DAS GAXETAS

	ASBESTOS			TIPOS DE BORRACHA					OUTROS	
	Fôlha gaxeta β	e/borracha	e/neoprene	SR-S	Neoprene	Euna N	Butila	Natural	Fôlha de Fi-bra indi.	Teflon
A- Resistência boa										
B- Resistência regular										
C- Depende das condições										
D- Inconveniente										
Sulfato de Magnésio	-	C	C	A	A	A	A	A	-	A
Sulfato de Níquel	-	C	A	A	A	A	A	A	-	A
Sulfato de Potássio	-	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Sulfato de Sódio	A	A	A	A	A	A	A	A	-	A
Sulfato de Zinco	A	D	A	A	A	A	A	A	A	A
Sulfeto de Bário	-	A	-	A	A	A	A	A	-	A
Sulfeto de Sódio	A	A	-	A	A	A	A	A	-	A
Tetracloroeto de Carbono	B	A	D	D	D	D	D	D	C	A
Tiosulfato de Sódio, "hipo"	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A
Tolueno	A	A	D	D	B	A	D	D	D	A
Tricloroetileno	C	A	D	D	C	C	D	D	D	A
Trióxido de Enxôfre, sêco	-	A	-	C	C	C	C	A	-	A
Turpentina	A	A	D	C	C	A	D	C	D	A
Vinagre	A	A	A	C	C	C	A	C	D	A
Vapor < 500°F	A	A	-	A	C	A	-	C	D	A
Vapor 500-1000°F	C	A	-	D	D	D	-	D	D	D
Vapor > 1000°F	D	C	-	D	D	D	-	D	D	D
Whiskey e Vinhos	A	A	D	A	A	A	A	A	A	A

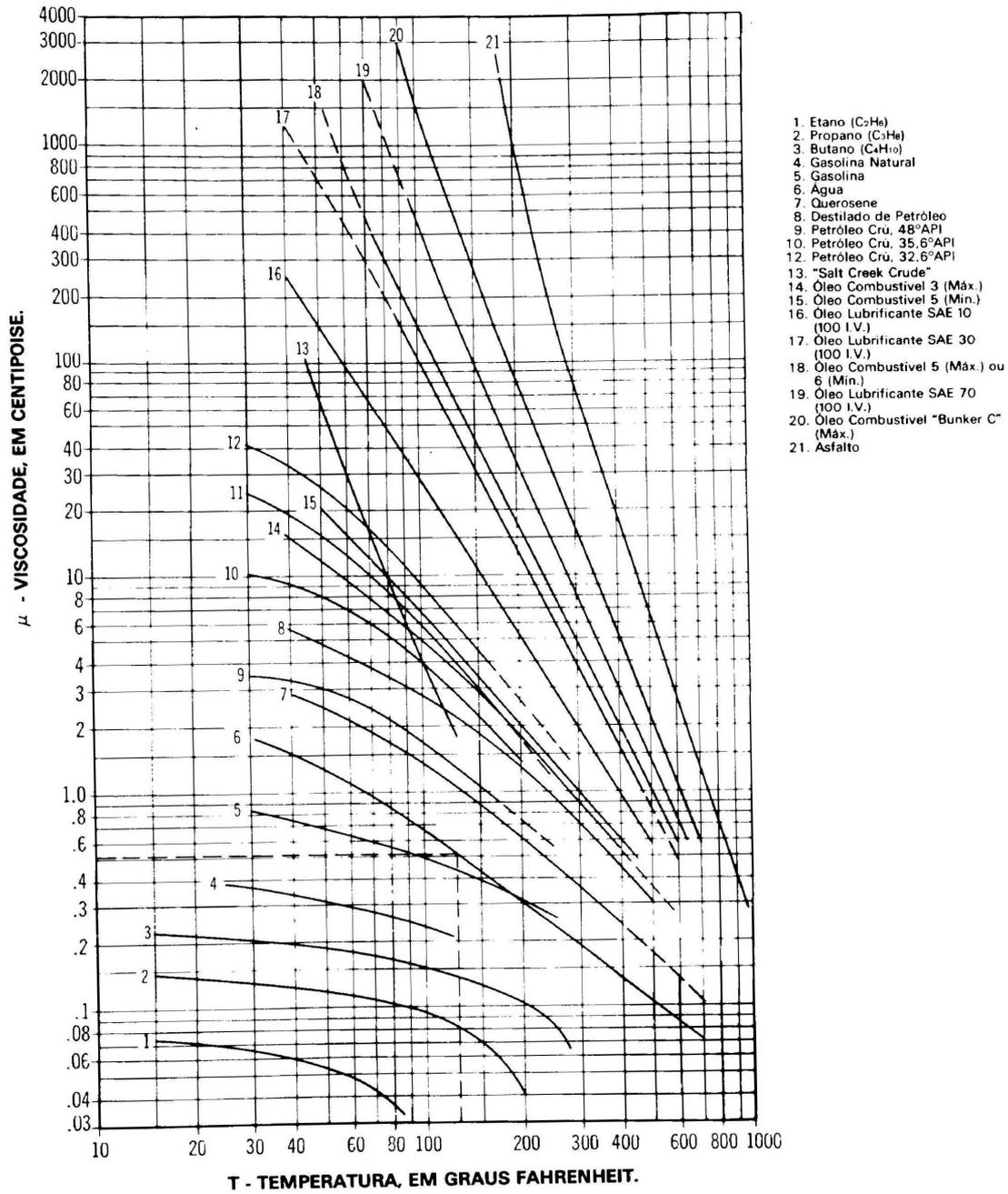
APÊNDICE C

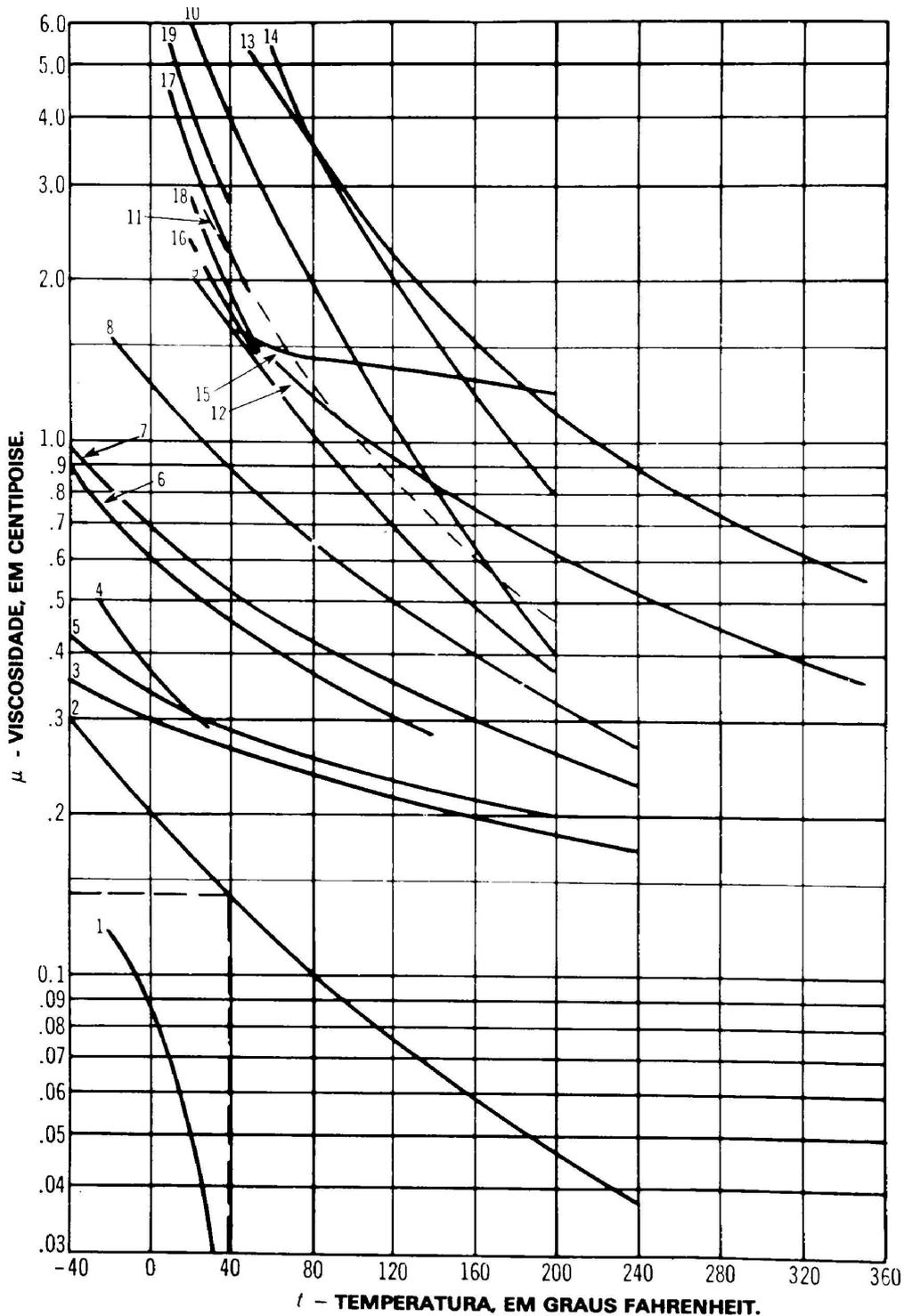
Líquido	Fórmula Química ou Símbolo	Peso Molecular M	Densidade (*) (lb/pé³)	Peso Específico Relativo G	Constantes Críticas				Temperatura de Ebulição (à pressão atmosférica)	
					Temperatura crítica, T _c		Pressão crítica, P _c		°F	°C
					°F	°C	psia	Bars		
Acetaldeído	C ₂ H ₄ O	54	48,774	0,782	370	188			69	17
Acetona	C ₃ H ₆ O	58	49,773	0,79	455	236	691	48	133	56
Ácido Acético	C ₂ H ₄ O ₂	60	65,489	1,05	612	322	841	58	245	118
Ácido clorídrico, 30%	HCl	36	76,090	1,22	124	51	1198	82	-121	-85
Ácido Nítrico, 60%	HNO ₃	63	85,448	1,37					187	86
Ácido Sulfúrico, 100%	H ₂ SO ₄	98	114,138	1,83					640	338
Água	H ₂ O	18	62,371	1,00	705	374	3206	221	212	100
Álcool Etilico	C ₂ H ₆ O	46	49,210	0,789	469	243	927	64	172	78
Álcool Metílico	CH ₄ O	32	49,460	0,793	464	240	1156	80	149	65
Aminobenzol	C ₆ H ₇ N	93	63,743	1,022	799	426	769	53	363	184
Amônia, Saturada	NH ₃	17	38,670	0,62	270	168	1636	113	-29	-34
Benzeno (Benzol)	C ₆ H ₆	78	54,824	0,879	552	289	701	48	176	80
Cloro	Cl ₂	71	88,566	1,42	291	144	1118	77	-30	-34
Cloreto de Cálcio, 25%	CaCl		76,716	1,23						
Cloreto de Sódio, 25%	NaCl		74,221	1,19						
Éter Etilico	C ₄ H ₁₀ O	74	44,470	0,713	381	194	522	36	93	34
Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	96	72,350	1,16					324	162
Gasolina			46,778	0,75						
Glicerina, 100%	C ₃ H ₈ O ₃	92	78,587	1,26					554	290
Glicol	C ₂ H ₆ O ₂	62	70,167	1,125					387	197
Mercúrio	Hg	200	844,877	13,546	2660	1460	15300	1055	674	357
Nitrobenzol	C ₆ H ₅ O ₂ N	123	76,092	1,22					412	211
n-Octano	C ₈ H ₁₈	114	43,659	0,700	565	296	362	25	259	126
Óleo Lubrificante			57,069	0,915						
Petróleo			49,896	0,80						
Querosene			48,649-51,144	0,78-0,82						
Sulfureto de Carbono	CS ₂	76	78,774	1,263	530	277	1102	76	115	46
Terpentina	C ₁₀ H ₁₀	130	53,327	0,855	709	376			320	160
Toluol	C ₇ H ₈	92	54,387	0,872	610	321	611	42	232	111
Tricloroetileno	C ₂ HCl ₂	96	91,560	1,468					189	87
m-Xileno	C ₈ H ₁₀	106	53,888	0,864	655	346	509	35	282	139

(*) Densidade à 20°C (68°F) e pressão atmosférica.

Gás	Fórmula Química ou Símbolo	Peso Molecular M	Densidade (*) P (lbs/pé³)	Peso Específico Relativo G	Constantes Críticas				Calor Específico à Temp. Ambiente		Razão dos Calores Específicos. (Cp/Cv) K
					Temperatura Crítica, Tc		Pressão Crítica, Pc		Cp	Cv	
					°F	°C	psia	bars			
Acetileno	C ₂ H ₂	26	0,06754	0,8971	97	36	911	63	0,3500	0,2734	1,28
Amônia	NH ₃	17	0,04420	0,5871	270	168	1636	113	0,5230	0,4064	1,29
Ar		29	0,07528	1,0000	-222	-141	547	38	0,2410	0,1725	1,40
n-Butano	C ₄ H ₁₀	58	0,15725	2,0888	305	152	551	38	0,3908	0,3565	1,096
Cloreto de Metila	CH ₃ Cl	50	0,1309	1,7388	289	143	1000	69	0,240	0,2006	1,20
Cloro	Cl ₂	71	0,1857	2,4667	291	144	1145	79			
Dióxido de Carbono	CO ₂	44	0,1142	1,5170	87	31	1071	74	0,205	0,1599	1,28
Dióxido de Enxofre	SO ₂	64	0,1663	2,2090	315	157	1143	79	0,154	0,1230	1,25
Etano	C ₂ H ₆	30	0,07868	1,045	90	32	710	49	0,4097	0,3437	1,192
Etileno	C ₂ H ₄	28	0,0728	0,9670	50	10	742	51	0,40	0,3292	1,215
Helio	He	4	0,01039	0,13801	-450	-268	33	2	1,25	0,754	1,66
Hidrogênio	H ₂	2	0,005234	0,06952	-400	-240	188	13	3,42	2,435	1,40
Metano	CH ₄	16	0,04163	0,5530	-116	-82	673	46	0,5271	0,403	1,307
Monóxido de Carbono	CO	28	0,07269	0,9655	-220	-140	507	35	0,243	0,1721	1,41
Neônio	Ne	20	0,05621	0,7466	-380	-229	395	27			
Nitrogênio	N ₂	28	0,07274	0,96625	-233	-147	492	34	0,247	0,1761	1,40
Óxido Nítrico	NO	30	0,07788	1,0345	-137	-94	957	66	0,231	0,1648	1,40
Óxido Nitroso	N ₂ O	44	0,1143	1,5183	97	36	1054	72	0,221	0,1759	1,26
Oxigênio	O ₂	32	0,08305	1,1032	-181	-119	736	51	0,217	0,1549	1,40
Propano	C ₃ H ₈	44	0,1164	1,5462	206	97	617	42	0,3885	0,3435	1,131

* Densidade à 20°C (68°F) e à pressão atmosférica





- | | |
|---|--|
| 1. Dioxido de Carbono (CO ₂) | 11. Ácido Sulfúrico, 20% (20% H ₂ SO ₄) |
| 2. Amonia (NH ₃) | 12. Dowtherm E |
| 3. Cloreto de Metilo (CH ₃ Cl) | 13. Dowtherm A |
| 4. Dioxido de Enxofre (SO ₂) | 14. Hidroxido de Sodio, 20% (20% NaOH) |
| 5. Freon 12 (F-12) | 15. Mercúrio |
| 6. Freon 114 (F-114) | 16. Sol. de Cloreto de Sodio, 10% (10% NaCl) |
| 7. Freon 11 (F-11) | 17. Sol. Cloreto de Sodio, 20% (20% NaCl) |
| 8. Freon 113 (F-113) | 18. Sol. Cloreto de Cálcio, 10% (10% CaCl ₂) |
| 9. Alcool Etilico | 19. Sol. Cloreto de Cálcio, 20% (20% CaCl ₂) |
| 10. Isopropanol | |

Exemplo: A viscosidade da amônia à 40°F é 0,14 centipoises.

PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA

Temperatura da Água <i>t</i> (°F)	Pressão de Saturação <i>P'</i> (psia)	Volume Específico <i>V</i> (pé ³ /lbs)	Densidade <i>ρ</i> (lbs/pé ³)	Pêso (lbs/galão)
32	0.08859	0.016022	62.414	8.3436
40	0.12163	0.016019	62.426	8.3451
50	0.17796	0.016023	62.410	8.3430
60	0.25611	0.016033	62.371	8.3378
70	0.36292	0.016050	62.305	8.3290
80	0.50683	0.016072	62.220	8.3176
90	0.69813	0.016099	62.116	8.3037
100	0.94924	0.016130	61.996	8.2877
110	1.2750	0.016165	61.862	8.2698
120	1.6927	0.016204	61.7132	8.2498
130	2.2230	0.016247	61.550	8.2280
140	2.8892	0.016293	61.376	8.2048
150	3.7184	0.016343	61.188	8.1797
160	4.7414	0.016395	60.994	8.1537
170	5.9926	0.016451	60.787	8.1260
180	7.5110	0.016510	60.569	8.0969
190	9.340	0.016572	60.343	8.0667
200	11.526	0.016637	60.107	8.0351
210	14.123	0.016705	59.862	8.0024
212	14.696	0.016719	59.812	7.9957
220	17.186	0.016775	59.613	7.9690
240	24.968	0.016926	59.081	7.8979
260	35.427	0.017089	58.517	7.8226
280	49.200	0.017264	57.924	7.7433
300	67.005	0.01745	57.307	7.6608
350	134.604	0.01799	55.586	7.4308
400	247.259	0.01864	53.648	7.1717
450	422.55	0.01943	51.467	6.8801
500	680.86	0.02043	48.948	6.5433
550	1045.43	0.02176	45.956	6.1434
600	1543.2	0.02364	42.301	5.6548
650	2208.4	0.02674	37.397	4.9993
700	3094.3	0.03662	27.307	3.6505

NOTAS

- (1) Pêso específico relativo (G) da água à 60°F=1,00.
(2) O pêso por galão é baseado em 7,48052 galões/pé³.

PROPRIEDADES DO VAPOR SATURADO E DA ÁGUA SATURADA.

Pressão Absoluta		Vácuo pol. Hg	Tempe- ratura t (°F)	Calor do Líquido (BTU/lb)	Calor Latente de Evaporação (BTU/lb)	Calor Total do vapor h _g (BTU/lb)	Volume Específico V	
lb/pol ² P'	pol. Hg						Água (pé ³ /lb)	Vapor (pé ³ /lb)
0.08859	0.02	29.90	32.018	0.0003	1075.5	1075.5	0.016022	3302.4
0.10	0.20	29.72	35.023	3.026	1073.8	1076.8	0.016020	2945.5
0.15	0.31	29.61	45.453	13.498	1067.9	1081.4	0.016020	2004.7
0.20	0.41	29.51	53.160	21.217	1053.5	1084.7	0.016025	1526.3
0.25	0.51	29.41	59.323	27.382	1060.1	1087.4	0.016032	1235.5
0.30	0.61	29.31	64.484	32.541	1057.1	1089.7	0.016040	1039.7
0.35	0.71	29.21	68.939	36.992	1054.6	1091.6	0.016048	898.6
0.40	0.81	29.11	72.869	40.917	1052.4	1093.3	0.016056	792.1
0.45	0.92	29.00	76.387	44.430	1050.5	1094.9	0.016063	708.8
0.50	1.02	28.90	79.586	47.623	1048.6	1096.3	0.016071	641.5
0.60	1.22	28.70	85.218	53.245	1045.5	1098.7	0.016085	540.1
0.70	1.43	28.49	90.09	58.10	1042.7	1100.8	0.016099	466.94
0.80	1.63	28.29	94.38	62.39	1040.3	1102.6	0.016112	411.69
0.90	1.83	28.09	98.24	66.24	1038.1	1104.3	0.016124	368.43
1.0	2.04	27.88	101.74	69.73	1036.1	1105.8	0.016136	333.60
1.2	2.44	27.48	107.91	75.90	1032.6	1108.5	0.016158	280.96
1.4	2.85	27.07	113.26	81.23	1029.5	1110.7	0.016178	243.02
1.6	3.26	26.66	117.98	85.95	1026.8	1112.7	0.016196	214.33
1.8	3.66	26.26	122.22	90.18	1024.3	1114.5	0.016213	191.85
2.0	4.07	25.85	126.07	94.03	1022.1	1116.2	0.016230	173.76
2.2	4.48	25.44	129.61	97.57	1020.1	1117.6	0.016245	158.87
2.4	4.89	25.03	132.88	100.84	1018.2	1119.0	0.016260	146.40
2.6	5.29	24.63	135.93	103.88	1016.4	1120.3	0.016274	135.80
2.8	5.70	24.22	138.78	106.73	1014.7	1121.5	0.016287	126.67
3.0	6.11	23.81	141.47	109.42	1013.2	1122.6	0.016300	118.73
3.5	7.13	22.79	147.56	115.51	1009.6	1125.1	0.016331	102.74
4.0	8.14	21.78	152.96	120.92	1006.4	1127.3	0.016358	90.64
4.5	9.16	20.76	157.82	125.77	1003.5	1129.3	0.016384	83.03
5.0	10.18	19.74	162.24	130.20	1000.9	1131.1	0.016407	73.532
5.5	11.20	18.72	166.29	134.26	998.5	1132.7	0.016430	67.249
6.0	12.22	17.70	170.05	138.03	996.2	1134.2	0.016451	61.984
6.5	13.23	16.69	173.56	141.54	994.1	1135.6	0.016472	57.506
7.0	14.25	15.67	176.84	144.83	992.1	1136.9	0.016491	53.650
7.5	15.27	14.65	179.93	147.93	990.2	1138.2	0.016510	50.294
8.0	16.29	13.63	182.86	150.87	988.5	1139.3	0.016527	47.345
8.5	17.31	12.61	185.63	153.65	986.8	1140.4	0.016545	44.733
9.0	18.32	11.60	188.27	156.30	985.1	1141.4	0.016561	42.402
9.5	19.34	10.58	190.80	158.84	983.6	1142.4	0.016577	40.310
10.0	20.36	9.56	193.21	161.26	982.1	1143.3	0.016592	38.420
11.0	22.40	7.52	197.75	165.82	979.3	1145.1	0.016622	35.142
12.0	24.43	5.49	201.96	170.05	976.6	1146.7	0.016650	32.394
13.0	26.47	3.45	205.88	174.00	974.2	1148.2	0.016676	30.057
14.0	28.50	1.42	209.56	177.71	971.9	1149.6	0.016702	28.043

Pressão lb/pol ²		Tempera- tura t (°F)	Calor do Líquido (BTU/lb)	Calor Latente de Evaporação (BTU/lb)	Calor Total do vapor h _g (BTU/lb)	Volume Específico V	
Absoluta P'	Manomé- trica P					Água (pé ³ /lb)	Vapor (pé ³ /lb)
14.696	0.0	212.00	180.17	970.3	1150.5	0.016719	26.799
15.0	0.3	213.03	181.21	969.7	1150.9	0.016726	26.290
16.0	1.3	216.32	184.52	967.6	1152.1	0.016749	24.750
17.0	2.3	219.44	187.66	965.6	1153.2	0.016771	23.385
18.0	3.3	222.41	190.66	963.7	1154.3	0.016793	22.168
19.0	4.3	225.24	193.52	961.8	1155.3	0.016814	21.074
20.0	5.3	227.96	196.27	960.1	1156.3	0.016834	20.087
21.0	6.3	230.57	198.90	958.4	1157.3	0.016854	19.190
22.0	7.3	233.07	201.44	956.7	1158.1	0.016873	18.373
23.0	8.3	235.49	203.88	955.1	1159.0	0.016891	17.624
24.0	9.3	237.82	206.24	953.6	1159.8	0.016909	16.936
25.0	10.3	240.07	208.52	952.1	1160.6	0.016927	16.301
26.0	11.3	242.25	210.7	950.6	1161.4	0.016944	15.7138
27.0	12.3	244.36	212.9	949.2	1162.1	0.016961	15.1684
28.0	13.3	246.41	214.9	947.9	1162.8	0.016977	14.6607
29.0	14.3	248.40	217.0	946.5	1163.5	0.016993	14.1869
30.0	15.3	250.34	218.9	945.2	1164.1	0.017009	13.7436
31.0	16.3	252.22	220.8	943.9	1164.8	0.017024	13.3280
32.0	17.3	254.05	222.7	942.7	1165.4	0.017039	12.9376
33.0	18.3	255.84	224.5	941.5	1166.0	0.017054	12.5700
34.0	19.3	257.58	226.3	940.3	1166.6	0.017069	12.2234

(Continua na
próxima página)

PROPRIEDADES DO VAPOR SATURADO E DA ÁGUA SATURADA - continuação

Pressão lb/pol ²		Temperatura t (°F)	Calor do Líquido (BTU/lb)	Calor Latente de Evaporação (BTU/lb)	Calor Total do vapor h _g (BTU/lb)	Volume Específico V̄	
Absoluta P'	Manométrica P					Água (pé ³ /lb)	Vapor (pé ³ /lb)
35.0	20.3	259.29	228.0	939.1	1167.1	0.017083	11.8959
36.0	21.3	260.95	229.7	938.0	1167.7	0.017097	11.5860
37.0	22.3	262.58	231.4	936.9	1168.2	0.017111	11.2923
38.0	23.3	264.17	233.0	935.8	1168.8	0.017124	11.0136
39.0	24.3	265.72	234.6	934.7	1169.3	0.017138	10.7487
40.0	25.3	267.25	236.1	933.6	1169.8	0.017151	10.4965
41.0	26.3	268.74	237.7	932.6	1170.2	0.017164	10.2563
42.0	27.3	270.21	239.2	931.5	1170.7	0.017177	10.0272
43.0	28.3	271.65	240.6	930.5	1171.2	0.017189	9.8083
44.0	29.3	273.06	242.1	929.5	1171.6	0.017202	9.5991
45.0	30.3	274.44	243.5	928.6	1172.0	0.017214	9.3988
46.0	31.3	275.80	244.9	927.6	1172.5	0.017226	9.2070
47.0	32.3	277.14	246.2	926.6	1172.9	0.017238	9.0231
48.0	33.3	278.45	247.6	925.7	1173.3	0.017250	8.8465
49.0	34.3	279.74	248.9	924.8	1173.7	0.017262	8.6770
50.0	35.3	281.02	250.2	923.9	1174.1	0.017274	8.5140
51.0	36.3	282.27	251.5	923.0	1174.5	0.017285	8.3571
52.0	37.3	283.50	252.8	922.1	1174.9	0.017296	8.2061
53.0	38.3	284.71	254.0	921.2	1175.2	0.017307	8.0606
54.0	39.3	285.90	255.2	920.4	1175.6	0.017319	7.9203
55.0	40.3	287.08	256.4	919.5	1175.9	0.017329	7.7850
56.0	41.3	288.24	257.6	918.7	1176.3	0.017340	7.6543
57.0	42.3	289.38	258.8	917.8	1176.6	0.017351	7.5280
58.0	43.3	290.50	259.9	917.0	1177.0	0.017362	7.4059
59.0	44.3	291.62	261.1	916.2	1177.3	0.017372	7.2879
60.0	45.3	292.71	262.2	915.4	1177.6	0.017383	7.1736
61.0	46.3	293.79	263.3	914.6	1177.9	0.017393	7.0630
62.0	47.3	294.86	264.4	913.8	1178.2	0.017403	6.9558
63.0	48.3	295.91	265.5	913.0	1178.6	0.017413	6.8519
64.0	49.3	296.95	266.6	912.3	1178.9	0.017423	6.7511
65.0	50.3	297.98	267.6	911.5	1179.1	0.017433	6.6533
66.0	51.3	298.99	268.7	910.8	1179.4	0.017443	6.5584
67.0	52.3	299.99	269.7	910.0	1179.7	0.017453	6.4662
68.0	53.3	300.99	270.7	909.3	1180.0	0.017463	6.3767
69.0	54.3	301.96	271.7	908.5	1180.3	0.017472	6.2896
70.0	55.3	302.93	272.7	907.8	1180.6	0.017482	6.2050
71.0	56.3	303.89	273.7	907.1	1180.8	0.017491	6.1226
72.0	57.3	304.83	274.7	906.4	1181.1	0.017501	6.0425
73.0	58.3	305.77	275.7	905.7	1181.4	0.017510	5.9645
74.0	59.3	306.69	276.6	905.0	1181.6	0.017519	5.8885
75.0	60.3	307.61	277.6	904.3	1181.9	0.017529	5.8144
76.0	61.3	308.51	278.5	903.6	1182.1	0.017538	5.7423
77.0	62.3	309.41	279.4	902.9	1182.4	0.017547	5.6720
78.0	63.3	310.29	280.3	902.3	1182.6	0.017556	5.6034
79.0	64.3	311.17	281.3	901.6	1182.8	0.017565	5.5364
80.0	65.3	312.04	282.1	900.9	1183.1	0.017573	5.4711
81.0	66.3	312.90	283.0	900.3	1183.3	0.017582	5.4074
82.0	67.3	313.75	283.9	899.6	1183.5	0.017591	5.3451
83.0	68.3	314.60	284.8	899.0	1183.8	0.017600	5.2843
84.0	69.3	315.43	285.7	898.3	1184.0	0.017608	5.2249
85.0	70.3	316.26	286.5	897.7	1184.2	0.017617	5.1669
86.0	71.3	317.08	287.4	897.0	1184.4	0.017625	5.1101
87.0	72.3	317.89	288.2	896.4	1184.6	0.017634	5.0546
88.0	73.3	318.69	289.0	895.8	1184.8	0.017642	5.0004
89.0	74.3	319.49	289.9	895.2	1185.0	0.017651	4.9473
90.0	75.3	320.28	290.7	894.6	1185.3	0.017659	4.8953
91.0	76.3	321.06	291.5	893.9	1185.5	0.017667	4.8445
92.0	77.3	321.84	292.3	893.3	1185.7	0.017675	4.7947
93.0	78.3	322.61	293.1	892.7	1185.9	0.017684	4.7459
94.0	79.3	323.37	293.9	892.1	1186.0	0.017692	4.6982
95.0	80.3	324.13	294.7	891.5	1186.2	0.017700	4.6514
96.0	81.3	324.88	295.5	891.0	1186.4	0.017708	4.6055
97.0	82.3	325.63	296.3	890.4	1186.6	0.017716	4.5606
98.0	83.3	326.36	297.0	889.8	1186.8	0.017724	4.5166
99.0	84.3	327.10	297.8	889.2	1187.0	0.017732	4.4734
100.0	85.3	327.82	298.5	888.6	1187.2	0.017740	4.4310
101.0	86.3	328.54	299.3	888.1	1187.3	0.01775	4.3895
102.0	87.3	329.26	300.0	887.5	1187.5	0.01776	4.3487
103.0	88.3	329.97	300.8	886.9	1187.7	0.01777	4.3087
104.0	89.3	330.67	301.5	886.4	1187.9	0.017777	4.2695
105.0	90.3	331.37	302.2	885.8	1188.0	0.01778	4.2309
106.0	91.3	332.06	303.0	885.2	1188.2	0.01779	4.1931
107.0	92.3	332.75	303.7	884.7	1188.4	0.01779	4.1560
108.0	93.3	333.44	304.4	884.1	1188.5	0.01780	4.1195
109.0	94.3	334.11	305.1	883.6	1188.7	0.01781	4.0837

PROPRIEDADES DO VAPOR SATURADO E DA ÁGUA SATURADA

Pressão lb/pol ²		Temperatura t (°F)	Calor do Líquido (BTU/lb)	Calor Latente de Evaporação (BTU/lb)	Calor Total do vapor h _g (BTU/lb)	Volume Específico V	
Absoluta P'	Manométrica P					Água (pé ³ /lb)	Vapor (pé ³ /lb)
110.0	95.3	334.79	305.8	883.1	1188.9	0.01782	4.0484
111.0	96.3	335.46	306.5	882.5	1189.0	0.01782	4.0138
112.0	97.3	336.12	307.2	882.0	1189.2	0.01783	3.9798
113.0	98.3	336.78	307.9	881.4	1189.3	0.01784	3.9464
114.0	99.3	337.43	308.6	880.9	1189.5	0.01785	3.9136
115.0	100.3	338.08	309.3	880.4	1189.6	0.01785	3.8813
116.0	101.3	338.73	309.9	879.9	1189.8	0.01786	3.8495
117.0	102.3	339.37	310.6	879.3	1189.9	0.01787	3.8183
118.0	103.3	340.01	311.3	878.8	1190.1	0.01787	3.7875
119.0	104.3	340.64	311.9	878.3	1190.2	0.01788	3.7573
120.0	105.3	341.27	312.6	877.8	1190.4	0.01789	3.7275
121.0	106.3	341.89	313.2	877.3	1190.5	0.01790	3.6983
122.0	107.3	342.51	313.9	876.8	1190.7	0.01790	3.6695
123.0	108.3	343.13	314.5	876.3	1190.8	0.01791	3.6411
124.0	109.3	343.74	315.2	875.8	1190.9	0.01792	3.6132
125.0	110.3	344.35	315.8	875.3	1191.1	0.01792	3.5857
126.0	111.3	344.95	316.4	874.8	1191.2	0.01793	3.5586
127.0	112.3	345.55	317.1	874.3	1191.3	0.01794	3.5320
128.0	113.3	346.15	317.7	873.8	1191.5	0.01794	3.5057
129.0	114.3	346.74	318.3	873.3	1191.6	0.01795	3.4799
130.0	115.3	347.33	319.0	872.8	1191.7	0.01796	3.4544
131.0	116.3	347.92	319.6	872.3	1191.9	0.01797	3.4293
132.0	117.3	348.50	320.2	871.8	1192.0	0.01797	3.4046
133.0	118.3	349.08	320.8	871.3	1192.1	0.01798	3.3802
134.0	119.3	349.65	321.4	870.8	1192.2	0.01799	3.3562
135.0	120.3	350.23	322.0	870.4	1192.4	0.01799	3.3325
136.0	121.3	350.79	322.6	869.9	1192.5	0.01800	3.3091
137.0	122.3	351.36	323.2	869.4	1192.6	0.01801	3.2861
138.0	123.3	351.92	323.8	868.9	1192.7	0.01801	3.2634
139.0	124.3	352.48	324.4	868.5	1192.8	0.01802	3.2411
140.0	125.3	353.04	325.0	868.0	1193.0	0.01803	3.2190
141.0	126.3	353.59	325.5	867.5	1193.1	0.01803	3.1972
142.0	127.3	354.14	326.1	867.1	1193.2	0.01804	3.1757
143.0	128.3	354.69	326.7	866.6	1193.3	0.01805	3.1546
144.0	129.3	355.23	327.3	866.2	1193.4	0.01805	3.1337
145.0	130.3	355.77	327.8	865.7	1193.5	0.01806	3.1130
146.0	131.3	356.31	328.4	865.2	1193.6	0.01806	3.0927
147.0	132.3	356.84	329.0	864.8	1193.8	0.01807	3.0726
148.0	133.3	357.38	329.5	864.3	1193.9	0.01808	3.0528
149.0	134.3	357.91	330.1	863.9	1194.0	0.01808	3.0332
150.0	135.3	358.43	330.6	863.4	1194.1	0.01809	3.0139
152.0	137.3	359.48	331.8	862.5	1194.3	0.01810	2.9760
154.0	139.3	360.51	332.8	861.6	1194.5	0.01812	2.9391
156.0	141.3	361.53	333.9	860.8	1194.7	0.01813	2.9031
158.0	143.3	362.55	335.0	859.9	1194.9	0.01814	2.8679
160.0	145.3	363.55	336.1	859.0	1195.1	0.01815	2.8336
162.0	147.3	364.54	337.1	858.2	1195.3	0.01817	2.8001
164.0	149.3	365.53	338.2	857.3	1195.5	0.01818	2.7674
166.0	151.3	366.50	339.2	856.5	1195.7	0.01819	2.7355
168.0	153.3	367.47	340.2	855.6	1195.8	0.01820	2.7043
170.0	155.3	368.42	341.2	854.8	1196.0	0.01821	2.6738
172.0	157.3	369.37	342.2	853.9	1196.2	0.01823	2.6440
174.0	159.3	370.31	343.2	853.1	1196.4	0.01824	2.6149
176.0	161.3	371.24	344.2	852.3	1196.5	0.01825	2.5864
178.0	163.3	372.16	345.2	851.5	1196.7	0.01826	2.5585
180.0	165.3	373.08	346.2	850.7	1196.9	0.01827	2.5312
182.0	167.3	373.98	347.2	849.9	1197.0	0.01828	2.5045
184.0	169.3	374.88	348.1	849.1	1197.2	0.01830	2.4783
186.0	171.3	375.77	349.1	848.3	1197.3	0.01831	2.4527
188.0	173.3	376.65	350.0	847.5	1197.5	0.01832	2.4276
190.0	175.3	377.53	350.9	846.7	1197.6	0.01833	2.4030
192.0	177.3	378.40	351.9	845.9	1197.8	0.01834	2.3790
194.0	179.3	379.26	352.8	845.1	1197.9	0.01835	2.3554
196.0	181.3	380.12	353.7	844.4	1198.1	0.01836	2.3322
198.0	183.3	380.96	354.6	843.6	1198.2	0.01838	2.3095
200.0	185.3	381.80	355.5	842.8	1198.3	0.01839	2.2872
205.0	190.3	383.88	357.7	840.9	1198.7	0.01841	2.2334
210.0	195.3	385.91	359.9	839.1	1199.0	0.01844	2.1817
215.0	200.3	387.91	362.1	837.2	1199.3	0.01847	2.1315
220.0	205.3	389.88	364.2	835.4	1199.6	0.01850	2.0829
225.0	210.3	391.80	366.2	833.6	1199.9	0.01852	2.0413
230.0	215.3	393.70	368.3	831.8	1200.1	0.01855	1.9984
235.0	220.3	395.56	370.3	830.1	1200.4	0.01857	1.9575
240.0	225.3	397.39	372.3	828.4	1200.6	0.01860	1.9179
245.0	230.3	399.19	374.2	826.6	1200.9	0.01863	1.8797

PROPRIEDADES DO VAPOR SUPERAQUECIDO

\bar{V} = Volume específico, pé³/lbs.
 h_g = Calor total do vapor, BTU/lbs.

Pressão lb/pol²		Temp. de Satura- ção t		Temperatura Total - °F										
Abs. P'	Man. P			350°	400°	500°	600°	700°	800°	900°	1000°	1100°	1300°	1500°
15.0	0.3	213.03	\bar{V}	31.939	33.963	37.985	41.986	45.978	49.964	53.946	57.926	61.905	69.858	77.807
			h_g	1216.2	1239.9	1287.3	1335.2	1383.8	1433.2	1483.4	1534.5	1586.5	1693.2	1803.4
20.0	5.3	227.96	\bar{V}	23.900	25.428	28.457	31.466	34.465	37.458	40.447	43.435	46.420	52.388	58.352
			h_g	1215.4	1239.2	1286.9	1334.9	1383.5	1432.9	1483.2	1534.3	1586.3	1693.1	1803.3
30.0	15.3	250.34	\bar{V}	15.859	16.892	18.929	20.945	22.951	24.952	26.949	28.943	30.936	34.918	38.896
			h_g	1213.6	1237.8	1286.0	1334.2	1383.0	1432.5	1482.8	1534.0	1586.1	1692.9	1803.2
40.0	25.3	267.25	\bar{V}	11.838	12.624	14.165	15.685	17.195	18.699	20.199	21.697	23.194	26.183	29.168
			h_g	1211.7	1236.4	1285.0	1333.6	1382.5	1432.1	1482.5	1533.7	1585.8	1692.7	1803.0
50.0	35.3	281.02	\bar{V}	9.424	10.062	11.306	12.529	13.741	14.947	16.150	17.350	18.549	20.942	23.332
			h_g	1209.9	1234.9	1284.1	1332.9	1382.0	1431.7	1482.2	1533.4	1585.6	1692.5	1802.9
60.0	45.3	292.71	\bar{V}	7.815	8.354	9.400	10.425	11.438	12.446	13.450	14.452	15.452	17.448	19.441
			h_g	1208.0	1233.5	1283.2	1332.3	1381.5	1431.3	1481.8	1533.2	1585.3	1692.4	1802.8
70.0	55.3	302.93	\bar{V}	6.664	7.133	8.039	8.922	9.793	10.659	11.522	12.382	13.240	14.952	16.661
			h_g	1206.0	1232.0	1282.2	1331.6	1381.0	1430.9	1481.5	1532.9	1585.1	1692.2	1802.6
80.0	65.3	312.04	\bar{V}	5.801	6.218	7.018	7.794	8.560	9.319	10.075	10.829	11.581	13.081	14.577
			h_g	1204.0	1230.5	1281.3	1330.9	1380.5	1430.5	1481.1	1532.6	1584.9	1692.0	1802.5
90.0	75.3	320.28	\bar{V}	5.128	5.505	6.223	6.917	7.600	8.277	8.950	9.621	10.290	11.625	12.956
			h_g	1202.0	1228.9	1280.3	1330.2	1380.0	1430.1	1480.8	1532.3	1584.6	1691.8	1802.4
100.0	85.3	327.82	\bar{V}	4.590	4.935	5.588	6.216	6.833	7.443	8.050	8.655	9.258	10.460	11.659
			h_g	1199.9	1227.4	1279.3	1329.6	1379.5	1429.7	1480.4	1532.0	1584.4	1691.6	1802.2
120.0	105.3	341.27	\bar{V}	3.7815	4.0786	4.6341	5.1637	5.6813	6.1928	6.7006	7.2060	7.7096	8.7130	9.7130
			h_g	1195.6	1224.1	1277.4	1328.2	1378.4	1428.8	1479.8	1531.4	1583.9	1691.3	1802.0
140.0	125.3	353.04	\bar{V}	...	3.4661	3.9526	4.4119	4.8588	5.2995	5.7364	6.1709	6.6036	7.4652	8.3233
			h_g	...	1220.8	1275.3	1326.8	1377.4	1428.0	1479.1	1530.8	1583.4	1690.9	1801.7
160.0	145.3	363.55	\bar{V}	...	3.0060	3.4413	3.8480	4.2420	4.6295	5.0132	5.3945	5.7741	6.5293	7.2811
			h_g	...	1217.4	1273.3	1325.4	1376.4	1427.2	1478.4	1530.3	1582.9	1690.5	1801.4
180.0	165.3	373.08	\bar{V}	...	2.6474	3.0433	3.4093	3.7621	4.1084	4.4508	4.7907	5.1289	5.8014	6.4704
			h_g	...	1213.8	1271.2	1324.0	1375.3	1426.3	1477.7	1529.7	1582.4	1690.2	1801.2
200.0	185.3	381.80	\bar{V}	...	2.3598	2.7247	3.0583	3.3783	3.6915	4.0008	4.3077	4.6128	5.2191	5.8219
			h_g	...	1210.1	1269.0	1322.6	1374.3	1425.5	1477.0	1529.1	1581.9	1689.8	1800.9
220.0	205.3	389.88	\bar{V}	...	2.1240	2.4638	2.7710	3.0642	3.3504	3.6327	3.9125	4.1905	4.7426	5.2913
			h_g	...	1206.3	1266.9	1321.2	1373.2	1424.7	1476.3	1528.5	1581.4	1689.4	1800.6
240.0	225.3	397.39	\bar{V}	...	1.9268	2.2462	2.5316	2.8024	3.0661	3.3259	3.5831	3.8385	4.3456	4.8492
			h_g	...	1202.4	1264.6	1319.7	1372.1	1423.8	1475.6	1527.9	1580.9	1689.1	1800.4
260.0	245.3	404.44	\bar{V}	...	...	2.0619	2.3289	2.5808	2.8256	3.0663	3.3044	3.5408	4.0097	4.4750
			h_g	...	...	1262.4	1318.2	1371.1	1423.0	1474.9	1527.3	1580.4	1688.7	1800.1
280.0	265.3	411.07	\bar{V}	...	...	1.9037	2.1551	2.3909	2.6194	2.8437	3.0655	3.2855	3.7217	4.1543
			h_g	...	...	1260.0	1316.8	1370.0	1422.1	1474.2	1526.8	1579.9	1688.4	1799.8
300.0	285.3	417.35	\bar{V}	...	...	1.7665	2.0044	2.2263	2.4407	2.6509	2.8585	3.0643	3.4721	3.8764
			h_g	...	...	1257.7	1315.2	1368.9	1421.3	1473.6	1526.2	1579.4	1688.0	1799.6
320.0	305.3	423.31	\bar{V}	...	...	1.6462	1.8725	2.0823	2.2843	2.4821	2.6774	2.8708	3.2538	3.6332
			h_g	...	...	1255.2	1313.7	1367.8	1420.5	1472.9	1525.6	1578.9	1687.6	1799.3
340.0	325.3	428.99	\bar{V}	...	...	1.5399	1.7561	1.9552	2.1463	2.3333	2.5175	2.7000	3.0611	3.4186
			h_g	...	...	1252.8	1312.2	1366.7	1419.6	1472.2	1525.0	1578.4	1687.3	1799.0
360.0	345.3	434.41	\bar{V}	...	...	1.4454	1.6525	1.8421	2.0237	2.2009	2.3755	2.5482	2.8898	3.2279
			h_g	...	...	1250.3	1310.6	1365.6	1418.7	1471.5	1524.4	1577.9	1686.9	1798.8

(Continua na próxima página)

PROPRIEDADES DO VAPOR SATURADO E DA ÁGUA SATURADA - continuação

Pressão lb/pol ²		Tempera- tura t (°F)	Calor do Líquido (BTU/lb)	Calor Latente de Evaporação (BTU/lb)	Calor Total do vapor h _g (BTU/lb)	Volume Específico V	
Absoluta P'	Manomé- trica P					Água (pé ³ /lb)	Vapor (pé ³ /lb)
250.0	235.3	400.97	376.1	825.0	1201.1	0.01865	1.84317
255.0	240.3	402.72	378.0	823.3	1201.3	0.01868	1.80802
260.0	245.3	404.44	379.9	821.6	1201.5	0.01870	1.77418
265.0	250.3	406.13	381.7	820.0	1201.7	0.01873	1.74157
270.0	255.3	407.80	383.6	818.3	1201.9	0.01875	1.71013
275.0	260.3	409.45	385.4	816.7	1202.1	0.01878	1.67978
280.0	265.3	411.07	387.1	815.1	1202.3	0.01880	1.65049
285.0	270.3	412.67	388.9	813.6	1202.4	0.01882	1.62218
290.0	275.3	414.25	390.6	812.0	1202.6	0.01885	1.59482
295.0	280.3	415.81	392.3	810.4	1202.7	0.01887	1.56835
300.0	285.3	417.35	394.0	808.9	1202.9	0.01889	1.54274
320.0	305.3	423.31	400.5	802.9	1203.4	0.01899	1.44801
340.0	325.3	428.99	406.8	797.0	1203.8	0.01908	1.36405
360.0	345.3	434.41	412.8	791.3	1204.1	0.01917	1.28910
380.0	365.3	439.61	418.6	785.8	1204.4	0.01925	1.22177
400.0	385.3	444.60	424.2	780.4	1204.6	0.01934	1.16095
420.0	405.3	449.40	429.6	775.2	1204.7	0.01942	1.10573
440.0	425.3	454.03	434.8	770.0	1204.8	0.01950	1.05535
460.0	445.3	458.50	439.8	765.0	1204.8	0.01959	1.00921
480.0	465.3	462.82	444.7	760.0	1204.8	0.01967	0.96677
500.0	485.3	467.01	449.5	755.1	1204.7	0.01975	0.92762
520.0	505.3	471.07	454.2	750.4	1204.5	0.01982	0.89137
540.0	525.3	475.01	458.7	745.7	1204.4	0.01990	0.85771
560.0	545.3	478.84	463.1	741.0	1204.2	0.01998	0.82637
580.0	565.3	482.57	467.5	736.5	1203.9	0.02006	0.79712
600.0	585.3	486.20	471.7	732.0	1203.7	0.02013	0.76975
620.0	605.3	489.74	475.8	727.5	1203.4	0.02021	0.74408
640.0	625.3	493.19	479.9	723.1	1203.0	0.02028	0.71995
660.0	645.3	496.57	483.9	718.8	1202.7	0.02036	0.69724
680.0	665.3	499.86	487.8	714.5	1202.3	0.02043	0.67581
700.0	685.3	503.08	491.6	710.2	1201.8	0.02050	0.65556
720.0	705.3	506.23	495.4	706.0	1201.4	0.02058	0.63639
740.0	725.3	509.32	499.1	701.9	1200.9	0.02065	0.61822
760.0	745.3	512.34	502.7	697.7	1200.4	0.02072	0.60097
780.0	765.3	515.30	506.3	693.6	1199.9	0.02080	0.58457
800.0	785.3	518.21	509.8	689.6	1199.4	0.02087	0.56896
820.0	805.3	521.06	513.3	685.5	1198.8	0.02094	0.55408
840.0	825.3	523.86	516.7	681.5	1198.2	0.02101	0.53988
860.0	845.3	526.60	520.1	677.6	1197.7	0.02109	0.52631
880.0	865.3	529.30	523.4	673.6	1197.0	0.02116	0.51333
900.0	885.3	531.95	526.7	669.7	1196.4	0.02123	0.50091
920.0	905.3	534.56	530.0	665.8	1195.7	0.02130	0.48901
940.0	925.3	537.13	533.2	661.9	1195.1	0.02137	0.47759
960.0	945.3	539.65	536.3	658.0	1194.4	0.02145	0.46662
980.0	965.3	542.14	539.5	654.2	1193.7	0.02152	0.45609
1000.0	985.3	544.58	542.6	650.4	1192.9	0.02159	0.44596
1050.0	1035.3	550.53	550.1	640.9	1191.0	0.02177	0.42224
1100.0	1085.3	556.28	557.5	631.5	1189.1	0.02195	0.40058
1150.0	1135.3	561.82	564.8	622.2	1187.0	0.02214	0.38073
1200.0	1185.3	567.19	571.9	613.0	1184.8	0.02232	0.36245
1250.0	1235.3	572.38	578.8	603.8	1182.6	0.02250	0.34556
1300.0	1285.3	577.42	585.6	594.6	1180.2	0.02269	0.32991
1350.0	1335.3	582.32	592.2	585.6	1177.8	0.02288	0.31536
1400.0	1385.3	587.07	598.8	576.5	1175.3	0.02307	0.30178
1450.0	1435.3	591.70	605.3	567.6	1172.9	0.02327	0.28909
1500.0	1485.3	596.20	611.7	558.4	1170	0.02346	0.27719
1600.0	1585.3	604.87	624.2	540.3	1164.5	0.02387	0.25545
1700.0	1685.3	613.13	636.5	522.2	1158.6	0.02428	0.23607
1800.0	1785.3	621.02	648.5	503.8	1152.3	0.02472	0.21861
1900.0	1885.3	628.56	660.4	485.2	1145.6	0.02517	0.20278
2000.0	1985.3	635.80	672.1	466.2	1138.3	0.02565	0.18831
2100.0	2085.3	642.76	683.8	446.7	1130.5	0.02615	0.17501
2200.0	2185.3	649.45	695.5	426.7	1122.2	0.02669	0.16272
2300.0	2285.3	655.89	707.2	406.0	1113.2	0.02727	0.15133
2400.0	2385.3	662.11	719.0	384.8	1103.7	0.02790	0.14076
2500.0	2485.3	668.11	731.7	361.6	1093.3	0.02859	0.13068
2600.0	2585.3	673.91	744.5	337.6	1082.0	0.02938	0.12110
2700.0	2685.3	679.53	757.3	312.3	1069.7	0.03029	0.11194
2800.0	2785.3	684.96	770.7	285.1	1055.8	0.03134	0.10305
2900.0	2885.3	690.22	785.1	254.7	1039.8	0.03262	0.09420
3000.0	2985.3	695.33	801.8	218.4	1020.3	0.03428	0.08500
3100.0	3085.3	700.28	834.0	169.3	993.3	0.03681	0.07452
3200.0	3185.3	705.08	875.5	56.1	931.6	0.04472	0.05663
3208.2	3193.5	705.47	906.0	0.0	906.0	0.05078	0.05078

PROPRIEDADES DO VAPOR SUPERAQUECIDO - continuação

\bar{V} = Volume específico, pé³/lbs.

h_g = Calor total do vapor, BTU/lbs.

Pressão lb/pol ²		Temp. de Satura- ção t		Temperatura Total - °F										
Abs. P'	Man. P			500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
380.0	365.3	439.61	\bar{V} h_g	1.3606 1247.7	1.5598 1309.0	1.7410 1364.5	1.9139 1417.9	2.0825 1470.8	2.2484 1523.8	2.4124 1577.4	2.5750 1631.6	2.7366 1686.5	2.8973 1742.2	3.0572 1798.5
400.0	385.3	444.60	\bar{V} h_g	1.2841 1245.1	1.4763 1307.4	1.6495 1363.4	1.8151 1417.0	1.9759 1470.1	2.1339 1523.3	2.2901 1576.9	2.4450 1631.2	2.5987 1686.2	2.7515 1741.9	2.9037 1798.2
420.0	405.3	449.40	\bar{V} h_g	1.2148 1242.4	1.4007 1305.8	1.5676 1362.3	1.7258 1416.2	1.8795 1469.4	2.0304 1522.7	2.1795 1576.4	2.3273 1630.8	2.4739 1685.8	2.6196 1741.6	2.7647 1798.0
440.0	425.3	454.03	\bar{V} h_g	1.1517 1239.7	1.3319 1304.2	1.4926 1361.1	1.6445 1415.3	1.7918 1468.7	1.9363 1522.1	2.0790 1575.9	2.2203 1630.4	2.3605 1685.5	2.4998 1741.2	2.6384 1797.7
460.0	445.3	458.50	\bar{V} h_g	1.0939 1236.9	1.2691 1302.5	1.4242 1360.0	1.5703 1414.4	1.7117 1468.0	1.8504 1521.5	1.9872 1575.4	2.1226 1629.9	2.2569 1685.1	2.3903 1740.9	2.5230 1797.4
480.0	465.3	462.82	\bar{V} h_g	1.0409 1234.1	1.2115 1300.8	1.3615 1358.8	1.5023 1413.6	1.6384 1467.3	1.7716 1520.9	1.9030 1574.9	2.0330 1629.5	2.1619 1684.7	2.2900 1740.6	2.4173 1797.2
500.0	485.3	467.01	\bar{V} h_g	0.9919 1231.2	1.1584 1299.1	1.3037 1357.7	1.4397 1412.7	1.5708 1466.6	1.6992 1520.3	1.8256 1574.4	1.9507 1629.1	2.0746 1684.4	2.1977 1740.3	2.3200 1796.9
520.0	505.3	471.07	\bar{V} h_g	0.9466 1228.3	1.1094 1297.4	1.2504 1356.5	1.3819 1411.8	1.5085 1465.9	1.6323 1519.7	1.7542 1573.9	1.8746 1628.7	1.9940 1684.0	2.1125 1740.0	2.2302 1796.7
540.0	525.3	475.01	\bar{V} h_g	0.9045 1225.3	1.0640 1295.7	1.2010 1355.3	1.3284 1410.9	1.4508 1465.1	1.5704 1519.1	1.6880 1573.4	1.8042 1628.2	1.9193 1683.6	2.0336 1739.7	2.1471 1796.4
560.0	545.3	478.84	\bar{V} h_g	0.8653 1222.2	1.0217 1293.9	1.1552 1354.2	1.2787 1410.0	1.3972 1464.4	1.5129 1518.6	1.6266 1572.9	1.7388 1627.8	1.8500 1683.3	1.9603 1739.4	2.0699 1796.1
580.0	565.3	482.57	\bar{V} h_g	0.8287 1219.1	0.9824 1292.1	1.1125 1353.0	1.2324 1409.2	1.3473 1463.7	1.4593 1518.0	1.5693 1572.4	1.6780 1627.4	1.7855 1682.9	1.8921 1739.1	1.9980 1795.9
600.0	585.3	486.20	\bar{V} h_g	0.7944 1215.9	0.9456 1290.3	1.0726 1351.8	1.1892 1408.3	1.3008 1463.0	1.4093 1517.4	1.5160 1571.9	1.6211 1627.0	1.7252 1682.6	1.8284 1738.8	1.9309 1795.6
650.0	635.3	494.89	\bar{V} h_g	0.7173 1207.6	0.8634 1285.7	0.9835 1348.7	1.0929 1406.0	1.1969 1461.2	1.2979 1515.9	1.3969 1570.7	1.4944 1625.9	1.5909 1681.6	1.6864 1738.0	1.7813 1794.9
700.0	685.3	503.08	\bar{V} h_g		0.7928 1281.0	0.9072 1345.6	1.0102 1403.7	1.1078 1459.4	1.2023 1514.4	1.2948 1569.4	1.3858 1624.8	1.4757 1680.7	1.5647 1737.2	1.6530 1794.3
750.0	735.3	510.84	\bar{V} h_g		0.7313 1276.1	0.8409 1342.5	0.9386 1401.5	1.0306 1457.6	1.1195 1512.9	1.2063 1568.2	1.2916 1623.8	1.3759 1679.8	1.4592 1736.4	1.5419 1793.6
800.0	785.3	518.21	\bar{V} h_g		0.6774 1271.1	0.7828 1339.3	0.8759 1399.1	0.9631 1455.8	1.0470 1511.4	1.1289 1566.9	1.2093 1622.7	1.2885 1678.9	1.3669 1735.7	1.4446 1792.9
850.0	835.3	525.24	\bar{V} h_g		0.6296 1265.9	0.7315 1336.0	0.8205 1396.8	0.9034 1454.0	0.9830 1510.0	1.0600 1565.7	1.1366 1621.6	1.2115 1678.0	1.2855 1734.9	1.3588 1792.3
900.0	885.3	531.95	\bar{V} h_g		0.5869 1260.6	0.6858 1332.7	0.7713 1394.4	0.8504 1452.2	0.9262 1508.5	0.9998 1564.4	1.0720 1620.6	1.1430 1677.1	1.2131 1734.1	1.2825 1791.6
950.0	935.3	538.39	\bar{V} h_g		0.5485 1255.1	0.6449 1329.3	0.7272 1392.0	0.8030 1450.3	0.8753 1507.0	0.9455 1563.2	1.0142 1619.5	1.0817 1676.2	1.1484 1733.3	1.2143 1791.0
1000.0	985.3	544.58	\bar{V} h_g		0.5137 1249.3	0.6080 1325.9	0.6875 1389.6	0.7603 1448.5	0.8295 1505.4	0.8966 1561.9	0.9622 1618.4	1.0266 1675.3	1.0901 1732.5	1.1529 1790.3
1050.0	1035.3	550.53	\bar{V} h_g		0.4821 1243.4	0.5745 1322.4	0.6515 1387.2	0.7216 1446.6	0.7881 1503.9	0.8524 1560.7	0.9151 1617.4	0.9767 1674.4	1.0373 1731.8	1.0973 1789.6
1100.0	1085.3	556.28	\bar{V} h_g		0.4531 1237.3	0.5440 1318.8	0.6188 1384.7	0.6865 1444.7	0.7505 1502.4	0.8121 1559.4	0.8723 1616.3	0.9313 1673.5	0.9894 1731.0	1.0468 1789.0
1150.0	1135.3	561.82	\bar{V} h_g		0.4263 1230.9	0.5162 1315.2	0.5889 1382.2	0.6544 1442.8	0.7161 1500.9	0.7754 1558.1	0.8332 1615.2	0.8899 1672.6	0.9456 1730.2	1.0007 1788.3

PROPRIEDADES DO VAPOR SUPERAQUECIDO

\bar{V} = Volume específico, pé³/lbs.

h_g = Calor total do vapor, BTU/lbs.

Pressão lb/pol ²		Temp. de Satura- ção t	Temperatura Total - °F										
Abs. P'	Man. P		650	700	750	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
1200.0	1185.3	567.19	\bar{V} 0.4497 h_g 1271.8	0.4905 1311.5	0.5273 1346.9	0.5615 1379.7	0.6250 1440.9	0.6845 1499.4	0.7418 1556.9	0.7974 1614.2	0.8519 1671.6	0.9055 1729.4	0.9584 1787.6
1300.0	1285.3	577.42	\bar{V} 0.4052 h_g 1261.9	0.4451 1303.9	0.4804 1340.8	0.5129 1374.6	0.5729 1437.1	0.6287 1496.3	0.6822 1554.3	0.7341 1612.0	0.7847 1669.8	0.8345 1727.9	0.8836 1786.3
1400.0	1385.3	587.07	\bar{V} 0.3667 h_g 1251.4	0.4059 1296.1	0.4400 1334.5	0.4712 1369.3	0.5282 1433.2	0.5809 1493.2	0.6311 1551.8	0.6798 1609.9	0.7272 1668.0	0.7737 1726.3	0.8195 1785.0
1500.0	1485.3	596.20	\bar{V} 0.3328 h_g 1240.2	0.3717 1287.9	0.4049 1328.0	0.4350 1364.0	0.4894 1429.2	0.5394 1490.1	0.5869 1549.2	0.6327 1607.7	0.6773 1666.2	0.7210 1724.8	0.7639 1783.7
1600.0	1585.3	604.87	\bar{V} 0.3026 h_g 1228.3	0.3415 1279.4	0.3741 1321.4	0.4032 1358.5	0.4555 1425.2	0.5031 1486.9	0.5482 1546.6	0.5915 1605.6	0.6336 1664.3	0.6748 1723.2	0.7153 1782.3
1700.0	1685.3	613.13	\bar{V} 0.2754 h_g 1215.3	0.3147 1270.5	0.3468 1314.5	0.3751 1352.9	0.4255 1421.2	0.4711 1483.8	0.5140 1544.0	0.5552 1603.4	0.5951 1662.5	0.6341 1721.7	0.6724 1781.0
1800.0	1785.3	621.02	\bar{V} 0.2505 h_g 1201.2	0.2906 1261.1	0.3223 1307.4	0.3500 1347.2	0.3988 1417.1	0.4426 1480.6	0.4836 1541.4	0.5229 1601.2	0.5609 1660.7	0.5980 1720.1	0.6343 1779.7
1900.0	1885.3	628.56	\bar{V} 0.2274 h_g 1185.7	0.2687 1251.3	0.3004 1300.2	0.3275 1341.4	0.3749 1412.9	0.4171 1477.4	0.4565 1538.8	0.4940 1599.1	0.5303 1658.8	0.5656 1718.6	0.6002 1778.4
2000.0	1985.3	635.80	\bar{V} 0.2056 h_g 1168.3	0.2488 1240.9	0.2805 1292.6	0.3072 1335.4	0.3534 1408.7	0.3942 1474.1	0.4320 1536.2	0.4680 1596.9	0.5027 1657.0	0.5365 1717.0	0.5695 1777.1
2100.0	2085.3	642.76	\bar{V} 0.1847 h_g 1148.5	0.2304 1229.8	0.2624 1284.9	0.2888 1329.3	0.3339 1404.4	0.3734 1470.9	0.4099 1533.6	0.4445 1594.7	0.4778 1655.2	0.5101 1715.4	0.5418 1775.7
2200.0	2185.3	649.45	\bar{V} 0.1636 h_g 1123.9	0.2134 1218.0	0.2458 1276.8	0.2720 1323.1	0.3161 1400.0	0.3545 1467.6	0.3897 1530.9	0.4231 1592.5	0.4551 1653.3	0.4862 1713.9	0.5165 1774.4
2300.0	2285.3	655.89	\bar{V} ... h_g ...	0.1975 1205.3	0.2305 1268.4	0.2566 1316.7	0.2999 1395.7	0.3372 1464.2	0.3714 1528.3	0.4035 1590.3	0.4344 1651.5	0.4643 1712.3	0.4935 1773.1
2400.0	2385.3	662.11	\bar{V} ... h_g ...	0.1824 1191.6	0.2164 1259.7	0.2424 1310.1	0.2850 1391.2	0.3214 1460.9	0.3545 1525.6	0.3856 1588.1	0.4155 1649.6	0.4443 1710.8	0.4724 1771.8
2500.0	2485.3	668.11	\bar{V} ... h_g ...	0.1681 1176.7	0.2032 1250.6	0.2293 1303.4	0.2712 1386.7	0.3068 1457.5	0.3390 1522.9	0.3692 1585.9	0.3980 1647.8	0.4259 1709.2	0.4529 1770.4
2600.0	2585.3	673.91	\bar{V} ... h_g ...	0.1544 1160.2	0.1909 1241.1	0.2171 1296.5	0.2585 1382.1	0.2933 1454.1	0.3247 1520.2	0.3540 1583.7	0.3819 1646.0	0.4088 1707.7	0.4350 1769.1
2700.0	2685.3	679.53	\bar{V} ... h_g ...	0.1411 1142.0	0.1794 1231.1	0.2058 1289.5	0.2468 1377.5	0.2809 1450.7	0.3114 1517.5	0.3399 1581.5	0.3670 1644.1	0.3931 1706.1	0.4184 1767.8
2800.0	2785.3	684.96	\bar{V} ... h_g ...	0.1278 1121.2	0.1685 1220.6	0.1952 1282.2	0.2358 1372.8	0.2693 1447.2	0.2991 1514.8	0.3268 1579.3	0.3532 1642.2	0.3785 1704.5	0.4030 1766.5
2900.0	2885.3	690.22	\bar{V} ... h_g ...	0.1138 1095.3	0.1581 1209.6	0.1853 1274.7	0.2256 1368.0	0.2585 1443.7	0.2877 1512.1	0.3147 1577.0	0.3403 1640.4	0.3649 1703.0	0.3887 1765.2
3000.0	2985.3	695.33	\bar{V} ... h_g ...	0.0982 1060.5	0.1483 1197.9	0.1759 1267.0	0.2161 1363.2	0.2484 1440.2	0.2770 1509.4	0.3033 1574.8	0.3282 1638.5	0.3522 1701.4	0.3753 1763.8
3100.0	3085.3	700.28	\bar{V} ... h_g ...	...	0.1389 1185.4	0.1671 1259.1	0.2071 1358.4	0.2390 1436.7	0.2670 1506.6	0.2927 1572.6	0.3170 1636.7	0.3403 1699.8	0.3628 1762.5
3200.0	3185.3	705.08	\bar{V} ... h_g ...	...	0.1300 1172.3	0.1588 1250.9	0.1987 1353.4	0.2301 1433.1	0.2576 1503.8	0.2827 1570.3	0.3065 1634.8	0.3291 1698.3	0.3510 1761.2
3300.0	3285.3	...	\bar{V} ... h_g ...	...	0.1213 1158.2	0.1510 1242.5	0.1908 1348.4	0.2218 1429.5	0.2488 1501.0	0.2734 1568.1	0.2966 1623.9	0.3187 1696.7	0.3400 1759.9
3400.0	3385.3	...	\bar{V} ... h_g ...	...	0.1129 1143.2	0.1435 1233.7	0.1834 1343.4	0.2140 1425.9	0.2405 1498.3	0.2646 1565.8	0.2872 1631.1	0.3088 1695.1	0.3296 1758.5

PROPRIEDADES DO VAPOR SUPERAQUECIDO E DA ÁGUA COMPRIMIDA

\bar{V} = Volume específico, pé³/lbs.
 h_g = Calor total do vapor, BTU/lbs.

Pressão Absoluta lbs/pol. ²		Total Temperature Degrees Fahrenheit (t)												
		200°	400°	500°	600°	700°	800°	900°	1000°	1100°	1200°	1300°	1400°	1500°
3500	\bar{V}	0.0164	0.0183	0.0199	0.0225	0.0307	0.1364	0.1764	0.2066	0.2326	0.2563	0.2784	0.2995	0.3198
	h_g	176.0	379.1	487.6	608.4	779.4	1224.6	1338.2	1422.2	1495.5	1563.6	1629.2	1693.6	1757.2
3600	\bar{V}	0.0164	0.0183	0.0198	0.0225	0.0302	0.1296	0.1697	0.1996	0.2252	0.2485	0.2702	0.2908	0.3106
	h_g	176.3	379.3	487.6	608.1	775.1	1215.3	1333.0	1418.6	1492.6	1561.3	1627.3	1692.0	1755.9
3800	\bar{V}	0.0164	0.0183	0.0198	0.0224	0.0294	0.1169	0.1574	0.1868	0.2116	0.2340	0.2549	0.2746	0.2936
	h_g	176.7	379.5	487.7	607.5	768.4	1195.5	1322.4	1411.2	1487.0	1556.8	1623.6	1688.9	1753.2
4000	\bar{V}	0.0164	0.0182	0.0198	0.0223	0.0287	0.1052	0.1463	0.1752	0.1994	0.2210	0.2411	0.2601	0.2783
	h_g	177.2	379.8	487.7	606.9	763.0	1174.3	1311.6	1403.6	1481.3	1552.2	1619.8	1685.7	1750.6
4200	\bar{V}	0.0164	0.0182	0.0197	0.0222	0.0282	0.0945	0.1362	0.1647	0.1883	0.2093	0.2287	0.2470	0.2645
	h_g	177.6	380.1	487.8	606.4	758.6	1151.6	1300.4	1396.0	1475.5	1547.6	1616.1	1682.6	1748.0
4400	\bar{V}	0.0164	0.0182	0.0197	0.0222	0.0278	0.0846	0.1270	0.1552	0.1782	0.1986	0.2174	0.2351	0.2519
	h_g	178.1	380.4	487.9	605.9	754.8	1127.3	1289.0	1388.3	1469.7	1543.0	1612.3	1679.4	1745.3
4600	\bar{V}	0.0164	0.0182	0.0197	0.0221	0.0274	0.0751	0.1186	0.1465	0.1691	0.1889	0.2071	0.2242	0.2404
	h_g	178.5	380.7	487.9	605.5	751.5	1100.0	1277.2	1380.5	1463.9	1538.4	1608.5	1676.3	1742.7
4800	\bar{V}	0.0164	0.0182	0.0196	0.0220	0.0271	0.0665	0.1109	0.1385	0.1606	0.1800	0.1977	0.2142	0.2299
	h_g	179.0	380.9	488.0	605.0	748.6	1071.2	1265.2	1372.6	1458.0	1533.8	1604.7	1673.1	1740.0
5200	\bar{V}	0.0164	0.0181	0.0196	0.0219	0.0265	0.0531	0.0973	0.1244	0.1458	0.1642	0.1810	0.1966	0.2114
	h_g	179.9	381.5	488.2	604.3	743.7	1016.9	1240.4	1356.6	1446.2	1524.5	1597.2	1666.8	1734.7
5600	\bar{V}	0.0163	0.0181	0.0195	0.0217	0.0260	0.0447	0.0856	0.1124	0.1331	0.1508	0.1667	0.1815	0.1954
	h_g	180.8	382.1	488.4	603.6	739.6	975.0	1214.8	1340.2	1434.3	1515.2	1589.6	1660.5	1729.5
6000	\bar{V}	0.0163	0.0180	0.0195	0.0216	0.0256	0.0397	0.0757	0.1020	0.1221	0.1391	0.1544	0.1684	0.1817
	h_g	181.7	382.7	488.6	602.9	736.1	945.1	1188.8	1323.6	1422.3	1505.9	1582.0	1654.2	1724.2
6500	\bar{V}	0.0163	0.0180	0.0194	0.0215	0.0252	0.0358	0.0655	0.0909	0.1104	0.1266	0.1411	0.1544	0.1669
	h_g	182.9	383.4	488.9	602.3	732.4	919.5	1156.3	1302.7	1407.3	1494.2	1572.5	1646.4	1717.6
7000	\bar{V}	0.0163	0.0180	0.0193	0.0213	0.0248	0.0334	0.0573	0.0816	0.1004	0.1160	0.1298	0.1424	0.1542
	h_g	184.0	384.2	489.3	601.7	729.3	901.8	1124.9	1281.7	1392.2	1482.6	1563.1	1638.6	1711.1
7500	\bar{V}	0.0163	0.0179	0.0193	0.0212	0.0245	0.0318	0.0512	0.0737	0.0918	0.1068	0.1200	0.1321	0.1433
	h_g	185.2	384.9	489.6	601.3	726.6	889.0	1097.7	1261.0	1377.2	1471.0	1553.7	1630.8	1704.6
8000	\bar{V}	0.0162	0.0179	0.0192	0.0211	0.0242	0.0306	0.0465	0.0671	0.0845	0.0989	0.1115	0.1230	0.1338
	h_g	186.3	385.7	490.0	600.9	724.3	879.1	1074.3	1241.0	1362.7	1459.6	1544.5	1623.1	1698.1
9000	\bar{V}	0.0162	0.0178	0.0191	0.0209	0.0237	0.0288	0.0402	0.0568	0.0724	0.0858	0.0975	0.1081	0.1179
	h_g	188.6	387.3	490.9	600.3	720.4	864.7	1037.6	1204.1	1333.0	1437.1	1526.3	1607.9	1685.3
10000	\bar{V}	0.0161	0.0177	0.0189	0.0207	0.0233	0.0276	0.0362	0.0495	0.0633	0.0757	0.0865	0.0963	0.1054
	h_g	190.9	388.9	491.8	600.0	717.5	854.5	1011.3	1172.6	1305.3	1415.3	1508.6	1593.1	1672.8
11000	\bar{V}	0.0161	0.0176	0.0188	0.0205	0.0229	0.0267	0.0335	0.0443	0.0562	0.0676	0.0776	0.0868	0.0952
	h_g	193.2	390.5	492.8	599.9	715.1	846.9	992.1	1146.3	1280.2	1394.4	1491.5	1578.7	1660.6
12000	\bar{V}	0.0161	0.0176	0.0187	0.0203	0.0226	0.0260	0.0317	0.0405	0.0508	0.0610	0.0704	0.0790	0.0869
	h_g	195.5	392.1	493.9	599.9	713.3	841.0	977.8	1124.5	1258.0	1374.7	1475.1	1564.9	1648.8
13000	\bar{V}	0.0160	0.0175	0.0186	0.0201	0.0223	0.0253	0.0302	0.0376	0.0466	0.0558	0.0645	0.0725	0.0799
	h_g	197.8	393.8	495.0	600.1	711.9	836.3	966.8	1106.7	1238.5	1356.5	1459.4	1551.6	1637.4
14000	\bar{V}	0.0160	0.0174	0.0185	0.0200	0.0220	0.0248	0.0291	0.0354	0.0432	0.0515	0.0595	0.0670	0.0740
	h_g	200.1	395.5	496.2	600.5	710.8	832.6	958.0	1092.3	1221.4	1340.2	1444.4	1538.8	1626.5
15000	\bar{V}	0.0159	0.0174	0.0184	0.0198	0.0218	0.0244	0.0282	0.0337	0.0405	0.0479	0.0552	0.0624	0.0690
	h_g	202.4	397.2	497.4	600.9	710.0	829.5	950.9	1080.6	1206.8	1326.0	1430.3	1526.4	1615.9
15500	\bar{V}	0.0159	0.0173	0.0184	0.0198	0.0217	0.0242	0.0278	0.0329	0.0393	0.0464	0.0534	0.0603	0.0668
	h_g	203.6	398.1	498.1	601.2	709.7	828.2	947.8	1075.7	1200.3	1319.6	1423.6	1520.4	1610.8

TABELA DE CONVERSÃO DE TEMPERATURA

- 459.4° a 0°			1° a 60°			61° a 290°			300° a 890°			900° a 3000°		
C	C	F	C	C	F	C	C	F	C	C	F	C	C	F
	F		F	F		F	F		F	F		F	F	
273	-459.4		-17.2	1	33.8	16.1	61	141.8	149	300	572	482	900	1652
268	450		-16.7	2	35.6	16.7	62	143.6	154	310	590	488	910	1670
262	440		-16.1	3	37.4	17.2	63	145.4	160	320	608	493	920	1688
257	430		-15.6	4	39.2	17.8	64	147.2	166	330	626	499	930	1706
251	-420		-15.0	5	41.0	18.3	65	149.0	171	340	644	504	940	1724
246	-410		-14.4	6	42.8	18.9	66	150.8	177	350	662	510	950	1742
240	-400		-13.9	7	44.6	19.4	67	152.6	182	360	680	516	960	1760
234	390		-13.3	8	46.4	20.0	68	154.4	188	370	698	521	970	1778
229	380		-12.8	9	48.2	20.6	69	156.2	193	380	716	527	980	1796
223	370		-12.2	10	50.0	21.1	70	158.0	199	390	734	532	990	1814
218	360		-11.7	11	51.8	21.7	71	159.8	204	400	752	538	1000	1832
212	350		-11.1	12	53.6	22.2	72	161.6	210	410	770	549	1020	1868
207	340		-10.6	13	55.4	22.8	73	163.4	216	420	788	560	1040	1904
201	-330		-10.0	14	57.2	23.3	74	165.2	221	430	806	571	1060	1940
196	320		-9.4	15	59.0	23.9	75	167.0	227	440	824	582	1080	1976
190	-310		-8.9	16	60.8	24.4	76	168.8	232	450	842	593	1100	2012
184	300		-8.3	17	62.6	25.0	77	170.6	238	460	860	604	1120	2048
179	290		-7.8	18	64.4	25.6	78	172.4	243	470	878	616	1140	2084
173	280		-7.2	19	66.2	26.1	79	174.2	249	480	896	627	1160	2120
169	273	-459.4	-6.7	20	68.0	26.7	80	176.0	254	490	914	638	1180	2156
168	270	-454	-6.1	21	69.8	27.2	81	177.8	260	500	932	649	1200	2192
162	-260	-436	-5.6	22	71.6	27.8	82	179.6	266	510	950	660	1220	2228
157	250	-418	-5.0	23	73.4	28.3	83	181.4	271	520	968	671	1240	2264
151	240	-400	-4.4	24	75.2	28.9	84	183.2	277	530	986	682	1260	2300
146	230	-382	-3.9	25	77.0	29.4	85	185.0	282	540	1004	693	1280	2336
140	220	-364	-3.3	26	78.8	30.0	86	186.8	288	550	1022	704	1300	2372
134	-210	-346	-2.8	27	80.6	30.6	87	188.6	293	560	1040	732	1350	2462
129	-200	-328	-2.2	28	82.4	31.1	88	190.4	299	570	1058	760	1400	2552
123	-190	-310	-1.7	29	84.2	31.7	89	192.2	304	580	1076	788	1450	2642
118	-180	-292	-1.1	30	86.0	32.2	90	194.0	310	590	1094	816	1500	2732
112	-170	-274	-0.6	31	87.8	32.8	91	195.8	316	600	1112	843	1550	2822
107	160	256	0.0	32	89.6	33.3	92	197.6	321	610	1130	871	1600	2912
101	150	238	0.6	33	91.4	33.9	93	199.4	327	620	1148	899	1650	3002
96	140	220	1.1	34	93.2	34.4	94	201.2	332	630	1166	927	1700	3092
90	130	-202	1.7	35	95.0	35.0	95	203.0	338	640	1184	954	1750	3182
84	120	184	2.2	36	96.8	35.6	96	204.8	343	650	1202	982	1800	3272
79	110	166	2.8	37	98.6	36.1	97	206.6	349	660	1220	1010	1850	3362
73	100	148	3.3	38	100.4	36.7	98	208.4	354	670	1238	1038	1900	3452
68	90	130	3.9	39	102.2	37.2	99	210.2	360	680	1256	1066	1950	3542
62	80	112	4.4	40	104.0	37.8	100	212.0	366	690	1274	1093	2000	3632
57	70	94	5.0	41	105.8	43	110	230	371	700	1292	1121	2050	3722
51	60	76	5.6	42	107.6	49	120	248	377	710	1310	1149	2100	3812
46	50	58	6.1	43	109.4	54	130	266	382	720	1328	1177	2150	3902
40	40	40	6.7	44	111.2	60	140	284	388	730	1346	1204	2200	3992
34	-30	22	7.2	45	113.0	66	150	302	393	740	1364	1232	2250	4082
29	-20	4	7.8	46	114.8	71	160	320	399	750	1382	1260	2300	4172
23	10	14	8.3	47	116.6	77	170	338	404	760	1400	1288	2350	4262
17.8	0	32	8.9	48	118.4	82	180	356	410	770	1418	1316	2400	4352
			9.4	49	120.2	88	190	374	416	780	1436	1343	2450	4442
			10.0	50	122.0	93	200	392	421	790	1454	1371	2500	4532
			10.6	51	123.8	99	210	410	427	800	1472	1399	2550	4622
			11.1	52	125.6	100	212	413.6	432	810	1490	1427	2600	4712
			11.7	53	127.4	104	220	428	438	820	1508	1454	2650	4802
			12.2	54	129.2	110	230	446	443	830	1526	1482	2700	4892
			12.8	55	131.0	116	240	464	449	840	1544	1510	2750	4982
			13.3	56	132.8	121	250	482	454	850	1562	1538	2800	5072
			13.9	57	134.6	127	260	500	460	860	1580	1566	2850	5162
			14.4	58	136.4	132	270	518	466	870	1598	1593	2900	5252
			15.0	59	138.2	138	280	536	471	880	1616	1621	2950	5342
			15.6	60	140.0	143	290	554	477	890	1634	1649	3000	5432

Localize a temperatura na coluna do meio. Se em graus Celsius, leia a temperatura Fahrenheit equivalente na coluna do lado direito; se em graus Fahrenheit, leia o equivalente graus Celsius na coluna do lado esquerdo.

FATORES DE CONVERSÃO

Unidades de comprimento

Mult. o n.º de	Por	P/obter	Milímetro (mm)	Metro (m)	Polegada (pol.)	Pé (pé)	Jarda (Jarda)
Milímetros			1	0,001000	0,03937	0,003281	0,001094
Metros			1000	1	39,37	3,281	1,094
Polegadas			25,40	0,02540	1	0,08333	0,02778
Pés			304,8	0,3048	12	1	0,3333
Jardas			914,4	0,9144	36	3	1

Unidades de área

Mult. o n.º de	Por	P/obter	Metro quadrado (m²)	Milímetro quadrado (mm²)	Polegada quadrada (pol.²)	Pé quadrado (pé²)	Jarda quadrada (jarda²)
m²			1	1.000.000	1550	10,76	1,196
mm²			0,000001	1	0,001550	0,00001076	0,000001196
pol²			0,0006452	645,1	1	0,006944	0,0007716
pés²			0,09290	92.900	144	1	0,1111
jardas²			0,8361	836.100	1296	9	1

Unidades de volume

Mult. o n.º de	Por	P/obter	Metro cúbico (m³)	Centímetro cúbico (cm³)	Litro (l.)	Polegada cúbica (pol.³)	Pé cúbico (pé³)	Galão Imperial (Imp. Gal.)	Galão Americano (U.S. Gal.)
m³			1	1.000.000	1000	61.020	35,31	220	264,2
cm³			0,000001000	1	0,001000	0,06102	0,00003531	0,0002200	0,0002642
litros			0,001000	1000	1	61,02	0,03531	0,2200	0,2642
pol.³			0,00001639	16,39	0,01639	1	0,0005787	0,003605	0,004329
pés³			0,02832	28.320	28,32	1728	1	6,229	7,480
Gal.(Imp.)			0,004546	4,546	4,546	277,4	0,1605	1	1,201
Gal.(Americano)			0,003785	3.785	3,785	231	0,1337	0,8327	1

Unidades de velocidade

Mult. o n.º de	Por	P/obter	Pés por segundo (pés/seg.)	Pés por minuto (pés/min.)	Milhas por hora (milhas/h)	Metros por segundo (m/seg.)	Metros por minuto (m/min.)	Quilômetros por hora (km/h)
pés/seg.			1	60	0,6818	0,3048	18,29	1,097
pés/min.			0,01667	1	0,01136	0,005080	0,3048	0,01829
milhas/h.			1,467	88	1	0,4470	26,82	1,609
m/seg.			3,280	169,9	2,237	1	60	3,600
m/min.			0,05468	3,281	0,03728	0,01667	1	0,06000
km/h.			0,9113	54,68	0,6214	0,2778	16,67	1

Unidades de densidade

Mult. o n.º de	Por	P/obter	Gramas por mililitro (g/ml)	Quilograma por metro cúbico (kg/m³)	Libra por pé cúbico (lb/pé³)	Libra por polegada cúbica (lb/pol.³)
g/ml.			1	1000	62,43	0,03613
kg/m³			0,001000	1	0,06243	0,00003613
lb/pé³			0,01602	16,02	1	0,0005787
lb/pol.³			27,68	27.680	1728	1

Unidades de massa

Mult. o n.º de ↓ / Por → P/obter →	Onça (oz)	Libra (lb)	Tonelada Americana (US. Ton.)	Tonelada Britânica (Brit. Ton.)	Quilograma (kg)	Tonelada métrica (T)
Onças	1	0,06250	0,00003125	0,00002790	0,02835	0,00002835
Libras	16	1	0,0005000	0,0004464	0,4536	0,0004536
Toneladas Americanas	32.000	2000	1	0,8929	907,2	0,9072
Toneladas Britânicas	35.840	2240	1,120	1	1016	1,016
Quilogramas	35,27	2,205	0,001102	0,0009842	1	0,001000
Toneladas Métricas	35.270	2205	1,102	0,9842	1000	1

Unidades de pressão

Mult. o n.º de ↓ / Por → P/obter →	Atmosfera (Atm.)	Quilogramas por centímetro quadrado (Kg/cm²)	Libras por polegada quadrada (Lbf/pol²)	Milímetros de Mercúrio (à 0°C) (Torr. ou mm Hg)	Polegadas de Mercúrio (à 0°C) (pol. Hg)	Metros de Água (à 4°C) (m. H₂O)	Polegadas de Água (à 4°C) (pol. H₂O)	Bar(**)
Atm.	1	1,033	14,69	760	29,92	10,33	406,8	1,013
Kgf/cm²	0,9678	1	14,22	735,5	28,96	10	393,7	0,9807
Lbf/pol² (=psi)	0,06805	0,0703	1	51,71	2,036	0,7031	27,68	0,06895
mm Hg (=Torr.)	0,001316	0,001359	0,01934	1	0,03937	0,0136	0,5352	0,001333
pol. Hg	0,03342	0,03453	0,4911	25,40	1	0,3453	13,60	0,03386
m. H₂O	0,09678	0,1000	1,422	73,56	2,896	1	39,37	0,09806
pol. H₂O	0,002458	0,002540	0,0361	1,868	0,07355	0,02540	1	0,002491
Bar	0,9869	1,020	14,50	750,1	29,53	10,20	401,5	1

Unidades de vazão

Mult. o n.º de ↓ / Por → P/obter →	Litros por segundo (l/seg.)	Litros por minuto (l/min.)	Metro cúbico por hora (m³/h)	Pé cúbico por hora (pé³/h)	Pé cúbico por minuto (pé³/min)	Galão Imp. por minuto (Imp. Gal./min)	Galão Amer. por minuto (US Gal./min)	Barris Amer. por dia (US Barr./d.)
l/seg.	1	60	3,600	127,1	21,19	13,20	15,85	543,4
l/min.	0,01667	1	0,06000	2,119	0,03532	0,2200	0,2642	9,057
m³/h	0,2778	16,67	1	35,31	0,5886	3,666	4,403	150,9
pé³/h	0,007865	0,4719	0,02832	1	0,01667	0,1038	0,1247	4,275
pé³/min.	0,4719	28,32	1,699	60	1	6,229	7,481	256,5
Galão Imp./min.	0,07577	4,546	0,2727	9,633	0,1606	1	1,201	41,17
Galão Amer./min.	0,06309	3,785	0,2271	8,021	0,1337	0,8327	1	34,29
Barril Amer./dia	0,001840	0,1104	0,006624	0,2339	0,003899	0,02428	0,02917	1

* Atmosfera (métrica) Técnica - (At.)

** A unidade de pressão no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o pascal (Pa), o qual é 1 Newton por metro quadrado. (N/m²). 1 bar = 10⁵ Pa.

OUTRAS CONVERSÕES ÚTEIS

Para Converter de	Para	Multiplicar Por
Pés Cúbicos (Metano)	B.T.U.	1000 (aproximado)
Pés cúbicos de Água	Libras de Água	62,4
Graus	Radianos	0,01745
Galões	Libras de Água	8,336
Gramas	Onças	0,0352
Cavalo-Vapor (Mecânico)	Pés Libras/min.	33.000
Cavalo de força (Elétrico)	Watts	746
Quilogramas	Libras	2,2046
Kg/m ³	Lbs/pé ³	0,06243
Quilowatts	Cavalo-Vapor	1,34
Libras	Quilogramas	0,4536
Libras de Ar (à 14,7 psia e 60°F)	Pé cúbicos de Ar	13,1
Libras/pé ³	Kg/m ³	16,0184
Libras/hora (Gás)	SCFH ⁽¹⁾	13,1
Libras/hora (Água)	GPM ⁽³⁾	0,002
Libras/seg. (Gás)	SCFH	46.160
Radianos	Graus	G(do gás) ⁽²⁾
SCFH (Ar)	SCFH (Propano)	57,3
SCFH (Ar)	SCFH (Butano)	0,81
SCFH (Ar)	SCFH (Gás Natural 0,6)	0,71
CFH ⁽⁴⁾	SCFH	1,29
Centistokes	Centipoises	Pressão Absoluta do gás (520)
		14,7 (°F + 460)
		Peso Especifico Relativo do líquido

$$\text{Peso Especifico Relativo (G) do Gás (à CNPT)}^{(5)} = \frac{\text{Peso Molecular do Gás}}{29}$$

$$\text{Volume Especifico} = \frac{1}{\text{Densidade}}$$

NOTAS

- (1) SCFH = Pés cúbicos Normais por hora.
- (2) G = Peso Especifico Relativo.
- (3) GPM = Galões por minuto.
- (4) CFH = Pés cúbicos por hora.
- (5) CNPT = Condições Normais de Pressão e Temperatura, isto é 1 atmosfera de pressão e 15°C de temperatura.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- 1) O que é uma válvula de controle?
- 2) Como uma válvula pode ser classificada segundo seu princípio de funcionamento?
- 3) Quais são os principais tipos de válvulas?
- 4) Quais são os conjuntos e subconjuntos de uma válvula de controle?
- 5) Quais são as vantagens e desvantagens de uma válvula globo sede simples, sede dupla e gaiola?
- 6) Quais são os elementos que compõem os internos de uma válvula e suas principais funções?
- 7) Quais são os tipos de castelos existentes para uma válvula globo? Cite suas aplicações e restrições.
- 8) Quais são os tipos de gaxetas mais utilizados? Cite suas aplicações e restrições.
- 9) Quais são os tipos de juntas mais utilizadas? Cite suas aplicações e restrições.
- 10) Quais são os tipos de conexões utilizadas em uma válvula?
- 11) Quais são os tipos de classes que podemos ter em uma válvula?
- 12) Quais são os parâmetros que definem o tipo de classe de uma válvula?
- 13) Como podemos classificar uma válvula borboleta em função do tipo de assentamento?
- 14) Quais são os tipos de válvulas esferas?
- 15) Quais são os tipos de sede existentes para uma válvula esfera?
- 16) Quais são as classes de vedação existentes em uma válvula de controle?
- 17) O que é característica de vazão?
- 18) Quais são os tipos de característica de vazão existentes?
- 19) Defina quais são os tipos de características de vazão inerentes e cite as principais diferenças entre as mesmas.
- 20) Quais são os parâmetros que definem qual o tipo de característica de vazão que devemos usar em uma válvula de controle?
- 21) Sabemos que em uma determinada aplicação temos 60% de vazão em uma válvula de controle. Qual será sua abertura para as seguintes características de vazão:
 - a) Tipo Abertura Rápida

- b) Tipo Linear
- c) Tipo Igual a Porcentagem
- d) Tipo Parabólica Modificada

22) Calcule o Cv de uma válvula de controle para a seguinte aplicação:

Fluído = NH₃ (Amônia) Vapor

$$P_1 = 45 \text{ psig}$$

$$\Delta P = 16 \text{ psi}$$

$$T = 30^\circ \text{ F}$$

$$Q = 2500 \text{ lb/h}$$

$$C_f = 0,9 \text{ (válvula globo)}$$

$$m_{\text{espNH}_3} = 0,045 \text{ lb/ft}^3 \text{ (} 60^\circ \text{ F)}$$

$$m_{\text{espar}} = 0,0764 \text{ lb/ft}^3 \text{ (} 60^\circ \text{ F)}$$

23) Calcule o Cv de uma válvula de controle para a seguinte aplicação:

Fluído = Água

$$P_1 = 14,8 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$P_2 = 12,0 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$P_v = 2,3 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$T = 124^\circ \text{ C}$$

$$Q = 2500 \text{ lb/h}$$

$$C_f = 0,9 \text{ (válvula globo)}$$

$$G_f = 1$$

24) Calcule o Cv da válvula para as seguintes condições:

Fluido = NH₃ saturado + vapor

$$Q = 9.000 \text{ lb/h}$$

$$P_1 = 150 \text{ psi}$$

$$P_2 = 140 \text{ psi}$$

$$C_f = 0,9$$

$$\text{Peso específico (a montante)} = 38,7147 \text{ lb/ft}^3$$

OBS: Considerar que ocorra uma vaporização adicional.

25) Calcule o ruído hidrodinâmico de uma válvula borboleta operando nas seguintes condições:

$$P_1 = 250 \text{ psia}$$

$$P_2 = 150 \text{ psia}$$

$P_v = 60$ psia
 $T = 330$ °F
 $d = 6''$
 $C_v = 328$
 $F_L = 0,56$

26) Calcule o ruído aerodinâmico de uma válvula esfera, operando em gás metano, nas seguintes condições

$P_1 = 1550$ psia
 $P_2 = 300$ psia
 $T = 130$ °F
 $G = 0,55$
 $Q = 900.000$ SCFH
 $F_L = 0,55$
 $D = 1''$ (SCH 80)

27) Calcular o ruído hidrodinâmico de uma válvula, operando nas seguintes condições:

Fluido = Água
 $P_1 = 1400$ KPa a
 $P_2 = 850$ KPa a
 $P_V = 300$ Kpa a
 $T = 45^\circ$ C
 $d = 6''$
 $CV = 340$
 $FL = 0,56$

28) Calcular o ruído aerodinâmico de uma válvula operando nas seguintes condições:

Fluido = GNP
 $P_1 = 5000$ KPa a
 $P_2 = 600$ KPa a
 $T = 20^\circ$ C
 $G = 0,55$
 $Q = 50.000$ nm³/h
 $CV = 40$
 $FL = 0,55$
 $d = 1''$ (SCH.80)

29) Quais são os tipos de atuadores mais utilizados em uma válvula de controle?

30) Do que depende a escolha do atuador de uma válvula?

31) O que é posição de segurança de uma válvula?

- 32) Quais são as vantagens de um atuador tipo mola e diafragma em relação ao tipo cilíndrico?
- 33) Quais são as desvantagens dos atuadores tipo pistão e tipo elétrico?
- 34) Quais são as informações necessárias para o correto dimensionamento de uma válvula de controle?
- 35) Quais são os acessórios mais utilizados em válvulas de controle?
- 36) Quais são os tipos de posicionadores existentes?