

Elementos para utilização adequada de válvulas borboleta (*)

JOSÉ CARLOS LEITÃO (**)

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das características principais das válvulas borboleta e sua utilização adequada, podem evitar problemas de operação e manutenção da mesma, decorrentes de uma má aplicação.

Neste trabalho serão abordados alguns aspectos considerados importantes de se levar em conta quando da escolha e instalação das válvulas borboleta, tais como, toques atuantes, posição correta de instalação, os quais são função do sistema em que a mesma será instalada; sua utilização para controle de vazão e cavitação.

2. CARACTERÍSTICAS DAS VÁLVULAS BORBOLETA

O uso de válvula borboleta em serviços de água está se tornando cada vez mais comum, em virtude de certas vantagens que oferece, das quais podemos citar algumas:

- Exigência de espaço relativamente pequeno.

(*) Este artigo é uma tradução, adaptação e complementação do artigo "Proper Butterfly Valve Application Avoids Costly Repairs" de Gregory A. Kurkijian Jr., publicado na revista Water & Sewage Works, de junho de 1978.

(**) Engenheiro do Depto de Apoio e Controle da Produção - SABESP.

- Facilidade de Operação.
- Baixa perda de carga quando totalmente aberta (ver tab. 1).
- Abertura e fechamento rápido com movimento de 90° no disco da válvula, etc. . .

Quanto aos inconvenientes que a mesma apresenta, estão geralmente relacionados à utilização de seu obturador em posição intermediária, tais como:

- Grande perda de carga (ver. tab.1).
- Tendência à vibração.

Porcentagem de Abertura	100	90	80	70	60	50	40	30	20
Valor de K	0,1-0,5	0,5-0,65	1,4	3,0	7,5	18	45	150	850

Tabela 1 - Coeficientes de Perda de Carga nas Válvulas Borboleta (Ref. 8).

Deste modo, a sua aplicação mais comum e recomendável é como válvula de bloqueio, em substituição às válvulas de gaveta.

As válvulas borboleta são também utilizadas para controle de fluxo, sendo porém esta aplicação menos recomendável.

A seguir serão resumidas algumas das características principais das válvulas borboleta fabricadas no Brasil:

a) Normalização

Por não haver ainda normalização

da ABNT, as válvulas borboleta são fabricadas no Brasil, segundo normas estrangeiras, sendo geralmente utilizada a AWWA-C-504, para válvulas borboleta com sede de borracha e pressões de trabalho até 150 psi.

Cabe citar entretanto a existência na ABNT do projeto de norma, NB-653, "RECOMENDAÇÕES PARA ESPECIFICAÇÃO DE VÁLVULAS HIDRÁULICAS DE GRANDE PORTE" e em estudo uma norma para "SELEÇÃO DE VÁLVULAS HI-

DRÁULICAS DE GRANDE PORTE".

b) Diâmetros Comerciais

São encontradas normalmente nos diâmetros de 3" (75mm) a 72" (1800mm) e em diâmetros maiores para aplicações especiais.

c) Tipos de Válvulas Borboleta:

A norma AWWA-C-504 prescreve quatro tipos de válvulas borboleta: c.1) Válvulas Borboleta de Corpo Longo, com Flanges: Classes 75A,

75B, 150A e 150B, para diâmetros de 3 a 72".

- c.2) Válvulas Borboleta de Corpo Curto, com Flanges: Em todas as classes para diâmetros de 3 a 72".
- c.3) Válvulas Borboleta com Corpo Extracurto (Wafer), sem Flanges: Classe 150B, para diâmetro até 20". São utilizadas para colocação entre flanges através de prisioneiros, onde o espaço é reduzido.
- c.4) Válvulas Borboleta com Junta Mecânica: Classe 150B, nos diâmetros de 3 a 24" e todas as classes nos diâmetros de 30 a 48".

Outras características, podem ainda caracterizar válvulas borboleta, tais como:

- Quanto à Posição do Eixo de Rotação em Relação à Linha de Centro do Disco.
 - simétrico (concêntrico);
 - excêntrico.
- Quanto ao Tipo de Obturador.
 - tipo lentilha (mais usual);
 - tipo fluxo passante (Flow-trough).

d) Flanges

No Brasil, seguem as normas:

- ABNT-P-15
- ANSI
- DIN
- AWWA-C-207

e) Pressões de Trabalho

No Brasil as válvulas borboleta podem ser encontradas com pressões nominais de 2,5 a 20 kg/cm², dependendo do tipo de corpo da válvula.

f) Acionamento

O acionamento das válvulas borboleta pode ser:

- Manual: por alavanca ou por volante com conjunto reductor;
- Elétrico: com acionador por comando local ou à distância;
- Hidráulico: por meio de cilindro hidráulico;
- Pneumático: por meio de ar.

g) Vedação

O sistema de vedação é geralmente constituído por uma sede de metal fixa no corpo da válvula e um anel de borracha sintética (elastômero) fixado no disco.

Para pressões muito elevadas, entretanto, pode ser necessário que a vedação seja feita pelo ajuste de sedes de metal contra metal (ref.8).

3. CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES PARA PROJETO E APLICAÇÃO DE VÁLVULAS BORBOLETA

3.1. TORQUES ATUANTES

Durante a operação, as válvulas borboleta estão sujeitas a um carregamento de torção no seu conjunto disco-eixo, devido às atuações da pressão e velocidade dentro da canalização.

Este carregamento de torção é o resultado da somatória de vários torques, descritos a seguir, e que afetarão os projetos e aplicações das válvulas:

- a) Torque de Assentamento;
- b) Torque de Atrito nos Mancais;
- c) Torque Fluidodinâmico;
- d) Torque Hidrostático.

As características principais de cada um destes torques serão descritas a seguir:

a) Torque de Assentamento ou Desassentamento (Ts)

O fechamento completo e estanque da válvula borboleta é conseguido através da interação mecânica entre a borda do disco e a sede no corpo da válvula, que pode ser metal-elastômero ou metal-metal. Esta interação ocorre durante o fechamento (assentamento) e a abertura (desassentamento) da válvula.

Desta interação, resulta um torque resistente, que é transmitido através da estrutura do disco para o eixo da

válvula e que deverá ser vencido durante a operação da válvula borboleta (abertura ou fechamento).

Este torque, mostrado na fig. 1 varia, dependendo do tipo de material usado no assento da válvula, da forma deste assento e da forma do perfil da borda do disco.

O torque de assentamento ou desassentamento pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$T_s = C_s D^2$$

T_s : Torque de Assentamento ou Desassentamento

C_s : Coeficiente de Torque de Assentamento ou Desassentamento

D : Diâmetro da Válvula

b) Torque de Atrito nos Mancais (T_B)

O torque de atrito nos mancais, é o torque necessário para vencer o atrito entre o eixo da válvula e os mancais. Este atrito aparece quando a válvula borboleta é acionada para abrir ou fechar, e é função da resultante das forças atuantes na superfície do disco da válvula.

A partir das forças atuantes, mostradas na fig. 2, podemos deduzir a expressão do torque (T_B):

$$T_B = \int_0^{\Delta P} \mu \times \frac{P}{2} \times r \times dA$$

$$P = \Delta P \times A = \Delta P \times \frac{\pi d^2}{4}$$

$$T_B = \mu \times \frac{\pi \Delta P^2}{4} \times \frac{d}{2} \times \int_0^{\Delta P} r^2 \times \frac{d}{2} \times \mu \times \Delta P$$

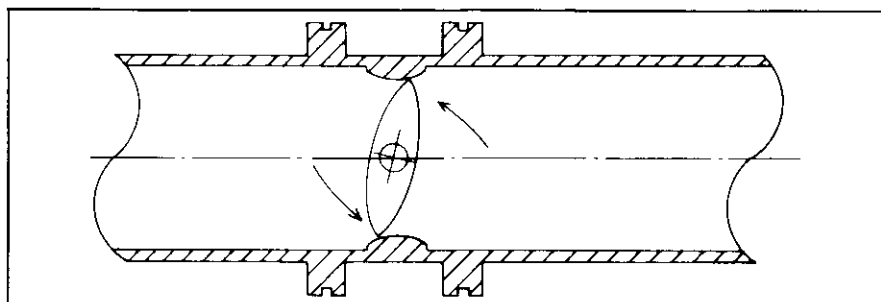


Fig. 1 - Torque de Assentamento

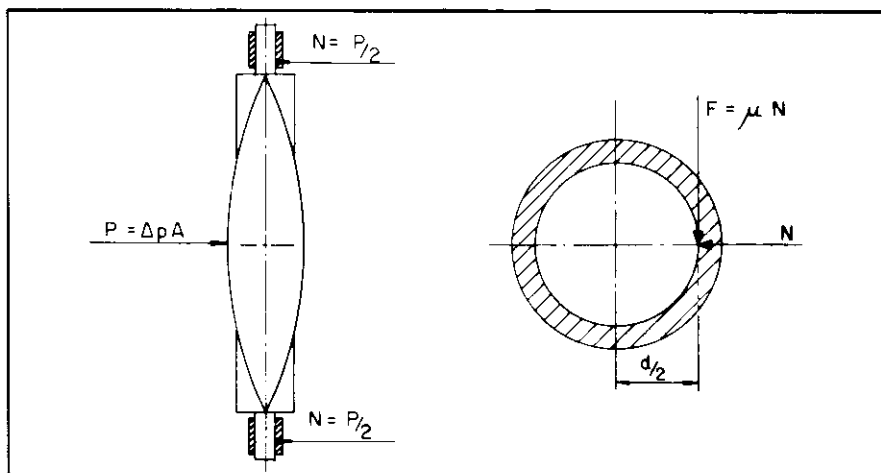


Fig. 2 - Torque de Atrito nos Mancais

Portanto:

$$\tau_B = 0,393 \times D^2 \times d \times \mu \times \Delta p$$

Onde:

T_B = Torque de Atrito nos mancais

D = Diâmetro da válvula

d = diâmetro do eixo do mancal

μ = coeficiente de atrito nos mancais (usualmente 0,25 para mancais metálicos)

Δp = perda de pressão através da válvula

Pode-se observar então, que T_B diminui à medida que vai-se aumentando a abertura da válvula, em virtude da diminuição da perda de carga Δp pela válvula, e que atinge o seu valor máximo para a válvula totalmente fechada.

c) Torque Hidrostático (Th)

O torque devido às ações hidrostáticas é o resultado da distribuição desigual das pressões ao longo da área do disco, acima e abaixo do eixo da válvula, quando este eixo é horizontal.

A preocupação com este tipo de torque somente ocorre quando a válvula borboleta está instalada em canalização horizontal e com o eixo da válvula orientado horizontalmente.

No caso do eixo da válvula ser orientado na vertical as forças se distribuem simetricamente em relação ao mesmo, resultando um torque nulo.

Este tipo de torque torna-se mais significativo para os diâmetros maiores de válvulas borboleta (fig. 3) e pode atingir valores suficientemente elevados para subjugar as resistências dos torques de assentamento e de atrito nos mancais, e assim abrir a válvula caso o dispositivo atuador não esteja instalado.

Para se deduzir a expressão do torque hidrostático pode-se tratar o problema de forma equivalente a empuxo sobre superfície plana, com a superfície d'água coincidindo com o bordo superior do disco (ver figura 4).

O empuxo sobre o disco será:

$$E = \gamma \times z_G \times S = \gamma \times \frac{D}{2} \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$E = \frac{\pi}{8} \times \gamma \times D^3 \quad (1)$$

onde:

γ = peso específico do fluido

D = Diâmetro do disco

E = Empuxo sobre o disco

O centro de empuxo (C) pode ser calculado como segue:

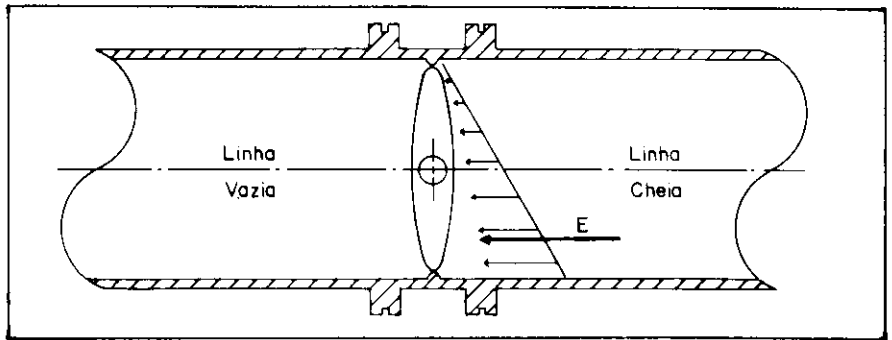


Fig. 3 - O torque hidrostático é mais significativo para diâmetros maiores

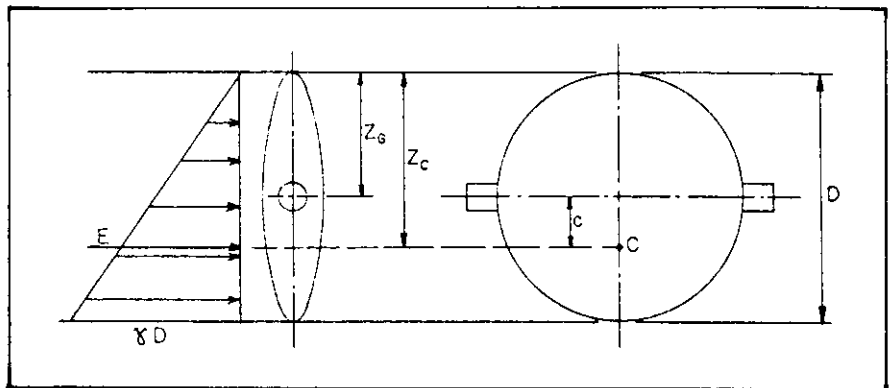


Fig. 4 - Torque Hidrostático

$$z_C = z_G + \frac{I_G}{z_G \times S}$$

z_C = altura do centro de empuxo em relação à superfície livre

z_G = altura do centro de gravidade do disco em relação à superfície livre

I_G = momento de inércia da superfície do disco em relação a seu centro de gravidade = $\frac{\pi D^4}{64}$

S = área da superfície do disco

Portanto temos:

$$z_C = \frac{D}{2} + \frac{\frac{\pi D^4}{64} \times \frac{1}{\frac{\pi}{4} \times \frac{D^2}{2}}}{\frac{1}{4} \times \frac{D^2}{2}} = \frac{5}{8} D$$

Deste modo a distância do centro de empuxo (C) até o centro de gravidade será:

$$C = \frac{5}{8} D - \frac{D}{2} = \frac{D}{8}$$

O torque hidrostático (Th) será então:

$$Th = E \times C$$

$$Th = \frac{\pi}{8} \times \gamma \times D^3 \times \frac{D}{8} = \frac{\pi \times \gamma}{64} \times D^4$$

Para a água ($\gamma = 1000 \text{ Kg}^*/\text{m}^3$) temos:

$$Th = 49,09 \cdot D^4 \quad (\text{em m} \times \text{Kg}^*)$$

Ou

$$Th = 3,06 \cdot D^4 \quad (\text{em pés} \times \text{libra})$$

Embora haja a ocorrência de torque devido a ações hidrostáticas para válvulas borboleta colocadas com eixo orientado na horizontal em tubulações horizontais, este tipo de uso é recomendado em estações de tratamento de esgoto.

A razão para isso, é que os sólidos presentes no esgoto tendem a se acumular ou sedimentar no fundo da tubulação; e se o eixo da válvula for vertical é possível que este material se aloje em torno do eixo da válvula.

A orientação horizontal do eixo é recomendada porque além de remover as deposições que ocorrem no fundo da tubulação junto à válvula, tende a limpar o material depositado no assento da válvula, como resultado das altas velocidades alcançadas durante as operações de fechamento e abertura. (Ver figura 5).

d) Torque Fluidodinâmico (Td)

Para qualquer posição intermediária a partir da posição fechada, o movimento do fluido origina um desequilíbrio de forças no disco da válvula semelhante ao ocorrido em um aerofólio (forças de sustentação e de arraste).

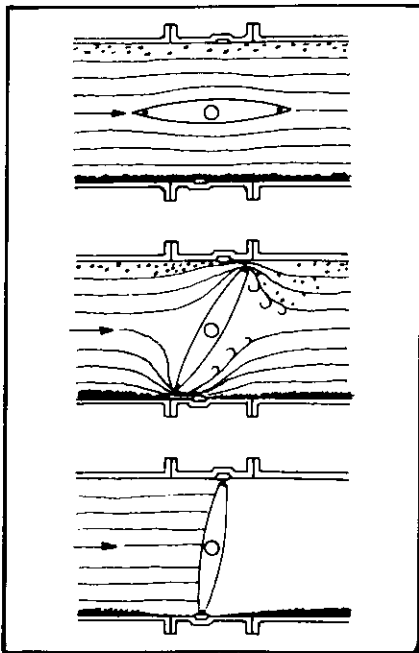


Fig. 5 - Eliminação das impurezas na parte interna de Válvulas Borboleta de eixo horizontal.

Nestas condições haverá uma distribuição desigual de pressões sobre o lado de montante do disco da válvula, dando como resultado torque tendente a fechar válvula (fig. 6).

As forças intervenientes no fenômeno dependem do formato do disco da válvula e sobretudo das características de montagem da válvula.

O coeficiente de torque da figura 7 é um valor único para cada tipo de válvula borboleta, relativo à configuração interna de seu corpo, formato do disco e posição do eixo da válvula em relação à borda do disco. (Excentricidade).

Para um eixo de disco simétrico em relação ao centro, o coeficiente de torque é o mesmo independentemente da direção do fluxo.

Para um eixo assimétrico, o coeficiente de torque é diferente para um fluxo na direção do lado eixo do disco e do lado oposto ao eixo do disco. (Ver. figura 8).

O fluxo na direção do lado oposto ao eixo do disco, pode resultar em um torque fluidodinâmico 40% menor do que para fluxo na direção do lado do eixo do disco. (Ver figuras 7 e 8).

Para a posição totalmente aberta, um disco simétrico em relação ao centro está teoricamente em balanço. Este tipo de estrutura está sujeita a vibrações se existir fluxo secundário no sistema.

Um disco com eixo excêntrico tem um torque resultante na posição totalmente aberta, resistindo à tendência de vibrar.

Este torque provoca uma tendência de fechamento para fluxo na direção do lado do eixo e de abertura para fluxo em sentido contrário. (Ver figuras 7 e 8).

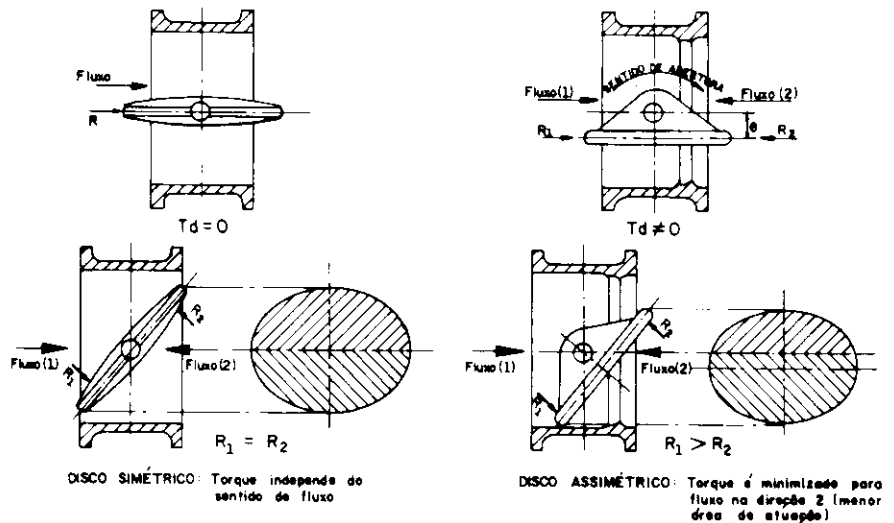


Fig. 8 - Efeito da direção do fluxo no torque fluidodinâmico

O torque fluidodinâmico pode ser calculado pela seguinte expressão (ref. 9).

$$T_d = C_t \times D^3 \times \Delta p$$

T_d = Torque fluidodinâmico.

C_t = Coeficiente de torque fluidodinâmico.

D = Diâmetro do disco.

Δp = Perda de pressão através da válvula.

3.2. TORQUE NECESSÁRIO NO ATUADOR (T_o)

As quatro categorias dos torques anteriormente citados são muito importantes para se determinar as necessidades estruturais dos componentes da

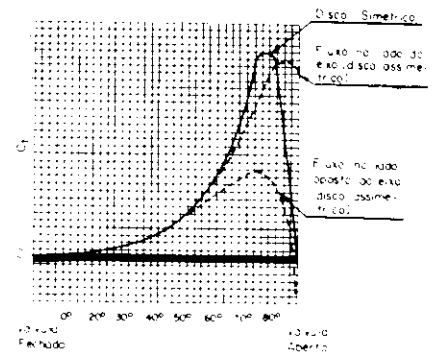


Fig. 7 - Coeficiente de Torque

válvula borboleta e o torque necessário a ser fornecido pelo mecanismo de acionamento da válvula.

O torque necessário ao destravamento da válvula borboleta no momento da abertura é a combinação dos torques de assentamento, de atrito nos mancais e hidrostático:

$$T_o = T_b + T_s + T_h \quad (1)$$

T_o = Torque do atuador para destravar o disco

T_s = Torque de assentamento ou desassentamento

T_b = Torque de atrito nos mancais

O torque do atuador, para as posições intermediárias é a combinação do torque fluidodinâmico e de atrito nos mancais.

$$T_o = 1,2 T_b \pm T_d \quad (2) \quad (\text{segundo apêndice da AWWA-C-504})$$

A expressão acima deve ser resolvida sucessivamente para diversos va-

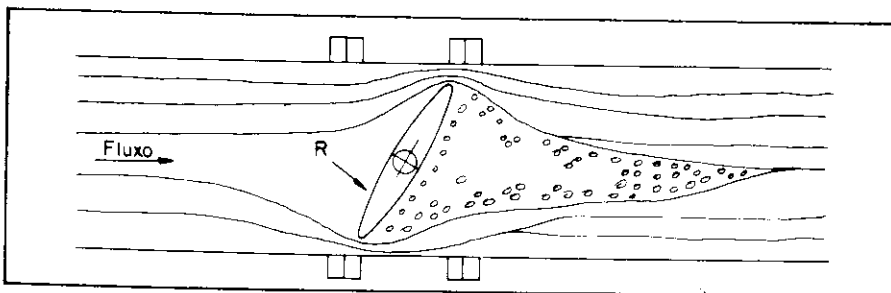


Fig. 6 - Resultante das forças fluidodinâmicas tendem fechar a Válvula.

lores de velocidade para se determinar a combinação máxima dos torques fluidodinâmico e de atrito nos mancais.

No item 3.4 está ilustrado o método gráfico para se determinar a perda de pressão através da válvula para qualquer velocidade entre as posições aberta e fechada, para os dois casos típicos de sistema em que a válvula borboleta pode estar instalada, ou seja:

- Sistema com carga constante (reservatório).
- Sistema com carga variável (instalação de recalque).

Quando do fechamento da válvula T_d é subtraído e no fechamento T_d é somado na expressão (2).

Deste modo, o torque requerido pelo atuador será o maior entre os dois valores de T_o obtidos nas expressões (1) e (2).

3.3. RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES DE TORQUE

A relação entre C_t , C_f e o ângulo de abertura do disco, depende do formato do disco e de como este está montado sobre o seu eixo de rotação.

As curvas características mostrando estas relações e o coeficiente C_s são obtidas dos fabricantes de válvula borboleta.

3.4. CONTROLE DE VAZÃO

Sendo um dispositivo de controle, a válvula borboleta dissipa energia.

Esta dissipação de energia na válvula e no sistema varia em função da variação da abertura do disco da válvula.

Conforme se vai aumentando o ângulo de abertura da válvula, a perda de carga na mesma diminui enquanto a perda no sistema aumenta.

Mesmo para a posição totalmente aberta, existe uma perda de carga residual na válvula borboleta.

Conforme citado anteriormente, existem dois sistemas típicos nos quais as válvulas borboleta podem estar instaladas e que está ilustrado na figura 9 ou seja:

- Com fonte de energia constante, como é o caso de um grande reservatório.
- Com fonte de energia variável, em função da vazão, como é o caso de instalações de recalque.

A diferença entre as curvas de energia e de perda de carga na figura 9, representa a perda de carga total através da válvula, para cada valor de velocidade (ou vazão) no sistema.

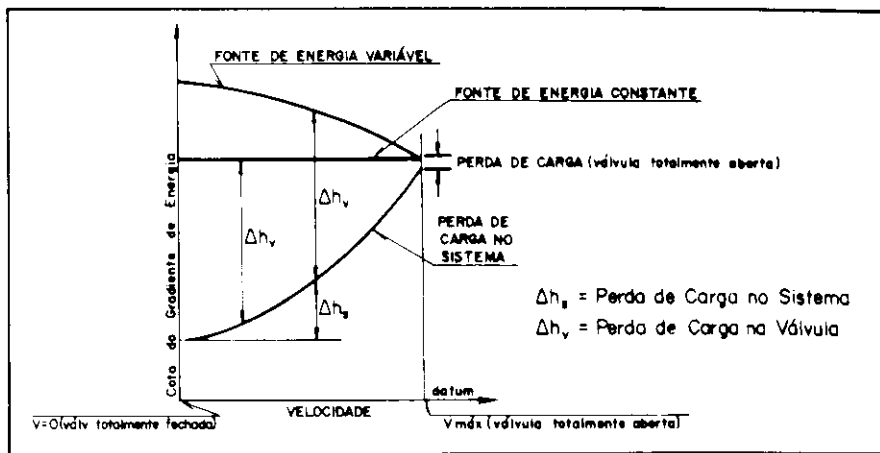


Fig. 9 - Relação entre Velocidade e Perda de Carga na Válvula Borboleta.

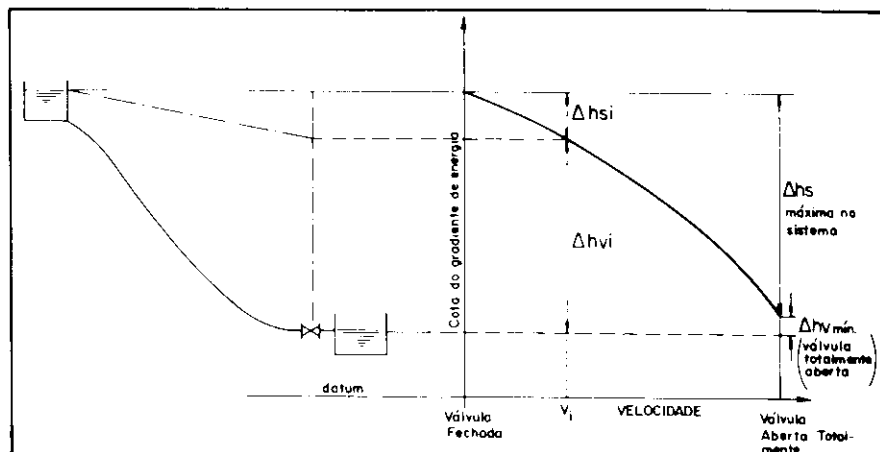


Fig. 10 - Sistema com fonte de energia constante

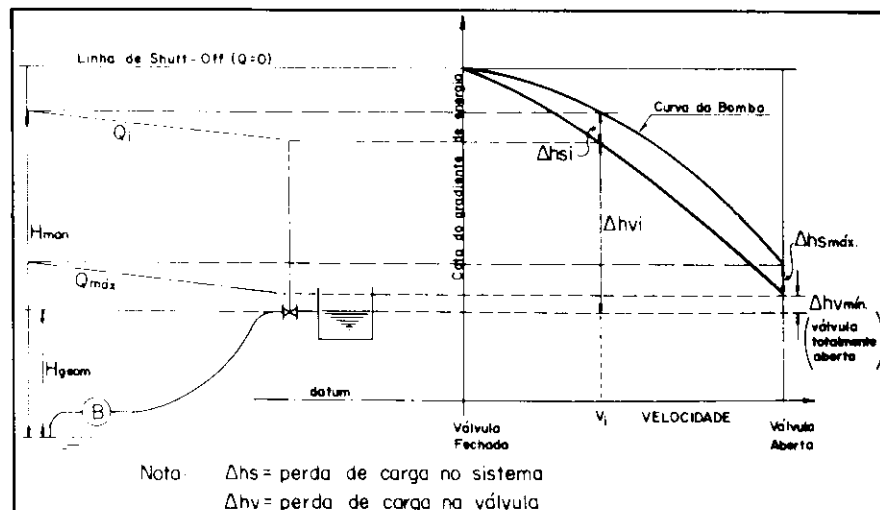


Fig. 11 - Sistema com fonte de energia variável

As figuras 10 e 11, dão uma visão melhor dos conceitos contidos na figura 9.

As características de controle de uma válvula borboleta variam para cada sistema.

A faixa a que se estende o controle, depende das dimensões da válvula, da carga do sistema e da velocidade.

Face às inúmeras variáveis cada aplicação de controle deve ser analisada individualmente.

Geralmente, a faixa de controle

recomendada está compreendida entre 30 e 80°, conforme ilustra a curva de coeficiente de vazão (C_f) da figura 12.

O coeficiente de vazão (C_f) para cada valor de velocidade pode ser calculado pela expressão:

$$V = C_f \cdot \sqrt{\Delta p} = \frac{Q}{0,785 \cdot D^2}$$

onde:

V = Velocidade na tubulação

C_f = Coeficiente de vazão
 Δp = Perda de Carga na Válvula
 (= Δhv)
 D = Diâmetro da válvula
 Q = Vazão no sistema

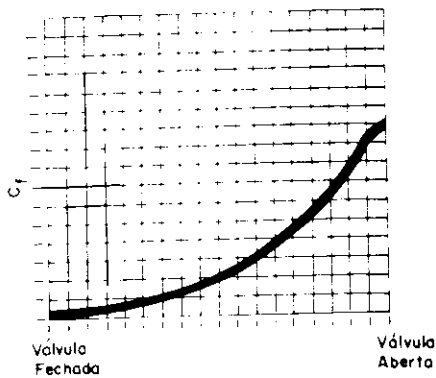


Fig. 12 – Curva de Coeficiente de Vazão (C_f)

A curva de coeficiente de fluxo é aplicável para instalações de válvulas borboleta com um mínimo de $2D$ a montante da válvula e $8D$ a jusante da válvula.

Para cada variação nas instalações de válvulas borboleta tais como, descarga de bomba, entrada de reservatório/descarga livre, entrada de reservatório/descarga em tubulação (mostradas na figura 13), existe um único conjunto de coeficientes de vazão e de torque.

3.5. RECOMENDAÇÕES PARA INSTALAÇÃO DE VÁLVULAS BORBOLETA

As válvulas borboleta podem a princípio ser instaladas em qualquer posição.

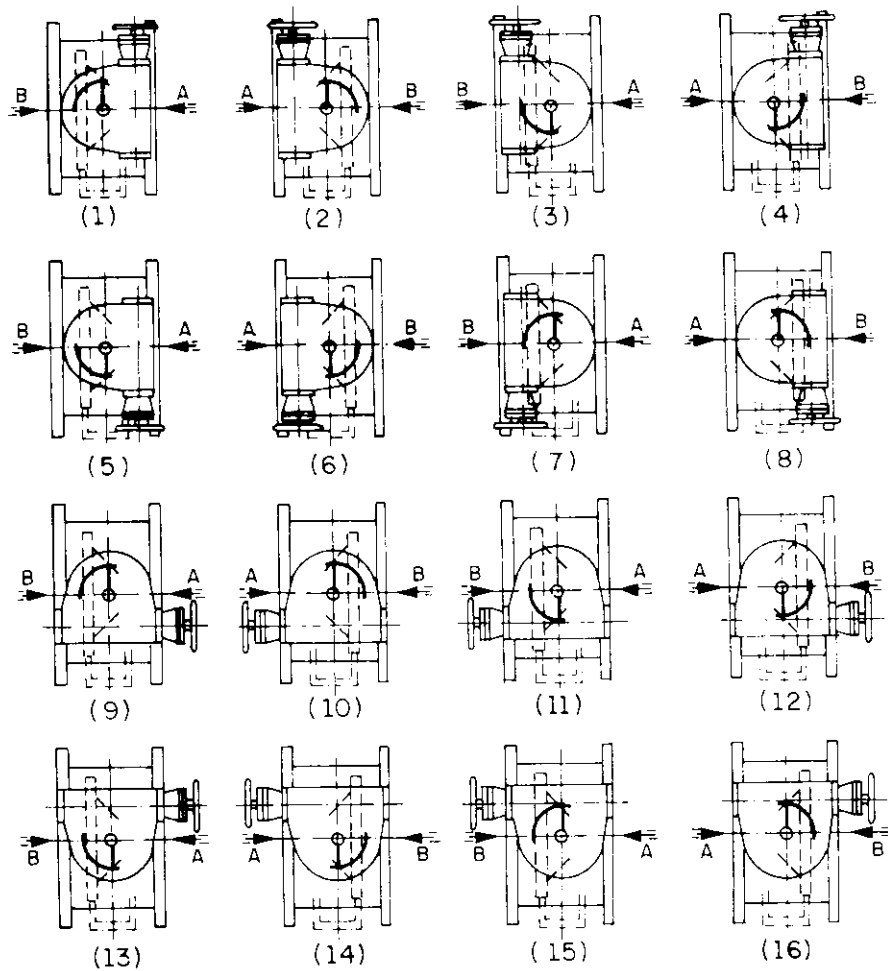


Fig. 14 – Posições possíveis de instalação de Válvulas Borboleta

Segundo recomendações no catálogo da fabricante alemã ERHARD (ref. 3) qualquer uma das posições indicadas na figura 14 é permitida. Deve-se porém evitar tanto quanto possível os tipos de instalação 9 a 16 por implicarem em custos adicionais.

Para as válvulas excêntricas entretanto, é importante se considerar a influência da posição da aplicação da pressão de shut-off na capacidade de vedação da válvula.

No mesmo catálogo citado acima, é recomendado, que para pressões de trabalho superiores a 16 kg/cm^2 , a pressão de shut-off seja aplicada do lado do eixo (direção de fluxo A), devido a que nesta posição o disco está pressionado contra a sede do corpo da válvula.

Outro aspecto importante a se levar em conta é o tipo de instalação em que a válvula borboleta será instalada, e que pode produzir efeitos significativos sobre a operação e performance das válvulas.

É o caso por exemplo de instalações em que a válvula borboleta está instalada próxima a componentes que induzam um perfil não simétrico de velocidade, como é o caso de curvas e bombas.

Esta não simetria pode resultar em um torque fluidodinâmico com magnitude o dobro do verificado com instalações do tipo entrada/saída de tubulação, caso o eixo da válvula não seja adequadamente orientado.

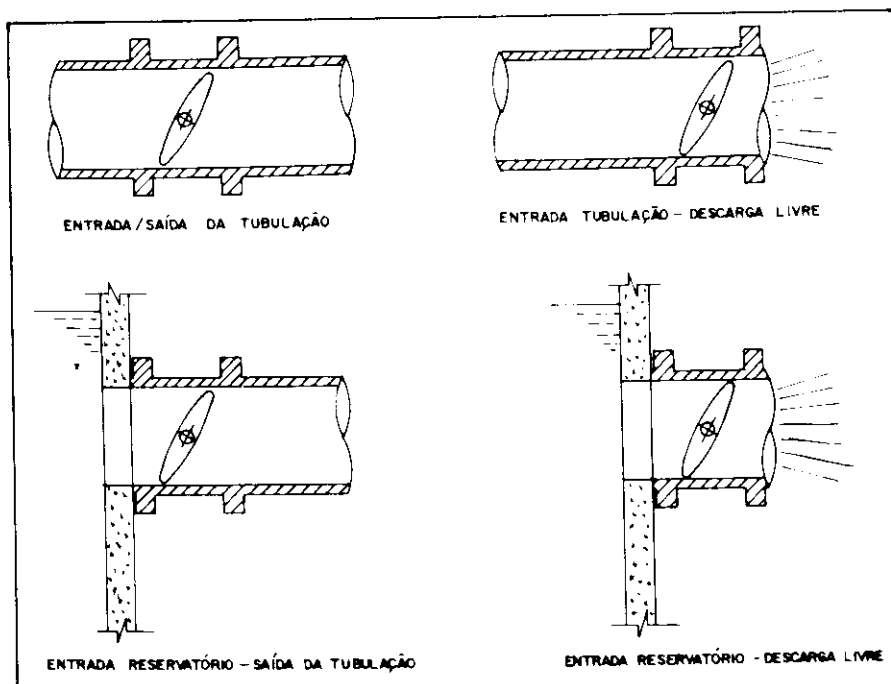


Fig. 13 – Aplicações típicas de Válvula Borboleta

Conforme mostrado na figura 15, para certos tipos de bombas centrífugas, existe uma assimetria no perfil de velocidade nas proximidades do local de descarga. Neste caso, o fluxo atingirá o disco de tal maneira a aumentar grandemente o torque da válvula; além disso, neste tipo de instalação, a válvula borboleta é altamente suscetível a batimentos e vibrações.

É recomendável portanto que o eixo de rotação da válvula seja orientado de maneira que o fluxo assimétrico atinja o disco simetricamente em relação ao eixo.

Deste modo a válvula borboleta deverá ter seu eixo orientado:

a) Na vertical, quando próxima à bomba centrífuga de eixo horizontal. (figura 16).

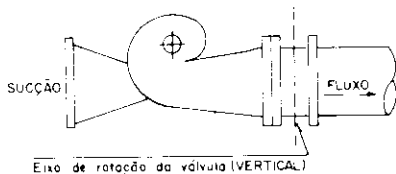


Fig. 16 – Eixo de rotação da válvula (VERTICAL)

b) Na horizontal, quando próxima à bomba centrífuga de eixo vertical. (figura 17).

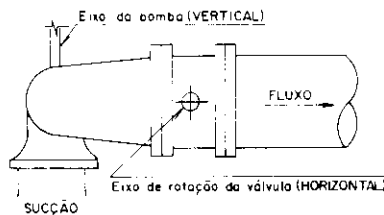


Fig. 17

c) Na vertical, quando próxima a descarga de bomba de elevação vertical (figura 18).

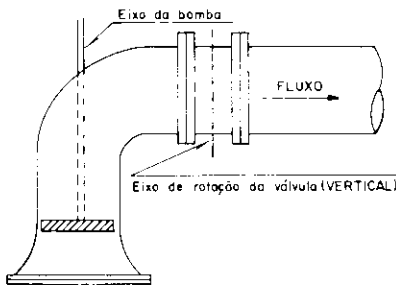


Fig. 18

d) Na vertical, quando à jusante de curva (figura 19).

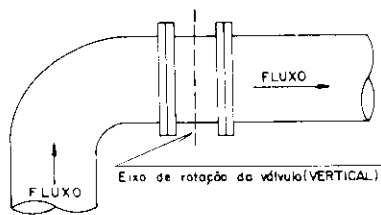


Fig. 19

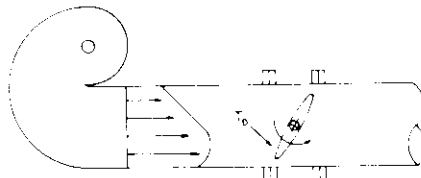


Fig. 15 -- Instalação incorreta do eixo de rotação da válvula

3.6. CAVITAÇÃO

A maior preocupação com relação a aplicações de estrangulamentos é a cavitação.

Caso ocorra uma excessiva queda de pressão para uma posição estrangulada do disco da válvula borboleta, poderá haver cavitação.

A cavitação ocorre quando a pressão em algum ponto do fluxo de água cai abaixo da pressão de vapor da água, que é aproximadamente 0,5 psis (~ 0,35 m.ca) para temperaturas normais.

Os seguintes limites (estes variam levemente dependendo das condições locais) podem causar cavitação:

$$C = \frac{2g (H_2 + 33)}{V^2 + 2g \Delta H}$$

Ocorre cavitação quando

$$C = C_{cr} \leq 1,0 \text{ a } 2,5$$

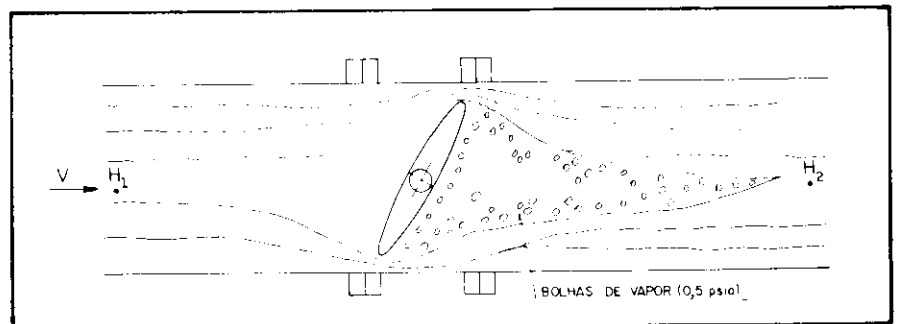


Fig. 20 – Água vaporizada forma um volume de formato cônico a jusante do Disco da Válvula

Como a energia de pressão é recuperada e sobe acima da pressão de vapor da água, as bolhas de cavitação implodem. Esta implosão, dependendo do ângulo da válvula, pode ocorrer do lado de jusante do corpo da válvula ou jusante da borda do disco.

Pesquisas têm demonstrado que pressões equivalentes a 100.000 psi (~ 7.000 Kg/cm²), e maiores ocorrem quando as bolhas de vapor implodem. Se isso acontecer na superfície do metal da estrutura da válvula haverá fadiga e erosão dessas superfícies.

Caso esta situação ocorra por períodos prolongados de tempo, ocorre-

onde:

C = Constante de cavitação, adimensional.

C_{cr} = 1,0 a 2,5. Se $C \leq 1,0$, efeitos sérios de cavitação podem ocorrer (Testes de H. Bleuler, Escher – Wyss, Ltda, Switzerland).

g = Constante gravitacional, 32, 17 ft/sec² (9,8 m/s²).

H_1 = Carga de montante, pés de água.

H_2 = Carga de jusante, pés de água.

ΔH = $H_1 - H_2$ = Perda de Carga através da válvula, pés de água.

V = Velocidade, pés/sec.

V_{cr} = Velocidade Crítica, quando $C = C_{cr} = 1,0$.

Em aplicações de válvula borboleta, a porção de água contendo "vapor", forma um volume de formato cônico a jusante do disco da válvula (fig. 20).

rá um enfraquecimento estrutural dos componentes metálicos.

Além dos problemas de erosão do metal, a implosão destas bolhas de vapor pode originar choques hidráulicos excessivos na tubulação.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Revista Water & Sewage Works, junho de 1978, pág. 84 a 89.
2. Norma AWWA – C-504/80.
3. Catálogo ERHARD.
4. Catálogo IBRAVE.
5. Catálogo ARAMFARPA.
6. Catálogo BARBARÁ.
7. Catálogo VANASA.
8. Abastecimento de Água, de Harold E. Babbitt e outros.
9. PNB-653/1979.