Artur Cardozo Mathias

VÁLVULAS

Industriais ■ Segurança ■ Controle

Tipos ■ Seleção ■ Dimensionamento







Artur Cardozo Mathias

VÁLVULAS

Industriais Segurança Controle

Tipos ■ Seleção ■ Dimensionamento

2ª edição - revisada e ampliada



Sumário

1 - Introdução às válvulas	9
2 - Válvulas gaveta	49
3 - Válvulas globo	75
4 - Válvulas de retenção	97
5 - Válvulas esfera	117
6 - Válvulas borboleta	149
7 - Válvulas macho	165
8 - Dimensionamento de válvulas industriais	173
9 - Segurança na operação de válvulas manuais	185
10 - Introdução às válvulas de segurança	193
11 - Válvulas de segurança e alívio	231
12 - Válvulas de alívio	253
13 - Mola - o elemento crítico	261
14 - Bocal e disco	269
15 - Válvulas de segurança e alívio piloto-operadas	279

16 - Fenômenos operacionais	293
17 - Inspeção em válvulas de segurança	305
18 - Instalação de válvulas de segurança	335
19 - Dimensionamento de válvulas de segurança e/ou alívio	363
20 - Introdução às válvulas de controle automáticas	403
21 - Características de vazão	439
22 - Atuadores	453
23 - Dimensionamento de válvulas de controle	477
24 - Ruído	503
25 - Instalação e seleção	509
26 - Cavitação e <i>flashing</i> em válvulas	515
Referências bibliográficas	537



Dimensionamento de válvulas industriais

O dimensionamento e a seleção de uma válvula para aplicações de bloqueio ou controle, independente do tipo, são baseados na taxa de fluxo requerida pelo processo e na pressão diferencial desejada. As equações de dimensionamento são utilizadas para se encontrar a capacidade de vazão da válvula através de cada modelo e bitola. Para aplicações de controle de fluxo, as válvulas de movimento linear têm sua capacidade de vazão determinada pelo curso do obturador, enquanto nas válvulas de movimento rotativo a capacidade de vazão é determinada pelo ângulo de abertura do obturador. No caso de uma válvula globo com obturador do tipo plano, a taxa de fluxo é diretamente proporcional ao seu curso de abertura. Nas válvulas de movimento rotativo, a taxa de fluxo não é proporcional ao ângulo de abertura do obturador.

Se uma válvula opera a maior parte do tempo na posição aberta, pode ser selecionada uma válvula com baixo pico de perda de pressão, minimizando a dissipação de energia, isto irá resultar numa válvula menor e com menor custo para a instalação e manutenção. Se for necessária uma válvula de controle, a faixa de coeficientes de vazão (CV) para as diferentes posições de abertura da válvula, deve se ajustar aos requerimentos da aplicação. Desta forma, uma determinada aplicação pode requerer uma válvula com baixa queda de pressão (por exemplo, para controle *on-off*), ou uma válvula que proporcione uma alta queda de pressão (controle modulante), além de outros detalhes, como por exemplo, materiais de construção para o corpo, castelo, componentes internos e superfícies de vedação, normas de construção, classes de pressão, tipo de acionamento, etc.

A função que a válvula irá exercer no processo deve ser definido antes dos cálculos de dimensionamento, ou seja, ela será uma válvula para bloquear o fluxo (aplicações *on-off*) ou será uma válvula para controlar a taxa de fluxo.

8.1 – Aplicações de bloqueio

A válvula quando deve ser selecionada somente para bloqueio, ou seja, totalmente aberta ou totalmente fechada, não deve ser dimensionada de acordo com a bitola da tubulação, podendo resultar num superdimensionamento. Primeiro: o superdimensionamento deve sempre ser evitado, pois pode causar instabilidade em aplicações de controle, além de aumentar os custos com instalação e manutenção da válvula, mesmo quando utilizada somente para bloqueio. Segundo: pode reduzir o rendimento de uma bomba, pois pode exigir um esforço maior de bombeamento.

Quando dimensionando uma válvula para propósito de bloqueio apenas, raramente é necessário calcular os requerimentos de vazão além dos valores publicados pelos fabricantes. Estas válvulas normalmente são do mesmo tamanho da tubulação e requerem a mínima queda de pressão disponível na posição totalmente aberta.

Para essas aplicações (*on-off*), a válvula deve sempre ser da mesma bitola da tubulação, principalmente para fluidos com viscosidade elevada, fluidos contendo sólidos em suspensão ou mesmo para outros como água, gases e vapores. Porém, o correto é que a tubulação seja sempre especificada após a válvula ter sido dimensionada para que ambas não fiquem sub ou superdimensionadas.

Um valor de pressão diferencial razoável para se obter o maior tamanho possível, somente para aplicações de bloqueio, normalmente utilizado é de 3 a 5 psi. Para aplicações de controle, jamais o valor máximo poderá exceder 50% da pressão de entrada. Portanto, o tamanho da válvula depende da queda de pressão através desta. Quanto maior for a queda de pressão menor será a bitola da válvula, e vice-versa.

Nas válvulas utilizadas para bloqueio, a queda de pressão é determinada através de um comprimento equivalente de tubulação.

8.2 – Aplicações de controle

Numa válvula superdimensionada, o controle da máxima taxa de fluxo requerida pelo processo pode ocorrer em 50% do curso do obturador ou até menos. Deste modo, uma pequena mudança na posição do obturador pode causar uma grande mudança na taxa de fluxo. Para uma válvula superdimensionada, uma determinada taxa de fluxo pode significar 30 ou 40% de sua capacidade de vazão efetiva. Embora esta não seja economicamente uma condição ideal para o processo, uma válvula mesmo estando superdimensionada ainda consegue atuar satisfatoriamente. Por outro lado, uma válvula subdimensionada e completamente aberta pode permitir a passagem de apenas 60% a 70% da máxima taxa de fluxo requerida pelo processo. Ambas as situações podem, e devem ser evitadas, através do correto dimensionamento da válvula, e de acordo com os requisitos da aplicação.

Tamanho da válvula	Gaveta	Globo (reta)	Retenção (portinhola)	Esfera	Borboleta	Macho
1/2"	13	3	5	15		9
3/4"	28	6	12	56		15
1"	50	12	17	100		43
1 1/2"	162	22	62	215	54	99
2"	309	47	122	338	130	191
2 1/2"	499	76	197	530	200	310
3"	719	108	283	820	300	343
4"	1278	199	519	1242	550	548
6"	3107	476	1243	3094	1950	1075
8"	5770	877	2287	5240	3250	1591
10"	9015	1370	3574	8160	5000	2159
12"	13615	2048	5340	12160	7500	3200
14"	18532	2545	7269	15102	10000	4200
16"	24205	3400	9494	20000	12500	5280
18"	30635		12506	25545	17500	5600
20"	37821		15440	32105	22000	5900
24"	54462		22234	45380	28000	11000
30"	86230		34490	71000	52443	
36"	128000		51100	102000	54650	

A tabela 8.1 apresenta valores de CV's efetivos para diferentes tipos de válvulas e podem ser utilizados como uma referência para a bitola e tipo selecionado. Estes valores podem variar um pouco entre fabricantes, devido às dimensões e ao acabamento superficial da área interna do corpo da válvula, além de sua classe de pressão. Nas classes de pressão mais elevadas, os valores de CV's são menores.

Tabela 8.1: Valores de CV's para diferentes tipos de válvulas totalmente abertas.

Outros fatores a serem considerados em aplicações de controle são: a pressão diferencial (P1-P2) ou simplesmente ΔP , além das propriedades físicas do fluido. O valor do CV resultante dessas equações deve ser comparado com os encontrados nas tabelas dos fabricantes, de acordo com a bitola da válvula somente nas de movimento linear, ou de acordo com o ângulo de abertura naquelas de movimento rotativo. Estes valores são independentes do tipo de fluido, da aplicação, seja ele líquido, gás ou vapor, pois o CV é medido com água como fluido de teste padrão. O CV selecionado deve ser imediatamente superior ao CV requerido pelo processo.

Atualmente muitos fabricantes de válvulas possuem programas de computador que fazem o dimensionamento e a seleção da válvula de acordo com a taxa de fluxo requerida pelo processo e as propriedades físicas do fluido.

8.3 – Aplicações de retenção de fluxo

Para dimensionamento de válvulas de retenção, um ponto importante a ser considerado é a velocidade de escoamento do fluido na sede da válvula. O dimensionamento de uma válvula de retenção do tipo portinhola, principalmente, através de sua velocidade de escoamento tem por objetivo limitar essa velocidade de acordo com sua bitola. Numa válvula subdimensionada, essa velocidade na região do anel sede é sempre maior que os valores recomendados, mesmo que a válvula esteja completamente aberta. Para manter essa velocidade num valor razoável, a mínima taxa de fluxo deve ser suficiente para garantir pelo menos 70% do curso total de abertura da portinhola. Para isso a mínima taxa de fluxo a montante da válvula deve ser de pelo menos 70% de sua capacidade de vazão efetiva.

O superdimensionamento também deve sempre ser evitado, pois resulta numa válvula parcialmente aberta devido à falta ou variações no volume do fluxo. O curso de abertura do disco fica reduzido,e, em aplicações de baixas pressões, a perda de carga é elevada.

Costuma se tornar ainda mais crítico, quando a válvula é instalada próxima do recalque de uma bomba, devido às oscilações no movimento do disco geradas pelo fluxo produzido pela bomba. O disco é aberto e mantido nesta posição somente pelas forças dinâmicas produzidas pelo fluxo. A força exercida pelo disco contra o anel sede e a vedação desse conjunto também é dependente da pressão e do volume do fluido, além das próprias condições das superfícies de vedação dessas peças.

O tamanho mais adequado é aquele que permite a mínima velocidade de escoamento para manter a portinhola aberta. Uma velocidade de escoamento abaixo da mínima recomendada significa que a válvula está superdimensionada e acima significa subdimensionada. Ambas as situações devem sempre ser evitadas, pois podem causar erosão no corpo e internos da válvula e na tubulação a jusante, além de causar desgastes e batimentos (*chattering*) nas sedes, respectivamente.

Para isto a mínima velocidade de escoamento na tubulação a montante de uma válvula do tipo portinhola simples recomendada por alguns fabricantes não deve ser inferior a 75 \sqrt{v} . Sendo que \sqrt{v} é a raiz quadrada do volume específico da água ou vapor saturado, de acordo com as tabelas 8.3 e 8.4, respectivamente. Para as válvulas *tilting disc,* a mínima velocidade do fluxo recomendada na tubulação a montante é de 24 \sqrt{v} . A mínima velocidade para abrir a válvula deve ser de 135 \sqrt{v} , porém, pode ser que seja necessário instalar a válvula com bitola menor que a tubulação.

Tamanho da	Classes de pressão					
válvula	150	300	600	900	1500	
1 1/2'	1,6	1,6	1,6	1,8	1,5	
2"	3,1	2,9	3,1	3,1	2,8	
2 1/2"	4,9	4,9	4,9	4,9	4	
3"	7,1	7,1	7,1	6,5	6	
4"	11,9	11,9	11,9	11,8	10,3	
6"	28,3	28,3	28,3	26	22,6	
8"	50,3	50,3	48,6	44,2	38,5	
10"	76,5	76,5	74,7	69	60,1	
12"	113,1	113,1	108,4	98,2	84,5	
14"	137,9	137,9	130,1	117,9	101,5	
16"	182,7	182,7	170,9	153,94	132,7	
18"	233,7	233,7	213,8	194,9		
20"	283,5	283,5	261,6	240,53		
24"	415,5	415,5	380,1	346,4		
30"	660,5	660,5	590,9			
36"	938,1	938,1	851,7			

Tabela 8.2 Área de passagem (em pol²) das válvulas para o cálculo da velocidade de escoamento.

$\sqrt{ m V}$ Vapor d'água (tubulação de saída)								
Pressão	Temperatura em °F							
em psig	Saturação	500	600	700	800	900	1000	1100
100	1,97	2,2	2,32	2,44	2,54	2,64	2,74	2,84
200	1,46	1,61	1,68	1,77	1,85	1,95	2	2,07
300	1,21	1,30	1,38	1,46	1,52	1,6	1,65	1,71
400	1,06	1,11	1,19	1,26	1,32	1,38	1,43	1,47
500	0,95	0,979	1,06	1,12	1,18	1,23	1,28	1,33
600	0,865	0,895	0,96	1,02	1,08	1,13	1,17	1,22
700	0,801	-	0,88	0,941	0,994	1,04	1,08	1,12
800	0,747	-	0,815	0,875	0,926	0,972	1,01	1,05
900	0,701	-	0,759	0,821	0,87	0,914	0,955	0,99
1000	0,662	-	0,71	0,773	0,816	0,865	0,917	0,94
1100	0,628	-	0,71	0,773	0,816	0,865	0,917	0,94
1200	0,598	-	0,629	0,695	0,745	0,785	0,813	0,86
1300	0,57	-	0,59	0,662	0,71	0,752	0,789	0,83
1400	0,545	-	0,559	0,633	0,683	0,723	0,752	0,79
1600	-	-	-	0,58	0,63	0,67	0,7	0,74
1800	-	-	-	0,54	0,59	0,63	0,66	0,69
2000	-	-	-	0,5	0,55	0,59	0,62	0,65
2500	-	-	-	0,41	0,48	0,52	0,55	0,58
3000	-	-	-	0,31	0,42	0,46	0,49	0,52
4000	-	-	-	0,17	0,32	0,38	0,42	0,44
5000	-	-	-	0,16	0,24	0,32	0,36	0,39
6000	-	-	-	0,16	0,19	0,28	0,32	0,35

Tabela 8.4 Resultado da raiz quadrada do volume específico do vapor d'água saturado de acordo com a temperatura de operação (Pacific Valves)

√V Água (tubulação de saída)						
	Temperatura em °F					
Todas as pressões	100	200	300	400	500	600
	0,127	0,129	0,132	0,137	0,143	0,154

Tabela 8.3 Resultado da raiz quadrada do volume específico da água de acordo com a temperatura de operação (Pacific Valves)

A posição totalmente aberta para uma válvula de retenção é sempre necessária para que ela possa operar corretamente e evitar desgastes prematuros dos componentes internos, porém, para as válvulas de retenção do tipo globo essas podem operar com menores taxas de fluxo. Mesmo assim uma velocidade mínima de $12 \sqrt{v}$ e na mínima taxa de fluxo deve ser mantida. A velocidade mínima para manter uma válvula de retenção do tipo globo totalmente aberta também depende da geometria do corpo para a área de passagem do fluxo, isto é, se ela é do tipo reta, do tipo Y ou do tipo angular:

Assim: do tipo reta, a velocidade mínima deve ser 32 \sqrt{v} ; dos tipos angular e Y, deve ser 113 \sqrt{v} .

8.4 – Equações de dimensionamento

As equações de dimensionamento são utilizadas para se encontrar o valor do coeficiente de fluxo (CV) da válvula. Independente do tipo de válvula selecionada, a equação é a mesma, seja ela gaveta, globo, esfera, borboleta ou macho. Porém, como a geometria da área de passagem dessas válvulas é diferente, o CV resulante terá um valor diferente, consequentemente, a bitola selecionada não será a mesma. Para exemplificar de forma prática, uma válvula esfera de 6" instalada no dreno de um tanque de aproximadamente 1000 litros, permitiria que este tanque fosse drenado completamente em aproximadamente 20 segundos, (se o fluido fosse água) enquanto se no mesmo local fosse instalada uma válvula do tipo globo (e na mesma bitola e com o mesmo fluido) aquela drenagem demoraria mais de 2 minutos. Assim, fazendo-se uma rápida comparação entre ambos os modelos, a capacidade de vazão de uma válvula globo será sempre muito menor do que a de uma válvula gaveta para a mesma bitola e mesmas condições operacionais. A equação correta deve ser selecionada de acordo com o tipo do fluido, se ele é água, gás, vapor d'água saturado ou superaquecido.

As equações 8.1 a 8.11 são utilizadas para o dimensionamento de válvulas gaveta, globo, esfera, borboleta, macho e retenção. Estas equações são para condições de fluxo subcrítico nas quais a pressão de saída é igual ou menor que 50% da pressão absoluta na entrada da válvula.

12

Válvulas de alívio

As válvulas de alívio internamente são muito semelhantes às de segurança e são utilizadas em aplicações com fluidos incompressíveis (líquidos). Essas válvulas podem ser dimensionadas para 10% ou 25% de sobrepressão. Devem obrigatoriamente ser dimensionadas para 10% quando protegendo vasos de pressão construídos conforme ASME, Seção VIII. Esse tipo de válvula, em algumas versões, possui internos especialmente projetados para o alívio de fluidos não compressíveis ou fluidos bifásicos.

São dimensionadas para 25% de sobrepressão somente em aplicações de alívio térmico ou em recalques de bombas. Uma válvula de segurança e/ou alívio de projeto convencional só pode ser especificada para líquidos quando não há exigência quanto à certificação de sua capacidade de vazão e à sobrepressão máxima permitida.

Assim, a válvula de alívio é um dispositivo automático de alívio de pressão utilizado para serviços com líquidos (figura 12.1), que não necessariamente vaporizam quando descarregados através da válvula. Esse tipo de válvula normalmente utiliza um castelo e capuz completamente fechados e vedados, para serem adotados em sistemas de descarga fechados ou mesmo em sistemas abertos.

As válvulas de alívio operando em serviço com líquido atuam de forma diferente daquelas de segurança e/ou alívio que atuam com fluidos compressíveis. Nas de alívio não há expansão do volume do fluido para causar a ação pop. Um leve aumento no curso de elevação do disco produz uma rápida redução na pressão devido à relativa incompressibilidade dos líquidos. Portanto, ela abre proporcionalmente à sobrepressão do sistema e acima da pressão de ajuste. Com esse tipo de fluido, a característica de abertura da válvula é do tipo modulante, ou seja, o curso de elevação do disco irá subir mais ou descer de acordo com a demanda do processo enquanto o disco estiver afastado do bocal. Esta característica também permite um aumento gradual da velocidade de escoamento do líquido dentro da garganta do bocal durante o processo de alívio pela válvula.

As forças que atuam embaixo do suporte do disco das válvulas de alívio também são diferentes quando comparadas com as de segurança e alívio. Somente enquanto a válvula estiver fechada, as forças exercidas pela pressão do processo na área de vedação efetiva do disco e bocal serão as mesmas exercidas numa válvula de segurança para serviço com gás ou vapor. Após a pressão de ajuste ser alcançada, as forças dinâmicas exercidas pela pressão do fluido embaixo do suporte do disco serão completamente diferentes. Sendo que esta força e o valor da sobrepressão são proporcionais ao volume do fluido sendo descarregado pelo bocal da válvula.

No momento do fechamento, a sobrepressão é reduzida, com isto, as forças exercidas pelo líquido na face do suporte do disco são gradualmente reduzidas. Essa redução gradual na sobrepressão e nas forças atuando na face inferior do suporte do disco aumentam proporcionalmente a força exercida pela mola sobre o disco de vedação até o fechamento completo da válvula de alívio.

A abertura proporcional das válvulas de alívio ocorre porque a área onde o líquido atua após a pressão de ajuste ter sido alcançada não é alterada pelo curso de elevação do disco. Nos fluidos compressíveis, essa área é alterada pelo posicionamento do anel inferior.

Normalmente não possuem alavanca de acionamento e nem anel do bocal. A alavanca só será obrigatória se a temperatura do líquido for superior a 60°C e a válvula estiver protegendo um vaso de pressão construído conforme ASME VIII. Para tubulações e recalques de bombas, o uso da alavanca é facultativo.

Existem modelos que possuem internos especiais para o alívio de líquidos em que o perfil da face inferior do suporte do disco é projetado de tal forma que o escoamento do fluido tem uma característica de vazão diferente dos projetos convencionais. O fluxo tem menor resistência ao escoamento, com consequente aumento de velocidade e queda de pressão mais rápida (alto coeficiente de descarga), reduzindo a sobrepressão necessária para que o curso máximo de elevação do disco seja alcançado. Esse projeto reduz os efeitos erosivos do fluido em escoamento durante o processo de alívio pela válvula.

Antes da existência desses internos especiais, a mesma válvula utilizada para vapor era também utilizada para líquidos, porém, o curso máximo de abertura e sua capacidade máxima de vazão eram alcançados somente com 25% de sobrepressão. Uma válvula de segurança e/ou alívio com o suporte do disco convencional, quando utilizada em serviços com líquidos, tem uma sobrepressão no valor de 25%. Essa capacidade é proporcional ao curso de abertura do disco. A principal diferença está no perfil do suporte do disco que fica exposto ao escoamento do fluido como será explicado a seguir no parágrafo 12.1. O código ASME certifica válvulas de alívio para serviços com líquidos cuja sobrepressão é de 10%, mas somente quando aplicadas em vasos de pressão construídos conforme a Seção VIII deste código.

A tentativa de se utilizar uma válvula de segurança e/ou alívio com internos convencionais para operar com líquidos, a 10% de sobrepressão, resultará sempre numa válvula com orifício maior.

Para reduzir a sobrepressão para atender ao ASME em 10% desta, o tamanho do orifício do bocal deve ser aumentado, resultando numa válvula maior, mais pesada e mais cara e, consequentemente, em maiores perdas de produto durante a descarga. Além de um custo maior para a instalação e manutenção. Com uma sobrepressão de 10%, esse interno permite apenas o escoamento de 60% de sua capacidade de vazão efetiva. A sobrepressão maior possibilita ao disco alcançar o curso máximo e compensar as perdas de pressão causadas durante a abertura, devido ao estado físico do fluido.

A capacidade de vazão da válvula é afetada pelo curso de elevação do disco para valores de sobrepressão iguais ou inferiores a 25%. Para valores acima de 25%, a capacidade de vazão é afetada somente por mudanças no valor da sobrepressão, não sendo mais influenciada por mudanças naquele curso de elevação.

O curso de abertura de uma válvula de alívio é sempre proporcional ao aumento de pressão do sistema, acima da de ajuste. Assim, após a capacidade máxima de vazão requerida pelo processo ser alcançada, a partir deste ponto nenhum aumento na pressão do vaso será observado.

A única forma dinâmica de estabelecer o ponto de ajuste de uma válvula de alívio operando com líquido é o levantamento físico proporcional do disco, sendo que o anel inferior não tem nenhuma influência sobre a pressão de abertura e curso de elevação do disco. A definição da pressão de ajuste também é diferente, pois não existe a ação *pop*, portanto, esta definição é dada pela primeira corrente de fluxo constante através da válvula. Existem fabricantes que definem esta pressão de ajuste como sendo uma corrente de fluxo ininterrupta, comparada ao diâmetro de uma caneta.

Por exemplo, uma válvula de alívio que foi testada na bancada com ar comprimido ou N_2 , quando instalada no processo, pode alcançar a pressão de ajuste num valor mais alto. Isto ocorre porque a definição do ponto de ajuste de ambos os tipos de fluidos é diferente, ou seja, nos líquidos, o curso de abertura do disco deve ser ainda mais elevado para que seja definido o verdadeiro ponto de ajuste da mola. A natureza não compressível dos líquidos, além dos diferentes ajustes para o anel do bocal, pequenas diferenças entre manômetros, etc., impedem que o mesmo ajuste de bancada (com ar ou N_2) tenha o mesmo valor de quando a válvula abre no processo (com líquido). Por esta razão, o Código ASME, Seção VIII exige que as válvulas utilizadas com líquidos sejam testadas com água numa bancada.

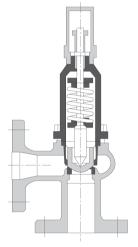


Figura 12.1 – Válvula de alívio para serviços com líquidos (Cortesia: W. Burger)

Quando o processo exigir poderá ser utilizada a válvula de alívio com o corpo encamisado para ocorrer a transferência de calor, seja para manter a viscosidade do fluido num determinado valor ou evitar seu congelamento. A camisa de vapor impede a solidificação do fluido que pode ser perigosa para o sistema (processo), tornando a válvula inoperante. O aquecimento do corpo da válvula permite o escoamento normal do fluxo quando é atingida a pressão de abertura.

Como a densidade dos líquidos é maior do que a dos gases e vapores, o diferencial de alívio pode chegar a 20% naquelas que não possuem internos especiais. Para que a válvula possa operar corretamente, o diferencial de pressão entre a pressão de operação e a de ajuste deve permitir esse diferencial de alívio. Por serem projetadas para o alívio somente de líquidos, as conexões de entrada e saída possuem a mesma bitola.

Para líquidos, o código ASME, Seção VIII, não faz qualquer exigência de valores para o diferencial de alívio quando a válvula não possui recursos para controlar a pressão de fechamento. As válvulas de alívio com 25% de sobrepressão para líquidos não são certificadas por este código.

12.1 – Internos especiais para líquidos

Esses internos (figura 12.2) foram desenvolvidos e introduzidos em válvulas de segurança e alívio a partir de 1978, para que elas pudessem ter um desempenho operacional melhor na relação entre pressão de ajuste, curso de abertura do disco e capacidade de vazão, em relação ao tipo de fluido, facilitando o escoamento de líquidos. Com esse tipo de interno específico é possível um aumento na capacidade de vazão da válvula, diretamente proporcional ao curso de abertura do disco.

Esses internos devem ser especificados para aplicações que envolvem líquidos aquecidos, como por exemplo, uma tubulação operando com água em estado de evaporação ou gases em estado líquido que quando são aliviados pela válvula, evaporam criando uma câmara de gás.

Os internos específicos para o escoamento de líquidos permitem que a capacidade nominal da válvula seja alcançada com somente 10% de sobrepressão, comparando-se com os projetos convencionais. Esses internos foram desenvolvidos para atender às exigências de certificação de capacidade de vazão a 10% de sobrepressão. Este valor de sobrepressão para líquidos é uma exigência do código ASME, desde janeiro de 1985.

As válvulas para aplicações com líquidos e com esse tipo de internos devem ser utilizadas quando é requerida a certificação da capacidade de vazão a 10% de sobrepressão, como por exemplo, vasos de pressão construídos conforme ASME, Seção VIII, divisão 1.

Esses internos caracterizados para o escoamento de líquidos proporcionam uma relação entre curso e vazão de 30% maior que as válvulas convencionais, resultando numa válvula com orifício de vazão menor, reduzindo os custos com instalação e manutenção. Eles provocam um aumento na dissipação hidrodinâmica no escoamento de líquidos quando comparados com os internos de projetos convencionais. Trocando-se somente o suporte do disco é possível obter uma capacidade maior de vazão, para o mesmo orifício que utiliza um suporte convencional, desde que a válvula seja do mesmo fabricante e mesmo modelo.

Outro ponto importante quando se compara esses dois projetos é que tanto no convencional, para 25% de sobrepressão, quanto no específico para líquidos a 10%, o anel inferior não tem influência sobre o diferencial de alívio da válvula, quando a temperatura é inferior a 100°C e a descarga ocorre diretamente para a atmosfera. Sob estas condições, este anel deve ficar na posição mais baixa possível. Quando a válvula está operando com fluidos bifásicos, o anel inferior auxilia no controle do diferencial de alívio, pois pode alterar a geometria da área formada dentro da câmara de força em conjunto com aquele perfil de acordo com cada aplicação, em função da densidade e expansão do fluido. Esta densidade pode ser alterada no momento em que a pressão de ajuste é alcançada e começa a atuar dentro da câmara de força, que está exposta à pressão atmosférica, e também pelo espaço ocupado pela fase gasosa, que pode ser alterado pela posição daquele anel.

Nas válvulas que possuem esse tipo de internos, a câmara de força formada, causa uma dinâmica no escoamento do fluxo diferente do que normalmente se encontra nas válvulas de segurança e alívio de projetos convencionais utilizadas para gases e vapores.

O líquido não se expande quando escoando através do bocal, desta forma, não há ação pop, e uma pequena elevação no curso do disco gera uma grande queda na pressão do sistema, consequentemente, causando a ação de fechamento na força da mola. Isto impede que a pressão seja desenvolvida na câmara de força logo em seguida, em função do líquido ser um fluido incompressível. Mesmo não havendo aumento de volume dos líquidos após a descarga através da válvula, a conexão de descarga é maior que a conexão de entrada.

Essas são válvulas de segurança e alívio modificadas, para serem utilizadas com líquidos, até mesmo aqueles que possam vaporizar no momento do alívio. Dependendo da temperatura do líquido este pode vaporizar quando a pressão é reduzida após a abertura da válvula de alívio, causando um aumento de volume que deverá ser compensado pelo flange e tubulação de saída da válvula. Por exemplo, quando a válvula alivia água quente, se, na pressão de ajuste (independente do valor), sua temperatura estiver em 100 °C ou mais, ocorrerá sua vaporização instantânea se o alívio for feito na pressão atmosférica (fluxo bifásico), devido à alta queda de pressão nesse momento. Prevendo-se esta possibilidade, a válvula selecionada deverá ser do tipo segurança e alívio, portanto, também com anel inferior, porém, com suporte do disco apropriado para o escoamento de líquidos e fluidos bifásicos. Esse tipo de interno tem a vantagem de proporcionar uma operação mais estável da válvula.

O perfil do suporte do disco permite um aumento no curso de abertura do disco e taxa de fluxo através do bocal, reduzindo a sobrepressão na entrada da válvula. Ele reduz a perda de carga durante o

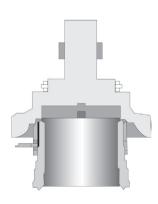


Figura 12.2 – Suporte do disco desenvolvido para o alívio de líquidos (Cortesia: Hiter & Crosby do Brasil)

escoamento do fluxo em comparação com uma válvula cujo perfil do suporte do disco tem o projeto convencional. A abertura inicial da válvula ocorre pelo escoamento radial do líquido entre as superfícies de vedação do disco e bocal. A força de levantamento desenvolvida pela pressão do líquido na face do suporte do disco ocorre nos primeiros 4% de sobrepressão. O início do curso total é atingido quando a pressão dentro do vaso alcança de 3% a 5% acima do ponto de ajuste. Essa geometria permite melhor escoamento do líquido, minimiza a vazão inicial, impedindo o *chattering* ou o *simmering*.

Esses internos também podem ser utilizados nas aplicações em que são exigidas a válvula convencional ou balanceada. E, se utilizado para fluidos compressíveis, o diferencial de alívio será mais longo se tiver o mesmo posicionamento do anel inferior para líquidos. Quando utilizado para fluxo bifásico, tem um desempenho operacional melhor que os modelos convencionais, porém, o diferencial de alívio

poderá ser um pouco mais longo devido à fase vapor do fluido, cujo escoamento é comprometido pela fase líquida. Quando atuando com fluido compressível ou bifásico, o posicionamento do anel inferior interfere de forma positiva no ciclo operacional da válvula. As válvulas com perfil do suporte do disco projetado especialmente para o alívio de líquidos são muito apropriadas para vasos que são protegidos por apenas uma única válvula, e esta é ajustada na PMTP. Assim, o valor de sua pressão de ajuste somada à sobrepressão necessária, para que seja atingida a capacidade máxima de vazão, coincidem com a acumulação permitida pelo código ASME, Seção VIII, sem expor o vaso a uma pressão de acúmulo maior.

O gráfico que aparece na figura 12.3 mostra o comportamento operacional de uma válvula de alívio operando com líquidos e que utiliza esse tipo de internos.

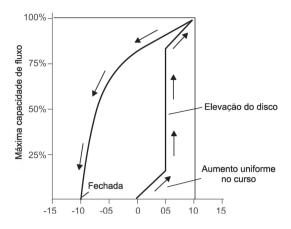


Figura 12.3 – Ciclo operacional de uma válvula de alívio com internos especiais para líquido (Cortesia: Hiter & Crosby do Brasil)

12.2 – Válvulas para alívio térmico

As válvulas miniaturizadas são muito utilizadas onde uma pequena capacidade de vazão é requerida, tanto para vapor d'água, quanto gases, ar comprimido e, principalmente, líquidos. Quando a válvula operando com líquido exercer a função de alívio térmico, evitará a adição de calor latente ao líquido, que é a causa do aumento de pressão.

Ela possui a conexão de saída integral ao castelo na maioria dos projetos, sendo que o castelo é normalmente fechado. O bocal é integral ao corpo, formando uma única peça, sendo conectado diretamente ao sistema através de sua rosca, que pode ser macho ou fêmea, BSP (paralela) ou NPT (cônica), dependendo da pressão, temperatura e tipo de fluido. Essas conexões também podem ser flangeadas, e a classe de pressão depende da pressão de alívio e da temperatura do fluido. Conexões para soldagem de topo, tanto na entrada quanto na saída, também são fabricadas. Quando essas conexões são para soldagem de topo, o ponto a ser soldado fica distante das superfícies de vedação e superfícies de guia, através de tubos de extensão, evitando distorções térmicas. Quando a válvula possui vedação em elastômeros ou termoplástico (PTFE), o calor da solda não é propagado ao anel de vedação, evitando que este seja danificado.

As superfícies de vedação do bocal podem ser metálicas ou resilientes, planas ou em ângulo. Para aplicações corrosivas, diversas opções de materiais para corpo, castelo e mola são disponíveis. Para outras, onde é exigida estanqueidade absoluta, existem diversas opções de materiais resilientes de acordo com a pressão e temperatura do fluido.

Os fluidos mais voláteis tendem a ter um aumento de pressão mais rápido, portanto, a tubulação necessita ter uma válvula para alívio térmico, pois quanto maior for a volatilidade¹ do fluido, maior será a vaporização e mais rápido o aumento de pressão.

Uma sobrepressão maior resulta numa válvula menor, por esta razão são muito utilizadas em tubulações que transportam líquidos e possam ser bloqueadas em dois pontos, transformando-se num vaso de

^{1:} Volatilidade – é a facilidade que uma substância tem de passar do estado líquido para o estado vapor ou gasoso. Quanto mais volátil for um líquido, maior será a liberação de vapores e mais fácil e mais rápido o aumento de pressão.

pressão devido ao aumento de temperatura causado por fogo externo ou até mesmo pela ação do Sol. A taxa de expansão é uma função da taxa do calor que entra e das propriedades do líquido. Esse aumento de temperatura dilata o líquido sem haver mudança de estado, ou seja, o líquido não chega a vaporizar. Em tubulações de óleo expostas à radiação solar, a formação de gás pode elevar a pressão do fluido.

Alguns fluidos podem ter alto coeficiente de expansão por grau de aquecimento. Dependendo do calor irradiado, a tubulação pode se romper por falta de alívio de pressão. Sempre que a temperatura ambiente for superior a 35°C e a do fluido na tubulação for inferior a 25°C é recomendada a utilização de válvula para alívio térmico. O que causa um grande aumento na pressão dentro do vaso ou de uma tubulação bloqueada em dois pontos, isto é, dentro de um espaço confinado, é que o vaso (ou a tubulação) está 100% cheio de líquido, e este não sendo compressível, não tem para onde expandir. Quando a válvula de alívio térmico abre, ela descarrega uma pequena quantidade de líquido, reduzindo o nível deste dentro do vaso, criando assim um pequeno, mas definitivo espaço vapor. Assim, este pequeno espaço vapor pode atuar como uma "almofada", não existindo mais uma situação para alívio térmico. Quando somente exposta à luz solar, uma tubulação pode alcançar uma temperatura de 60 a 70°C, podendo chegar a 80°C dependendo da região. Nestes casos, a temperatura vinda da atmosfera pode aumentar a temperatura do fluido dentro do vaso ou da tubulação, na qual aumenta seu volume e, portanto, essa expansão necessita ser aliviada. Quando um vaso de pressão que estiver cheio de líquido e puder ser bloqueado e o calor de entrada não puder ser evitado, como aquele transmitido pela radiação solar, deve ser instalado um dispositivo de alívio de pressão para sua proteção.

Normalmente, para essas aplicações, são utilizadas pequenas válvulas roscadas, como as de ³/₄" x 1", por exemplo, pois uma pequena vazão da válvula causa uma grande queda na pressão do sistema, pois o líquido praticamente não altera seu volume quando submetido à pressão (apenas à temperatura). A especificação dessas válvulas, quando para alívio térmico apenas, não necessita de cálculos de dimensionamento, conforme o API, Std. 521, no parágrafo 3.14.2.

Sendo que este valor (25% de sobrepressão) não é exigido pelas normas, mas comumente utilizado na prática, ele permite a seleção de uma válvula de alívio com menor orifício do bocal, reduzindo o custo final com a válvula e a instalação.

Nos casos em que a tubulação for muito longa, sem isolamento térmico, instaladas acima da superfície da terra e o volume do líquido for considerável, por exemplo, maior que 10" de diâmetro e 800 metros de comprimento, uma avaliação completa do sistema e um cálculo da área mínima requerida poderão ser necessários, podendo resultar numa válvula com orifício maior que aquele de uma válvula com bitola de 3/4" x 1". Grandes vasos de pressão, além de trocadores de calor cheios de líquido, também podem necessitar de válvulas dimensionadas para estas aplicações.

Para aumentar o volume de um líquido e transformá-lo em vapor, quanto menor for a pressão do líquido, menor também deverá ser a fonte de calor para que o volume do líquido seja elevado e vaporizado. Para líquidos já pressurizados, o aumento de volume e a vaporização destes necessitam de uma fonte maior de calor. O aquecimento do líquido aumenta a quantidade que pode ser vaporizada quando o líquido flui pela válvula e a descarga desta ocorre para a atmosfera em temperaturas superiores a 100°C.

Para aplicações em plantas de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), é obrigatória a instalação de válvulas de alívio sempre que uma tubulação precisa ser bloqueada em dois pontos. O peróxido de hidrogênio tem a particularidade de estar permanentemente em decomposição natural. Para uma concentração de 50%, a 20°C, ele se decompõe e libera 300 ml/hr de oxigênio para cada mil litros de volume, aumentando a pressão dentro da tubulação. Nesta decomposição, ele produz, além de oxigênio, água e calor. O calor evapora a água e gera mais pressão, sendo este aumento de pressão infinito ou limitado pela válvula de alívio.

Para esses tipos de aplicações (alívio térmico apenas), não é requerida a certificação da capacidade de vazão da válvula a 10% de sobrepressão.

Os fluidos compressíveis se expandem mais rapidamente do que os líquidos, porém, essa expansão reduz o volume em função do aumento de pressão. Nos líquidos a expansão ocorre por aumento de temperatura, mas sem redução de volume.

Comparando com os líquidos, os fluidos compressíveis têm um aumento de pressão mais lento devido à redução de volume compensar o aumento de pressão. Essa característica faz com que a pressão nos líqui-

dos seja elevada mais rapidamente com o aumento de volume que ocorre quando aumenta a temperatura. Essa característica dos líquidos de serem incompressíveis também faz com que a pressão seja reduzida mais rapidamente por não haver redução de volume para compensar as perdas de energia durante o aumento de pressão devido ao curso de elevação do disco.

O diferencial de alívio dessas válvulas normalmente é fixo e pode ser determinado pela usinagem do perfil do disco e conjunto guia, além da densidade e volume do fluido em relação à capacidade de vazão efetiva da válvula, nos diâmetros menores. Ele pode ser controlado através de um anel ajustável nos diâmetros maiores. Essas características construtivas variam de acordo com o modelo e projeto de cada fabricante.



Figura 12.4 – Válvula utilizada para alívio térmico (Cortesia: Hiter & Crosby do Brasil)

A figura 12.4 mostra uma válvula que pode ser utilizada tanto para alívio térmico quanto para vasos de pequeno volume.

Essas válvulas são fabricadas em bitolas desde ½" x ¾" até 1½" x 2½" com áreas de passagem do bocal desde 0,074 pol² até 0,503 pol² com pressões de ajuste entre 15 a 5000 psig (1,05 a 351,5 kgf/cm²) para todos os fluidos (líquidos, gases e vapores) com sedes metálicas, com exceção do vapor d'água, cuja pressão de ajuste é limitada a 1000 psig (70,3 kgf/cm²). Com sede macia, a pressão de ajuste deve ser limitada a 2500 psig (175,77 kgf/cm²). Para sedes em PTFE, a pressão de ajuste mínima deve ser de 100 psig (7,03 kfg/cm²). A mínima pressão de ajuste, dependendo do projeto de cada fabricante pode chegar a 5 psig (0,35 kgf/cm²).

A temperatura operacional deve ficar entre -450°F (-268°C) a 750°F (399°C) para sedes em metal ou 500°F (260°C) para sedes em PTFE. Para os elastômeros disponíveis, o fabricante deve ser consultado quanto aos limites de aplicações, pressão e temperatura de acordo com o orifício selecionado.

A mola dessas válvulas pode ser construída em aço inox AISI 302 ou 17.7 PH.

Esse tipo de válvula de segurança e alívio só deve ser utilizado para aplicações conforme o código ASME, Seção VIII, divisão 1, em vasos de pressão de pequeno volume cuja capacidade de vazão requerida é atendida pelos orifícios disponíveis, para alívio térmico ou como válvula sentinela na saída de turbinas. Não sendo permitido seu uso em caldeiras conforme o código ASME, Seção I.

12.3 – Válvula de alívio e vácuo

Quando a pressão de operação dentro do vaso for superior a 15 psig (1,05 kfg/cm²) utilizam-se as válvulas de segurança e/ou alívio. Se igual ou inferior a 15 psig utilizam-se válvulas de alívio e vácuo ajustadas com pressões negativas pré-estabelecidas. No caso de um tanque que possa operar sujeito a vácuo, a função da válvula de alívio é permitir a equalização de sua pressão interna com a pressão atmosférica, evitando assim o seu colapso.

Enquanto as válvulas de segurança e/ou alívio comentadas até aqui são utilizadas para pressões positivas e permitem que o fluxo seja aliviado para fora do vaso, as de alívio e vácuo são utilizadas para pressões negativas e permitem a entrada da pressão atmosférica no tanque. A pressão atmosférica ao nível do mar é equivalente a 14,696 psia (1,033 kfg/cm²).

Em tanques de alimentação de água para caldeiras ou qualquer outro equipamento em que a pressão interna possa oscilar entre o vácuo e uma pressão superior à atmosférica, obrigatoriamente deve haver uma válvula para alívio de pressão e vácuo (figura 12.5) ou duas válvulas separadas. Sendo uma de alívio para limitar o aumento da pressão positiva e uma instalada paralela a esta para limitar o aumento da pressão negativa quando há vácuo no tanque.

Outro exemplo para aplicação dessas válvulas é o dos equipamentos sujeitos a variações de temperatura e que apresentam simultaneamente variações na pressão. Assim, aqueles que operam com fluido aquecido tendem a aumentar a pressão se a temperatura for elevada, porém, se esta temperatura for reduzida, consequentemente, a pressão também será reduzida, podendo gerar vácuo. Quanto maior for a pressão e a temperatura do fluido (vapor d'água saturado, por exemplo), maior também será o vácuo produzido durante a drenagem daquele fluido. Nesse caso o vácuo ocorre devido à condensação do vapor e que transforma-o novamente em água. Essa água irá ocupar um espaço muito menor do que aquele que foi ocupado pela fase vapor. Prevendo essa possibilidade, uma válvula de alívio de pressão e vácuo deverá ser especificada e instalada.

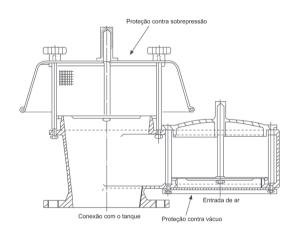


Figura 12.5 – Válvula de alívio de pressão e vácuo (Cortesia: Hiter & Crosby do Brasil)

Os tanques de estocagem contendo líquidos voláteis e um espaço vapor deverão ser protegidos não apenas de uma pressão excessiva por calor externo ou entrada de fluxo, mas também pela possibilidade de um vácuo devido à condensação do vapor. Esse tipo de válvula em algumas aplicações deve ser instalado na sucção de bombas para limitar o vácuo gerado por elas.

Nas válvulas de alívio e vácuo, o ajuste da mola deve ser feito para manter a válvula fechada e vedando, impedindo a entrada de ar no sistema, enquanto em operação normal. A entrada de ar só é permitida quando a força gerada pelo vácuo embaixo do disco for suficiente para vencer a força da mola. Enquanto nas válvulas de segurança e/ou alívio tradicionais a força exercida pela mola sobre o disco atua no sentido descendente, naquelas de alívio e vácuo a força da mola atua no sentido ascendente, ou seja, na primeira, o disco abre para cima, enquanto na outra, o disco abre para baixo. O vácuo gerado no equipamento deve ser suficiente para vencer esta força para abrir a válvula e permitir que o valor do vácuo fique limitado ou que sua pressão interna seja equalizada com a pressão atmosférica, evitando o colapso daquele equipamento.

O API-RP-2000 define as práticas recomendadas para a instalação de válvulas de alívio em tanques sujeitos a vácuo.

16

Fenômenos operacionais - Causas e soluções

O chattering, o simmering, o flutting e o hang-up são os fenômenos operacionais que ocorrem com as válvulas de segurança e alívio, prejudicando seu desempenho operacional. O chattering, o flutting, e o hang-up são os que ocorrem somente após a abertura da válvula, enquanto o simmering pode ocorrer com a válvula ainda fechada ou após a abertura, no momento do fechamento.

Abaixo, seguem as definições desses fenômenos, suas causas e possíveis soluções.

16.1 – Chattering (Batimento)

O *chattering* são sucessivos ciclos de abertura e fechamento que ocorrem em pequenos intervalos durante todo o ciclo operacional (abertura, sobrepressão e fechamento) da válvula.

No chattering, a válvula de segurança abre totalmente porque o fluido é compressível e independente da quantidade deste dentro do vaso. Quando a válvula de segurança opera com fluido compressível, o curso de abertura do disco sempre alcançará o valor máximo. Porém, quando a massa de fluxo não for suficiente para sustentar a válvula completamente aberta, esta irá abrir e fechar várias vezes contra o sentido de escoamento do fluxo até que a pressão seja reduzida. A esse fenômeno operacional é dado o nome de chattering, sendo o mais comum na indústria, principalmente no escoamento de fluidos compressíveis através de válvulas, independente do tipo (segurança, gaveta, retenção, globo, etc.).

Desta forma, o *chattering* é o movimento rápido e anormal dos componentes móveis de uma válvula de segurança e alívio em que o disco tem contato físico com o bocal durante o processo de alívio. É uma vibração muito forte que ocorre com todas as peças móveis da válvula no momento de sua abertura, pois o volume do gás ou vapor não é suficiente para manter o disco na posição aberta, e este fecha para logo em seguida abrir novamente. Isto danifica as superfícies de vedação (o impacto do disco sobre o bocal é muito forte), causa desgastes ou travamentos no sistema de guia, dependendo do diferencial de dureza entre essas peças, além de outras peças móveis.

Normalmente os apoios, superior e inferior da mola, a própria mola, a haste, o suporte do disco e o disco são corpos livres mantidos juntos somente pela força da mola através do parafuso de ajuste. Quando uma válvula de segurança e/ou alívio está sujeita a um distúrbio dinâmico, esses corpos tendem a bater e

vibrar. Isto proporciona complicados movimentos a estes componentes dependendo do relacionamento da força da mola, flexibilidade daqueles corpos e níveis de aceleração desses movimentos.

O chattering pode destruir, além das superfícies de vedação, a (s) rosca (s) do (s) anel (eis) de ajuste, causando fadiga da mola, desgaste excessivo no sistema de guia ou travamento entre esta e o eixo do suporte do disco, tornando a válvula completamente inoperante. Outra consequência pode ser o afrouxamento da porca trava do parafuso de regulagem da mola, que pode causar uma redução no valor da pressão de ajuste, além de afrouxamento do torque de aperto dos estojos e porcas dos flanges, do corpo e castelo e do capuz e castelo. Ele pode ocasionar também uma redução no torque do (s) parafuso (s) trava (s) do (s) anel (eis) de ajuste, que podem causar vazamentos, além de alterar e comprometer todo o ciclo operacional correto da válvula.

Nos líquidos é raro, mas pode ser encontrado quando: a tubulação de entrada para a válvula de alívio é muito longa e induz o líquido a altas velocidades de escoamento; a vazão requerida pelo processo é menor do que 10% da capacidade efetiva pela válvula de alívio ou a válvula é dimensionada para uma sobrepressão inferior a 10% da pressão de ajuste podendo ter consequências ainda piores do que em gases e vapores devido a este ser um fluido incompressível.

A descarga de fluxo bifásico também pode causar *chattering* devido à sua fase vapor. Isto ocorre porque o vapor desenvolve maiores velocidades de escoamento ao sair do bocal, causando uma rápida redução na pressão do fluido. A pressão e o volume na fase líquida são reduzidos mais rapidamente do que na fase vapor.

O *chattering* pode ocorrer nas válvulas piloto-operadas quando estas têm o sensor do piloto conectado à entrada da válvula principal (sensor integral). Esse fenômeno acontece porque o piloto responde à pressão naquele local, principalmente com as válvulas do tipo ação instantânea.

O contato físico que ocorre entre disco e bocal, quando as superfícies de vedação são metálicas, pode gerar faíscas, que pode ter consequências catastróficas se a válvula for instalada para proteger um vaso contendo algum fluido inflamável. O uso de sedes resilientes pode eliminar esta possibilidade.

O chattering é prejudicial à válvula de segurança, pois reduz sua capacidade alívio. A válvula não consegue alcançar sua capacidade máxima de vazão, e a pressão dentro do vaso pode continuar subindo quando ela opera sob condições de chattering. Após seu início, encerra-se somente quando a pressão do processo for reduzida até um valor abaixo da pressão de fechamento da válvula e a de operação for restabelecida. As vibrações causadas podem ser transmitidas às tubulações e aos equipamentos conectados às válvulas de segurança, podendo levar à destruição completa de todos os componentes internos da válvula, além de uma situação perigosa para o processo. As vibrações nas partes móveis da válvula aumentam demasiadamente a folga existente entre as peças do sistema de guia; nas válvulas balanceadas, pode causar a ruptura do fole e, nas válvulas com sede resiliente, pode destruir completamente o anel de vedação.

O acabamento superficial da área de contato entre o eixo do suporte do disco e a guia, além da seleção correta de materiais com diferenciais de dureza corretamente especificados pelo fabricante, também ajudam a prevenir a ocorrência deste fenômeno.

16.1.1 – Principais causas

As principais causas para a ocorrência do chattering são:

Perda de carga no tubo de entrada: Esta é a causa principal de chattering em mais de 90% das ocorrências, devido a erros nos cálculos do tubo de entrada (diâmetro da área de passagem, configurações, acessórios, taxa de fluxo envolvida, etc.), além de golpes de aríete nessa tubulação. Os erros por superdi-

mensionamento também existem, mas são menos prováveis devido à mínima taxa de fluxo requerida (para não ocorrer este efeito) para a real taxa de fluxo envolvida. Quando subdimensionada, pode induzir o fluxo a velocidades sônicas, causando excessiva queda de pressão nessa região.

Essa perda na entrada ocorre porque, quando a pressão do sistema é elevada até abrir completamente a válvula, esta permanece aberta até que sua capacidade de vazão seja reduzida para aproximadamente 93% de sua capacidade naquele momento. Se a tubulação de entrada estiver subdimensionada, ela restringe esse fluxo, e a válvula fecha antes que a pressão do sistema seja reduzida; com o aumento da pressão, a válvula abre novamente. Neste caso a tubulação a montante proporciona inicialmente uma alta taxa de fluxo, porém, causando uma alta queda de pressão logo em seguida. Isto se repete várias vezes até que a causa para o aumento de pressão seja corrigida. Porém, assim que a taxa de fluxo requerida pelo processo é estabelecida, a queda de pressão gerada pelo atrito do fluido na conexão de entrada pode ser alta o suficiente para promover o fechamento da válvula.

Esta queda de pressão diminui a força ascendente exercida pelo fluido sob o disco, sendo superada pela força descendente exercida pela mola. Com isto um ciclo de abertura e fechamento pode se desenvolver contra o sentido de escoamento do fluxo de forma muito rápida, "martelando" as superfícies de vedação do bocal com o disco. Dependendo da intensidade, o reparo dessas superfícies se torna impossível. Neste caso, o *chattering* ocorre pelas perdas de pressão em função do escoamento do fluxo através do tubo de entrada. Essas perdas causam uma pressão variável no tubo de entrada e com isso as forças que mantêm o disco da válvula na posição aberta podem variar a ponto de serem menores que a força da mola.

O que ocorre é que, antes da abertura da válvula de segurança, as pressões (tanto no vaso quanto na entrada do bocal) são as mesmas. Porém, após a abertura da válvula, as perdas de pressão causadas no tubo de entrada reduzem a pressão na entrada do bocal para um valor menor que a pressão interna do vaso, gerando uma força menor que a reativa da mola, causando o fechamento da válvula. A queda de pressão faz com que o curso de abertura seja reduzido até que a pressão dentro do equipamento se desenvolva novamente e alcance a de ajuste da válvula. Essa queda e desenvolvimento na pressão ocorrem de forma muito rápida, danificando as superfícies de vedação e do sistema de guia da válvula, além de fadiga da mola. Uma excessiva queda de pressão no tubo de entrada pode limitar a bitola e/ou a pressão de ajuste de válvulas de segurança e alívio balanceadas com fole. Nas válvulas que possuem sedes resilientes, essa mesma limitação pode existir tanto para as convencionais quanto para as balanceadas.

A queda de pressão que pode ocorrer no tubo de entrada pode estar relacionada também a acessórios instalados no espaço entre a saída do vaso e a conexão de entrada da válvula de segurança e/ou alívio, que restringem o fluxo que alimenta a válvula durante a abertura. Cotovelos, reduções, discos de ruptura e válvulas de bloqueio conectadas ao tubo de entrada contribuem para a ocorrência do *chattering*. Quando as causas para as perdas de pressão no tubo de entrada são identificadas, as razões para a ocorrência desse fenômeno são óbvias. Essa queda de pressão nunca deve ser superior ao diferencial de alívio da válvula.

Este fenômeno ocorre mesmo com válvulas de segurança corretamente dimensionadas, porém, instaladas em tubulações de entrada incorretamente configuradas. A perda de vazão associada à queda de pressão devido a configurações erradas (redução no diâmetro interno do tubo, entre outras), aumenta a velocidade de escoamento do fluido e diminui as forças que atuam embaixo da face do suporte do disco, provocando o fechamento da válvula.

O tamanho do tubo de entrada deve ser o mais curto e direto possível, para que a perda de carga durante a descarga da válvula seja mantida em, no máximo, 3% da pressão de ajuste, considerando-se a máxima capacidade de vazão da válvula e independentemente da capacidade de vazão requerida pelo processo naquele momento. Este valor de perda de carga é recomendado pelo API RP 520, parte 2 (instalação), somente para as válvulas de segurança instaladas em tubulações ou em vasos de pressão construídos conforme ASME, Seção VIII.

Além da perda de carga em tubos de entrada muito longos, há também o problema do momento fletor causado pela força de reação quando a válvula abre e que tende a "dobrar" essa tubulação de entrada, principalmente se a descarga é feita através de um tubo vertical. Os efeitos gerados pela força de reação, durante a abertura da válvula de segurança, deverão ser computados no projeto desta tubulação de entrada. Ajustando-se a válvula para um diferencial de alívio mais longo, desde que a pressão de operação assim permita, o *chattering* pode ser eliminado. Na pior das hipóteses, essa queda de pressão deve ser limitada a 75% do diferencial de alívio real da válvula, pois o valor da pressão, quando o disco fecha durante a ocorrência deste efeito, é mais próximo da pressão de ajuste do que da de fechamento. Se o *chattering* faz com que a pressão embaixo da face do suporte do disco seja reduzida para 6%, por exemplo, abaixo da pressão de ajuste, aumentando-se o valor do diferencial de alívio, o efeito não ocorre.

Porém, quando essa orientação não puder ser seguida devido à própria instalação, este comprimento não poderá ser superior a 5 vezes o diâmetro nominal do tubo ou 200 mm, o que for menor, principalmente quando o diâmetro nominal do tubo for igual à bitola da válvula.

Se a relação entre o comprimento e o diâmetro nominal do tubo de entrada for maior do que 5 ou o comprimento for superior a 200 mm, a perda de carga resultante pode ser excessiva, fazendo com que a pressão na saída do bocal seja menor do que dentro do equipamento a ser protegido. A queda de pressão ocorre em todo o comprimento do tubo durante o escoamento do fluxo através da válvula. Mesmo que essa queda não resulte em *chattering*, a capacidade de vazão da válvula será reduzida. Essa capacidade é proporcional à pressão de entrada que, devido à queda de pressão causada no tubo de entrada, reduzirá a capacidade de vazão efetiva da válvula a um valor menor que a de vazão requerida pelo processo. Quando uma válvula de segurança começa a descarregar, a pressão atuando embaixo do disco é reduzida pelas perdas por atrito na tubulação de entrada (pressão dinâmica). Se estas perdas forem suficientes para reduzir a pressão abaixo da pressão de fechamento, ocorre o efeito *chattering*.

Se um pequeno orifício for montado num corpo grande, como por exemplo, 3" J 4"ou 4" L 6", esta combinação pode tolerar uma tubulação de entrada um pouco mais longa, o que pode proporcionar uma queda de pressão menor nessa região.

Para as válvulas de segurança instaladas em caldeiras, este comprimento deve ser igual ou menor que a dimensão face a face de uma conexão "T" para o mesmo diâmetro e classe de pressão de seu flange de entrada. A perda de carga deve ser limitada a 2% da pressão de ajuste da válvula.

Solução: redimensionar o tubo de entrada, tanto no diâmetro interno quanto no comprimento, mantendo a área mínima interna do tubo num valor igual ou superior à área interna da conexão de entrada da válvula ou a aproximação da válvula ao vaso reduz o valor da queda de pressão nessa região.

Um acionamento manual da válvula no momento da abertura elimina a ocorrência de *chattering*, porém, não elimina a causa. Esse acionamento manual deve reduzir a pressão do sistema até 90% da pressão de ajuste e permitir o completo fechamento da válvula. Minimizar a quantidade de acessórios e configurar corretamente a tubulação de entrada para reduzir a velocidade de escoamento do fluido nessa região, também permite eliminar esse fenômeno.

Elevar o valor da pressão de ajuste, se a faixa de ajuste da mola, a PMTP do vaso e o volume do fluido assim permitirem, também é uma saída para solucionar ou minimizar os problemas com *chattering* decorrente da queda de pressão no tubo de entrada. Aumentando o valor da pressão de ajuste, o valor da queda de pressão é reduzido. Já uma redução no valor da pressão de ajuste tende a piorar esse problema, pois uma redução na pressão, consequentemente, reduz a densidade do fluido, o que contribui para aumentar a queda de pressão no tubo de entrada.

Ao limitar a queda de pressão no tubo de entrada a um valor de 3%, evita-se a ocorrência de *chattering*.

Válvula superdimensionada: Uma válvula de segurança está superdimensionada quando a capacidade normal de produção de um processo é inferior a 30% de sua capacidade de vazão nominal ou efetiva. A válvula de segurança deve ser dimensionada para uma faixa de vazão que fique dentro de 30% a 100% da capacidade de vazão requerida pelo processo. Porém, se o próprio processo não pode liberar esta vazão no seu valor mínimo, então, a válvula de segurança está superdimensionada. Assim, um volume mínimo de 30% da capacidade de vazão efetiva da válvula é necessário quando o fluido é compressível para manter o disco elevado no curso máximo e ainda superar a crescente força da mola atuando em sentido descendente sobre o disco. A característica de os fluidos compressíveis terem variações no volume com variações na pressão faz com que as válvulas sejam mais propícias ao superdimensionamento.

O volume do fluxo a ser aliviado, em conjunto com a pressão de ajuste, é responsável pelo ciclo operacional correto da válvula. Porém, se esse volume não for suficiente para compensar as perdas de pressão após a abertura, a válvula fechará.

Numa válvula superdimensionada o *chattering* ocorre porque não há fluxo suficiente para mantê-la completamente aberta. A alta velocidade de escoamento do fluido na saída do bocal, associada ao pouco volume do fluxo, promove a ocorrência do *chattering*. A alta velocidade reduz a pressão do fluido na câmara de força, reduzindo, consequentemente, as forças dinâmicas; o pouco volume não consegue "alimentar" essas forças embaixo do suporte do disco para manter a válvula aberta.

A capacidade de vazão de uma válvula de segurança operando com vapor saturado, construída conforme o código ASME, Seção VIII, tamanho 4" x 6", orifício "M" (3,6 pol²), ajustada para 150 psig, tem capacidade de vazão de 28985,25 lbs/h. Se esta válvula for instalada num vaso de pressão cuja capacidade máxima for de 20000 lbs/h, a sobrepressão alcançada será de 7,5%. Com uma capacidade de vazão mínima recomendada de 30% de sua capacidade nominal, ou seja, 8695,57 lbs/h, o valor da sobrepressão será de apenas 3,3%. Com um valor inferior a este, devido a um menor volume, a ocorrência de *chattering* já é possível. Quando não é aplicado o código ASME, Seção VIII, divisão 1, a proteção de uma tubulação bloqueada em ambos os lados, apenas para alívio térmico, por exemplo, em processos de Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂), sem a inclusão do vaso, ou numa tubulação de recalque de bomba, uma sobrepressão de 25% é normalmente especificada. Uma sobrepressão maior utilizada nos cálculos de dimensionamento permite que apenas uma pequena quantidade de fluido seja aliviada, devido à menor área calculada e selecionada.

O volume de fluxo, numa válvula de alívio (ou de segurança e alívio) operando com líquidos, não tem muita influência em seu ciclo operacional; somente a pressão atuando embaixo do disco é que executa o trabalho de modular as ações da válvula. Já numa válvula de segurança operando com fluidos compressíveis a quantidade de fluido liberada pelo processo é tão importante quanto a pressão.

A ocorrência do *chattering* devido ao superdimensionamento de uma válvula de segurança se deve ao fato de que quando há uma sobrepressão no processo ela abre totalmente e independente da quantidade de fluido dentro do vaso, ou seja, quando uma única válvula tem que aliviar diferentes taxas de fluxo.

Com uma válvula de segurança superdimensionada, sua capacidade de vazão fica reduzida, portanto, ao contrário daquilo que se pode imaginar, uma válvula de segurança superdimensionada pode não oferecer uma proteção adequada ao processo. Existe um volume de fluxo insuficiente para manter a força de reação na câmara de força necessária para vencer a crescente força da mola. O que ocorre é que, numa válvula superdimensionada, o disco se afasta do bocal, a pressão é rapidamente aliviada, o disco fecha e o excesso de pressão se acumula embaixo da válvula. Este batimento pode ser muito rápido com altos níveis de energia que rapidamente desgastam o disco, o bocal, o eixo do suporte do disco e o furo da guia.

A frequência do *chattering* depende da massa de fluxo em relação à capacidade de vazão máxima da válvula e do valor do diferencial de alívio. Um diferencial de alívio maior tende a reduzi-lo, porém, o diferencial de pressão entre a de operação do processo e a de ajuste da válvula de segurança também deverá ser maior, para permitir que o ciclo operacional da válvula ocorra.

Ao abrir, se o volume do gás ou vapor não for suficiente para manter o disco de vedação na posição totalmente aberta, devido à força de reação na face do suporte do disco causada pela pressão do fluido no momento da abertura, ocorre uma redução nas forças de abertura. Essa redução não permite superar a crescente força da mola, fechando a válvula novamente. Portanto, a força de levantamento do disco é proporcional à pressão e ao volume do fluido atuando na área da câmara de força, na face do suporte do disco.

Quando uma válvula de segurança opera com gases, se for elevada sua pressão de ajuste através de um aumento na força exercida pela mola sobre o disco sem aumentar o volume do gás na mesma proporção, a área de passagem do bocal fica "grande" devido à redução que ocorre naquele volume. Nos líquidos, com o aumento de pressão, o valor do diferencial de alívio poderá ficar maior, porque, nesse caso, a área de passagem fica "pequena", ou seja, sua capacidade de vazão fica reduzida pelo menor curso de abertura que poderá ser permitido pela mola.

A força exercida pela mola sobre o disco é constante para manter a pressão de ajuste num valor pré-fixado. Após a pressão ser atingida, a força exercida pela pressão do fluido dentro da câmara de força é variável, e desta forma a força exercida pela mola também é, pois depende do volume do fluido sendo descarregado para manter a válvula aberta. Como o fluido é compressível, o disco alcança o curso máximo, e sem sustentação, a mola fecha a válvula novamente, danificando a vedação. A ocorrência do chattering nesse caso é a falta de sobrepressão no processo, que não se torna possível devido ao superdimensionamento da válvula. Essa falta de sustentação ocorre em função da redução rápida do volume do fluxo dentro da câmara de força, e a força da mola supera a força exercida pela pressão do fluido atuando na face do suporte do disco.

O curso máximo do disco é mantido de acordo com o volume do fluido a ser descarregado e não à capacidade nominal da válvula. Por esta razão, o curso de abertura atingirá seu valor máximo, porém, se o volume não for suficiente para manter esse curso de abertura a válvula fechará. Após seu fechamento, a pressão interna do equipamento é desenvolvida novamente, pois agora não há mais perdas de pressão, a válvula abre e o ciclo se repete até que as superfícies de vedação da válvula sejam danificadas ou as causas da sobrepressão sejam corrigidas para que feche definitivamente. De acordo com a extensão dos danos, um vazamento excessivo pode ocorrer mesmo após a redução de pressão do processo, seguida do fechamento da válvula.

Solução: A solução para essas situações é redimensionar a válvula utilizando uma válvula com orifício do bocal menor, compatível com a real capacidade de vazão requerida para o processo ou dividir sua capacidade de vazão em dois ou mais orifícios menores. Em qualquer instalação com múltiplas válvulas operando com fluido compressível, pressões de ajuste escalonadas e com menores capacidades de vazão, ou uma válvula de segurança e alívio piloto-operada de ação modulante, o *chattering* é eliminado.

Tubulação de descarga mal dimensionada: uma tubulação de descarga mal dimensionada ou mal projetada pode produzir uma contrapressão desenvolvida. Por isso, ela deve ser a mais curta e direta possível, com a área de passagem igual ou maior que a área do flange de saída da válvula. A contrapressão

desenvolvida e produzida nesses casos pode ter um valor que seja superior à sobrepressão da válvula, dependendo de quanto a capacidade de vazão requerida pelo processo for menor que a capacidade de vazão efetiva através do bocal da válvula de segurança.

A instalação de uma válvula de bloqueio nessa tubulação contribui para elevar a queda de pressão nessa região. A queda de pressão imposta pela válvula de bloqueio, somada com aquela imposta pela própria configuração da tubulação de descarga, não deve ser superior à sobrepressão da válvula.

Se o valor desta contrapressão for superior ao valor da sobrepressão, as forças que mantém a válvula aberta serão reduzidas, resultando em instabilidade operacional e, consequentemente, em *chattering*. A instabilidade da válvula durante esse tipo de contrapressão ocorre devido a uma redução no curso de elevação do disco.

Isto significa que um valor de sobrepressão de 10%, por exemplo, só é encontrado na capacidade máxima de vazão efetiva da válvula de segurança e/ou alívio convencional, porém, normalmente a capacidade de alívio que é requerida pelo processo é menor que a capacidade de vazão efetiva pela válvula selecionada. Se, por exemplo, aquela capacidade de vazão requerida proporcionar uma sobrepressão disponível de apenas 6%, ou seja, um volume de fluido de apenas 60%, uma contrapressão variável ou desenvolvida acima daqueles 6% pode ocasionar uma redução no curso de elevação do disco e resultar em *chattering*.

Nas válvulas balanceadas com fole, nas válvulas convencionais de castelo aberto ou nas válvulas piloto-operadas, a contrapressão desenvolvida pode exceder a sobrepressão disponível já que o curso de abertura e o ciclo operacional da válvula não são afetados. Nas válvulas de segurança de caldeiras, a contrapressão desenvolvida pode alcançar até 25% da pressão de ajuste sem comprometer o ciclo operacional da válvula.

Tubulações de descarga muito longas e com muitas curvas reduzem a velocidade de escoamento do fluido (quando a velocidade é baixa, a pressão é alta e vice-versa). Esta contrapressão irá atuar no topo do suporte do disco, se a válvula for convencional, gerando uma força adicional à força da mola, principalmente se a válvula tiver o castelo e o capuz fechados e vedados fazendo com que a válvula abra e feche várias vezes.

Solução: quando a tubulação de descarga tiver que ser muito longa, deverá ter seu diâmetro interno maior que o do flange de saída da válvula. Se necessitar de curvas, estas deverão ser de raio longo para evitar a turbulência no fluxo, e, consequentemente, perda de carga excessiva, resultando em contrapressão desenvolvida.

Posicionamento dos aneis de ajuste: a principal causa é o anel do bocal (inferior) ou da guia (superior) posicionado muito alto. As válvulas de segurança que possuem o anel superior, e este fica posicionado muito acima da posição considerada correta para o volume de fluxo a ser aliviado, podem causar chattering, pois a geometria que forma a câmara de força falha para sustentar o curso de elevação do disco.

Quando o anel superior é posicionado ½ volta abaixo da face do suporte do disco, ele previne a ocorrência de *chattering* no início de um teste real. Nas válvulas de segurança que possuem o anel superior, o *chattering* ocorre quando este está muito elevado, principalmente nas válvulas de segurança que operam com vapor superaquecido, pois o posicionamento incorreto daquele anel (anel alto) impede o levantamento completo do disco.

O chattering ocorre por não haver volume de fluxo suficiente para manter a força de reação dentro da câmara de força no momento da abertura, gerando uma distribuição desigual de forças, quando este tende a alcançar o curso máximo durante a abertura.

Solução: As reais condições do processo devem determinar a melhor posição para o anel inferior ou o usuário deve verificar o ajuste desse (s) anel (eis) de acordo com o manual do fabricante da válvula.

16.1.2 – *Simmering* (Soprando)

Este fenômeno é um vazamento (audível ou visível) que ocorre numa válvula de segurança operando com fluidos compressíveis, geralmente a partir de 98% de sua pressão de ajuste. É o único fenômeno que pode ocorrer antes da abertura, ou antes do fechamento definitivo da válvula. Sendo ele o estágio que antecede a abertura da válvula. Esse fenômeno é causado por um desequilíbrio entre a força descendente exercida pela mola e a força ascendente exercida pela pressão do fluido dentro da garganta do bocal, após o fechamento da válvula.

Pode ser um sinal da aproximação da pressão de abertura em válvulas com sedes metálicas, além de uma indicação do mau posicionamento do anel inferior. Essa aproximação causa o *simmering*, pois a força que mantém a válvula fechada é reduzida, ou seja, quando a pressão de operação for elevada e estabilizada bem próxima da de ajuste, diminuindo o diferencial de forças que mantém a válvula fechada.

Ele ocorre pela temperatura do fluido no processo e deve ser considerado durante a calibração na bancada, seguindo até um valor limite de acordo com o material da mola, do corpo e castelo da válvula, e se este último é aberto ou fechado. A velocidade em que este relaxamento ocorre também é influenciada pela tensão da mola e temperatura operacional.

O simmering é uma condição aceitável para a válvula quando ocorre a 1% abaixo de sua pressão de ajuste, ou seja, a válvula "sopra" momentos antes de ocorrer sua abertura total. O posicionamento incorreto do anel inferior pode causar simmering quando a pressão de operação é elevada até a de ajuste ser alcançada. Isto ocorre quando o anel inferior está muito afastado da face do suporte do disco, elevando a sobrepressão do sistema. A pressão de abertura e a sobrepressão do processo são ainda mais elevadas para que a válvula possa alcançar sua máxima capacidade de descarga.

Quando o anel do bocal ou o anel da guia (anel superior) estão posicionados muito abaixo, estes perdem parte de suas devidas funções, aumentando o valor do diferencial de alívio, a pressão de fechamento alcança o valor da pressão de operação e a válvula trepida para fechar. Nesta situação, há um conflito entre a pressão de fechamento (força descendente exercida pela mola) e a pressão de operação (força ascendente exercida pela pressão do fluido sob o disco). Ambas as forças atuam em sentidos opostos.

Nas válvulas que protegem um vaso de pressão e que tenham como fluido algum gás, o *simmering* pode causar a formação de gelo dentro da garganta do bocal e dentro da câmara de força, podendo reduzir a capacidade de vazão e de vedação da válvula.

O principal dano é um desgaste nas superfícies de vedação devido à erosão causada pelo vazamento do fluido, produzindo alta velocidade de escoamento. Essa erosão decorre da condensação do fluido que está próximo da temperatura ambiente. Esse vazamento é progressivo e causa fadiga da mola e de outros componentes e desgastes também nas superfícies de guia, sendo de capacidade não mensurável.

Um excessivo desgaste nessas superfícies pode contribuir com o vazamento após o fechamento da válvula ou sua abertura num valor abaixo daquele requerido pelo processo. Esse aumento no desgaste das superfícies de guia causa proporcionalmente um aumento nas vibrações horizontais dos componentes móveis, que tendem a reduzir as forças descendentes exercidas pela mola, na taxa de vazamento e, consequentemente, uma redução no valor da pressão de ajuste.

As válvulas de segurança do tipo mola sob carga que possuem assento resiliente não têm esse problema. Porém, o elastômero precisa suportar a temperatura do fluido de acordo com a área da garganta do bocal e pressão de ajuste.

Esse fenômeno não ocorre com as válvulas de segurança e alívio piloto operadas, tanto com a principal quanto com a válvula piloto. Nesse tipo de válvula, além da vedação ser resiliente, a pressão do vaso aumenta a força de vedação conforme o diferencial de pressão é reduzido quando a de operação se aproxima da pressão de ajuste.

16.1.2.2 – Principais causas

As principais causas para o simmering são:

Anel inferior muito baixo: quando o anel inferior está numa posição muito afastada da face do suporte do disco ele perde grande parte de sua função, devido às perdas de pressão, e a válvula "sopra" antes de abrir e trepida para fechar. Isto eleva os valores da pressão de abertura e da sobrepressão do processo para que a válvula possa alcançar sua máxima capacidade de descarga. Este aumento na sobrepressão também causa um aumento no diferencial de alívio, fazendo com que a pressão de fechamento venha a colidir com a de operação impedindo o fechamento pela força da mola.

Solução: da mesma forma mencionada para o *chattering*, o anel inferior deve ser ajustado em relação às reais condições operacionais às quais a válvula de segurança está exposta, conforme determinado pelo manual do fabricante da válvula.

Relaxamento da força da mola: o relaxamento da força da mola é uma causa comum para ocorrer este fenômeno. Ocorre principalmente em válvulas de segurança que possuem castelo fechado e que operam com vapor d'água em temperaturas elevadas. Quando a válvula é ajustada em bancada de testes com temperatura ambiente, deve ser feita uma correção na pressão de ajuste em relação à temperatura do processo (pressão de teste diferencial a frio).

Durante o ciclo de abertura e fechamento da válvula no processo, parte do vapor que está sendo descarregado vai para dentro do castelo onde está alojada a mola. Devido a este aumento de temperatura no material da mola, parte de sua força é reduzida e com isto a pressão de ajuste se aproxima da de operação, podendo ocorrer o *simmering*, principalmente se houver variações na pressão de operação causada por variações no consumo de vapor. Esta situação se torna mais crítica quando ocorrem consecutivas aberturas, fazendo com que a temperatura da mola fique num valor próximo da do fluido. O castelo fechado e a falta de troca térmica são os principais fatores para a quebra de molas. Desta forma, a condução de calor pelo fluido de processo através da válvula pode causar mudanças na força da mola, pela redução no módulo de elasticidade (G) de seu material, cujo efeito será uma redução no valor da pressão de ajuste.

Foi mencionado no parágrafo 11.6.2 que a constante elástica da mola pode mudar dependendo de seu material e de sua temperatura de alívio quando o castelo é fechado, não ocorrendo a troca térmica da temperatura da mola com o ambiente externo. Porém, quando a válvula possui castelo fechado, além do relaxamento da força da mola, pode também ocorrer a expansão térmica do corpo e castelo reduzindo também o aperto do parafuso de ajuste, devido a constantes aberturas da válvula com consequente aquecimento dessas peças, podendo resultar em *simmering*. Esse relaxamento também pode ser causado por constantes vazamentos entre disco e bocal ou pelo fluido aquecido de uma contrapressão superimposta constante ou variável.

Fatores de correção devem ser utilizados quando temperaturas diferentes são encontradas, ou seja, entre a real pressão de operação e a pressão na qual a pressão de ajuste é calibrada numa bancada de teste e sob temperatura ambiente. Esse fator adiciona uma determinada porcentagem de pressão acima do valor de pressão de ajuste desejada para a válvula abrir no processo, compensando as alterações que podem ocorrer nas características metalúrgicas do material da mola. Os fabricantes possuem tabelas de correção nas quais existem valores em porcentagem em relação à temperatura de operação da válvula para que seja feito um ajuste em bancada de teste, numa pressão um pouco maior que a requerida para o processo, para compensar o relaxamento da força da mola.

21

Características de vazão

A característica de vazão de uma válvula de controle é a relação existente entre o curso de abertura do obturador e a vazão do fluido, ou seja, é o relacionamento entre o curso do obturador, expressado em porcentagem do curso total, e a vazão do fluido através da válvula, expressada em porcentagem da vazão total através desta. O perfil do obturador ou o formato das aberturas da gaiola é o que determina o tipo de característica. As válvulas do tipo esfera ou borboleta não têm como caracterizar internos, e a característica de vazão é determinada pela área de passagem do fluxo formada pela esfera ou disco em relação aos aneis de vedação ou à sede, respectivamente. O emprego de um posicionador ou um came permite obter uma característica de vazão específica às necessidades do processo.

O perfil do obturador em relação à área de passagem do anel sede cria uma restrição física real, cuja taxa de fluxo produzida será sempre proporcional a essa restrição. Assim, a diferença no perfil de vários obturadores causará diferentes taxas de fluxo para o mesmo curso de abertura. Portanto, o escoamento do fluxo torna-se função do curso do obturador e de seus internos, resultando em diferentes características de vazão para o mesmo curso de abertura e taxas de fluxo.

Qualquer tipo de válvula que opera controlando a vazão de um fluido dentro de um processo terá alguma característica, mesmo aquelas que não são projetadas para controle. É o que acontece com as tipo gaveta e que não foram projetadas para controle, porém, se estiverem operando parcialmente abertas (acima de 50%), a característica de vazão será semelhante à abertura rápida. Abaixo de 50%, a característica é praticamente linear. Esse é um valor aproximado, pois depende do estado físico do fluido e da bitola da válvula. Para os fluidos compressíveis, a taxa de fluxo é linear até 60% do curso de abertura, a partir deste valor, pouca variação é observada. Nos líquidos, essa linearidade deixa de existir a partir de 50%.

A escolha correta de determinada característica de vazão requer o conhecimento da aplicação e qual o resultado real que produzirá, sendo necessária para alcançar estabilidade uniforme da malha de controle. Portanto, o seu objetivo é auxiliar a compensar a não linearidade do processo. Para cada uma, o curso de abertura do obturador será diferente para permitir a mesma capacidade de vazão. Essa diferença de curso está ligada diretamente ao perfil do obturador exposto ao escoamento do fluxo.

Todas as características de vazão com 100% de curso de abertura para um mesmo modelo e tamanho de válvula têm igual capacidade de fluxo, independente do perfil do obturador. A vazão máxima sempre acontece no curso máximo de abertura do obturador.

Normalmente, a característica de vazão das válvulas de controle é expressa graficamente por meio de uma curva que indica a relação entre a capacidade de vazão e o curso do obturador. A curva que representa determinada característica é sempre melhor quanto maior for a queda de pressão. É por meio dessa conclusão que se analisa o comportamento operacional de uma válvula. A curva de característica de vazão para cada perfil de obturador, anel sede e curso, é obtida desta forma e reflete a característica de controle de cada válvula, determinando se esta é ou não mais apropriada para uma aplicação em particular.

Medindo-se a vazão do fluxo com o obturador em diferentes posições e colocando-se os dados em um gráfico obtém-se a curva, que pode ser variada, dependendo da pressão a montante, se constante ou não.

Os gráficos mostram as curvas para as diferentes características de vazão. Com essas curvas, é possível perceber as variações que ocorrem na taxa de fluxo através da válvula conforme a haste e o obturador são movimentados sob uma queda de pressão fixa (característica de vazão inerente). O projeto do obturador, a sede da válvula e gaiola (quando aplicada) determinam uma taxa de fluxo particular *versus* a posição da haste que uma válvula de controle automática produz. Desta forma, o formato (perfil) do obturador e as aberturas para o fluxo na gaiola determinam o formato da restrição ao escoamento quando a posição da haste é alterada.

Quando for constante a montante, é denominada inerente. Se variável, chama-se instalada.

21.1 – Característica de vazão instalada

Refere-se à relação entre taxa de fluxo e curso do obturador quando este é movido da posição fechada até a abertura máxima, e a queda de pressão é influenciada pelas variações nas condições de processo. Essa taxa é dependente da pressão diferencial, resultando numa característica de vazão também variável. Ela é a curva obtida com o fluxo em condições reais de escoamento.

É a representação mais precisa de como o fluxo no sistema se altera em relação às mudanças na posição do obturador. Portanto, quando a vazão real do sistema é determinada pelo curso de abertura da válvula, a curva é denominada característica de vazão instalada. Quanto mais próximo da abertura máxima, menor o diferencial de pressão. Quando está instalada a jusante de um equipamento, como bombas, compressores, caldeiras, etc., além do atrito causado pelo fluxo na tubulação e nas conexões de outras válvulas instaladas no sistema, a queda de pressão total varia de acordo com a geometria do corpo e as posições de curso e perfil do obturador.

A válvula é o único componente da malha que pode ter um ganho variável por meio da característica de vazão. Isto significa que a queda de pressão muda quando a posição do obturador se altera. Na maioria das aplicações, essa queda de pressão aumenta quando a taxa de fluxo é reduzida. Na característica de vazão instalada, uma do tipo igual porcentagem pode mudar para linear, da mesma forma esta pode mudar para abertura rápida.

Esta característica determina a quantidade de fluxo esperada, de acordo com a posição do obturador em relação ao anel sede. É a característica real ou efetiva da válvula e sofre influência direta da perda de carga causada pelo sistema, portanto, é diferente para cada caso.

Quando a queda de pressão através da válvula de controle é de aproximadamente 30% daquela do sistema (incluindo a própria válvula), uma característica de vazão inerente do tipo igual porcentagem torna-se linear quando instalada. Se esta queda for menor que 20%, uma característica tipo linear torna-se abertura rápida. Isso é muito comum em válvulas superdimensionadas, pois uma pequena quantidade da pressão dinâmica do fluido, que é dissipada, dependendo da faixa de controle, pode causar esse tipo de mudança.

Três parâmetros, além da característica de vazão inerente, definem a forma da curva da característica de vazão instalada:

- Fração da pressão dinâmica;
- Fator de superdimensionamento;
- Alcance da faixa de controle da válvula.

Esta característica deve ser escolhida para que um processo linear global (processo + válvula) seja alcançado.

21.2 – Característica de vazão inerente

Enquanto a característica de vazão instalada é a característica real do escoamento do fluxo, a de vazão inerente é aquela obtida com ensaios em laboratório e condições favoráveis, quando a queda de pressão é mantida constante. Sob estas condições, é a relação direta entre a capacidade de vazão e o curso do obturador. A característica de vazão inerente, portanto, é aquela definida como o relacionamento entre o sinal de saída enviado pelo controlador e a taxa de fluxo produzida através da válvula de controle. Esta seria a característica de vazão ideal para o processo.

Esse tipo considera o comportamento operacional da válvula isoladamente sem levar em conta a perda em outros pontos. Quando a perda total do sistema está somente na válvula, significa que a pressão diferencial é constante. As únicas variáveis são a taxa de fluxo e o curso de abertura do obturador.

A característica de vazão de uma válvula de controle automática é determinada através de testes de laboratório, onde a queda de pressão é mantida constante em 1 psi, e sua quantidade de fluxo é medida (normalmente este teste pode ser feito com água, ar ou vapor). Uma válvula do tipo esfera, por exemplo, é aberta em ângulos de 10° em 10° e uma curva é desenhada. A ISA requer que três pressões diferentes sejam utilizadas e a média dos valores seja o resultado publicado.

A característica de vazão inerente é encontrada em todas as válvulas de controle. Sob condições de pressão diferencial constante, permite uma relação entre a taxa de fluxo e o curso de abertura de acordo com o projeto do obturador e anel sede. As válvulas de acionamento rotativo, como segmento esférico e obturador excêntrico, possuem características de vazão inerentes, que podem ser modificadas, alterando-se o perfil do obturador.

As válvulas de acionamento linear, como as do tipo globo, podem ter suas características modificadas quando o perfil do obturador ou as aberturas da gaiola também são especificamente caracterizados. São obtidas com a medição do fluxo em diferentes posições do obturador e os dados obtidos são colocados num gráfico. O que ocorre é que os fabricantes desenvolvem as características de vazão inerente medindo o fluxo em várias posições de abertura do obturador, sem alterar a queda de pressão.

O conhecimento da característica inerente é importante, porém, mais ainda é a característica de vazão instalada do processo inteiro, incluindo a válvula e os demais equipamentos da malha.

21.3 – Ganho da válvula

É definido como a variação produzida na vazão por uma correspondente variação no curso do obturador devido às mudanças no sinal vindo do controlador, ou seja, indica a sensibilidade na vazão para as mudanças do obturador em relação ao anel sede. Uma válvula de alto ganho é aquela que alcança grande mudança na vazão para uma pequena alteração na posição do obturador. Por exemplo, a do tipo esfera.

É sempre função da área disponível ao escoamento do fluido, da configuração interna do corpo da válvula, das características de controle do obturador e condições de serviço. O ganho das válvulas de controle é, portanto, variável e de acordo com a característica de vazão selecionada. Nas do tipo globo sede simples, é estabelecido pelo perfil do obturador; nas do tipo gaiola, as aberturas é que definem o ganho. Ele é a inclinação na curva da característica de vazão inerente, sendo constante durante todo o movimento de abertura do obturador. Na característica de vazão instalada, depende do tipo de característica, de fluido, variações na taxa de fluxo a montante, queda de pressão, tipo de válvula, etc. Portanto, neste caso, o ganho é determinado apenas pela característica de vazão instalada e não pela inerente.

O ganho não poderia ser muito pequeno (ou a variável não pode ser influenciada vigorosamente o bastante para compensar os distúrbios no processo) ou muito grande (no qual poderia requerer mudanças muito pequenas e precisas na válvula de controle). Uma típica faixa para o ganho é 0,5% a 3%.

21.4 – Tipos de características de vazão

Os principais tipos de característica de vazão são: linear, igual porcentagem, abertura rápida e parabólica modificada. À exceção do tipo abertura rápida, os demais são produzidos através de um obturador de perfil específico para proporcionar uma relação própria entre a taxa de fluxo e o curso do obturador. É obtida pelo perfil do obturador conforme este se movimenta dentro do anel sede e utilizada quando se deseja controlar a taxa de fluxo (controle proporcional ou modulante). Teoricamente, válvulas com diferentes tipos de internos terão cursos de abertura também diversos para proporcionarem capacidades de vazão semelhantes. Isto significa que, para as mesmas condições, uma válvula com característica de vazão do tipo linear terá somente 25% de curso de abertura para atingir a máxima taxa de fluxo. Se a característica de vazão for do tipo igual porcentagem, o curso do obturador deverá estar entre 65% a 70% para permitir a mesma taxa de fluxo. Numa válvula superdimensionada com característica de vazão do tipo igual porcentagem, o obturador pode controlar o fluxo se estiver mais afastado do anel sede.

Esta diferença está relacionada ao perfil do obturador, ou ao formato das "janelas" das válvulas globo estilo gaiola. São eles que definem o tipo de característica de vazão. O obturador se movimenta de forma diretamente proporcional à pressão do ar enviado ao atuador (se for pneumático), porém, é esse perfil do obturador e a taxa de fluxo que determinam a característica de vazão.

O curso de abertura será exatamente a relação entre o CV calculado (requerido pelo processo) pelo CV selecionado (efetivo da válvula) de acordo com o tipo de característica de vazão desejada.

Esta pode ser também do tipo hiperbólica e raiz quadrada, mas ambas não são utilizadas na prática.

21.4.1 - Linear

Quando a taxa de fluxo, sob queda de pressão constante, varia de forma diretamente proporcional ao curso de abertura do obturador, essa característica de vazão é denominada linear (figura 21.1). Esta linearidade rende um ganho constante, ou seja, ele pode ser unitário em todas as taxas de fluxo. Sempre que a queda de pressão for constante, uma característica de vazão inerente e uma de vazão instalada podem ser a mesma.

A área formada pelo curso de abertura do obturador limita a vazão quando seu valor se equaliza com a área de passagem formada pelo anel sede. Portanto, existe um relacionamento linear entre essas, sendo uma proporção direta entre o CV requerido pelo processo para o CV máximo da válvula. Desta forma, a porcentagem do curso de abertura do obturador, para uma determinada taxa, é sempre uma porcentagem do fluxo máximo, ou seja, para um curso de abertura de 60%, o fluxo será 60% de seu

valor máximo. Este curso pode ser determinado por meio da taxa de fluxo e vice-versa. Qualquer redução nesse curso tem o mesmo efeito na taxa de fluxo se a área de passagem do anel sede também for reduzida. A relação entre ambas é linear mesmo que a pressão diferencial não seja constante.

Uma válvula de controle que utiliza internos para esse tipo de característica de vazão deve operar com um curso de abertura inferior a 90% da vazão máxima. Este tipo é muito utilizado em controle de fluxo ou nível de líquido por gravidade, além de outras aplicações que necessitam de ganho constante (linear). As válvulas com esse tipo de característica podem, com pequenas mudanças no curso do obturador, ter pequenas mudanças na variável controlada, proporcionando um alto alcance de faixa.

Sua escolha ocorre quando a queda de pressão tem variações superiores a 20% entre a vazão máxima e a mínima. Assim, uma válvula com um interno com característica de vazão linear deve ser selecionada somente quando a queda de pressão proporcionar baixas variações ao sistema. Se o alcance de faixa não for suficiente para controlar o fluxo nas condições máximas e mínimas, esse deve ser substituído pela característica de igual porcentagem. Outras aplicações incluem sistemas de controle dos tipos SDCD (sistema digital de controle distribuído) ou CLP (controlador lógico programável).

Quando a queda de pressão no sistema é constante ou quando a queda de pressão através da válvula é superior à queda total do sistema, este tipo é indicado. Nos processos cuja maior parte do diferencial de pressão é absorvida pela válvula ou a relação entre os diferenciais de pressão nas condições mínima e máxima for menor que 2:1, esse tipo também deve ser especificado (figura 21.2).

Esta é a característica de vazão que proporciona a maior taxa de fluxo quando aplicada numa válvula globo sede simples ou gaiola e com passagem integral.

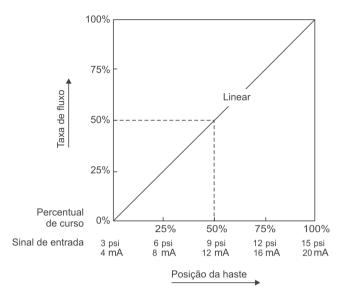


Figura 21.1 – Gráfico de uma característica de vazão inerente do tipo linear

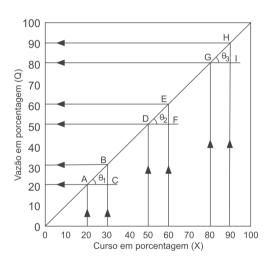


Figura 21.2 – Ganho com uma característica de vazão linear (Cortesia: Hiter & Crosby do Brasil)

21.4.2 – Igual porcentagem

Esta característica determina que mudanças iguais no curso do obturador produzem alterações de igual porcentagem no CV existente, sob queda de pressão constante, antes de alterar o curso. Essa mudança é sempre proporcional à taxa de fluxo, porém, o fluxo é não linear. A primeira válvula com característica de vazão deste tipo foi desenvolvida em 1933.

É o modelo ideal para o controle de temperatura em indústrias alimentícias, por exemplo, pois há menor consumo de vapor.

Da mesma forma, no controle de pressão ou fluxo, em que uma pequena porcentagem de toda a pressão diferencial é disponível, ou seja, o próprio sistema absorve uma grande porcentagem de toda a queda ou quando esta varia muito. Ela deve ser utilizada também quando a queda de pressão permanece constante, mesmo com mudanças na taxa de fluxo a montante.

Uma válvula de controle com esse tipo de característica tem aumento no ganho na mesma proporção que o fluxo. Portanto, a sensibilidade cresce conforme o curso do obturador é elevado e, assim, o ganho é diretamente proporcional à sua capacidade de vazão.

Exibe um baixo ganho em baixas vazões e um alto ganho em grandes vazões, e esse é sempre crescente. A relação existente entre a área formada pelo curso do obturador e a de passagem do anel sede é logarítmica e não linear.

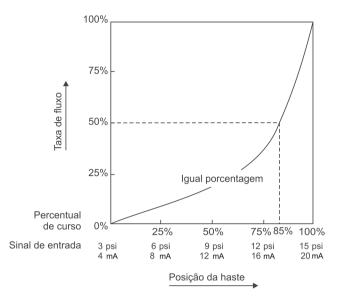


Figura 21.3 – Característica de vazão inerente do tipo igual porcentagem

Quando o obturador (disco, *plug* ou esfera) está muito próximo do anel sede, a taxa de fluxo é pequena; com um grande curso, a mudança na taxa pode ser grande. Por exemplo, para um determinado tipo e tamanho de válvula, se a posição do obturador mudar de 40% para 50% de abertura (aumento de 10%), a capacidade de vazão será de 12% para 18% da vazão máxima (aumento de 50%). Se aumentarmos novamente, de 50% para 60% (também de 10%), um aumento de 18% para 27% da vazão máxima será produzido, ou seja, 50%. Portanto, essa característica de vazão produz uma mudança de igual porcentagem no fluxo e no curso do obturador.

Este exemplo demonstra que sempre que houver um aumento de 10% no curso do obturador ele será de 50% em cima da taxa de fluxo anterior. Inversamente, a vazão diminui por um número de igual porcentagem quando o obturador da válvula tem seu curso de abertura reduzido também em incrementos de igual porcentagem.

A característica de vazão do tipo igual porcentagem é diretamente proporcional à vazão que passava pela válvula no instante imediatamente anterior à mudança de curso.

A mudança na taxa de fluxo independente do posicionamento do obturador pode ser expressa como uma porcentagem constante da taxa no momento da mudança. Quando o obturador está próximo do anel sede será menor se comparada quando este está próximo de sua abertura máxima. Estando quase totalmente aberto, produz uma variação na taxa de fluxo muito maior (figura 21.3).

Um curso maior do obturador reduz os danos causados por este contra o anel sede, principalmente quando ocorrem rápidas reduções na taxa de fluxo através da válvula, podendo ser uma vantagem sobre outras válvulas que operam com característica de vazão do tipo linear, pois seu obturador pode controlar a taxa de fluxo numa posição mais afastada do anel sede para proporcionar a mesma taxa de fluxo. Com o obturador mais longe daquele anel, os efeitos erosivos causados pelo fluido em escoamento são minimizados.

Somente quando a queda de pressão diminui é que as que possuem esse tipo de característica exibem crescente característica linear.

Sempre que a pressão diferencial total do sistema for maior (70% ou mais) que a pressão diferencial através da válvula, uma característica de vazão inerente do tipo igual porcentagem irá produzir uma característica de vazão próxima da linear. Isto é, quando a queda de pressão através da válvula é de 30% ou menos da queda de pressão total do sistema.

A mudança na taxa de fluxo em porcentagem em relação a uma determinada mudança no curso do obturador é uma constante (daí o nome igual porcentagem). Devido a esta característica, com uma abertura maior da válvula, o que resulta em maior taxa de fluxo, a mesma mudança em porcentagem no curso do obturador pode levar a uma mudança com aumento maior na taxa de fluxo. Por exemplo, um aumento de 4% sobre 150 gpm (máxima vazão requerida) é de 6 gpm. Enquanto um aumento de 4% sobre 15 gpm (mínima vazão requerida) é de apenas 0,6 gpm.

Quando em posição parcial de abertura, portanto, controlando o fluxo, as válvulas do tipo esfera, apresentam uma característica de vazão do tipo igual porcentagem. Esta característica decorre do inerente resultado da configuração dos orifícios formados (elipses) em conjunto com o furo da esfera e a área de passagem formada por cada anel de vedação, individualmente.

Por isso, as que possuem essa característica são escolhidas para aplicações que absorvem variadas quantidades de quedas de pressão. Ou se uma quantidade relativamente pequena (-30%) é absorvida somente pela válvula, e o restante pelo processo, ou quando a relação entre os diferenciais de pressão nas condições mínima e máxima de taxa de fluxo for maior que 2:1. As válvulas que possuem internos que produzem esse tipo de característica de vazão fornecem um preciso controle de regulagem quando o obturador se encontra próximo do anel sede, tendo um aumento rápido de capacidade de vazão quando o obturador se aproxima da abertura total. Esta é a característica de vazão mais comum utilizada em válvulas de controle, sendo bastante apropriada quando a taxa de fluxo através da válvula aumenta devido à redução na pressão de entrada.

Esta característica não deve ser utilizada no controle de nível de um tanque, pois neste a queda de pressão é constante.

Ela evita choque térmico e golpes de aríete na tubulação a jusante, pois a taxa de fluxo produzida pelo curso de abertura do obturador é mais suave. Uma válvula de controle que utiliza internos para esse tipo de característica deve operar com um curso de abertura inferior a 95% da vazão máxima.

Aplicações típicas incluem controle de pressão e de fluxo não linear, além de processos sujeitos à variação no consumo como, por exemplo, em caldeiras, que têm sua carga instável devido a essas variações, ou quando se deseja um grande alcance de faixa para a válvula de controle. Com esse tipo de característica de vazão, a capacidade de vazão da válvula é elevada exponencialmente em relação ao curso do obturador. As variações causadas pelo sistema na pressão diferencial em qualquer posição do obturador podem ser compensadas com a utilização de uma válvula com esse tipo de característica de vazão.

Este é um tipo de característica muito comum em válvulas de alta recuperação de pressão, tipo esfera ou borboleta. Pode ser utilizada ainda, como primeira escolha, em sistemas de controle de vapor. Enquanto a maioria das outras malhas, ou seja, aquelas que não envolvem temperatura são mais eficientes com característica de vazão linear.

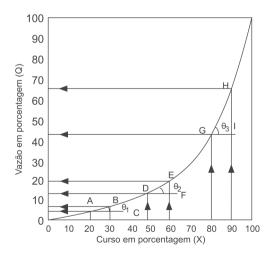


Figura 21.4 – Ganho de uma característica de vazão do tipo igual porcentagem (Cortesia: Hiter & Crosby do Brasil)

As válvulas de controle do tipo globo sede dupla são apropriadas para operar com esse tipo de característica quando o fluido é compressível. Por exemplo, em aplicações de controle de vapor em obturador com contorno ou em "V", assim como globo sede simples. O obturador em "V" tem maior precisão para controle, mas com menor capacidade de vazão. Esse formato também funciona como um sistema de guia adicional para manter a estabilidade do obturador em altas quedas de pressão e em qualquer posição parcial de abertura.

Em teoria, a característica de vazão linear é a melhor, devido ao ganho constante; na prática, a melhor é a característica do tipo igual porcentagem (figura 21.4).

Esta característica é recomendada também quando o ganho do sistema diminui com o aumento da capacidade de vazão da válvula.

21.4.3 – Abertura rápida

As válvulas que possuem características de vazão do tipo abertura rápida são muito utilizadas em processos que necessitam de controles biestáveis, quando devem operar constantemente abertas ou fechadas (on-off). E uma grande taxa de fluxo deve ser estabelecida rapidamente quando a válvula inicia sua abertura, não sendo necessário ao obturador trabalhar numa posição de abertura parcial para controlar o fluxo. Essas válvulas recebem um sinal de comando vindo do controlador em valores de apenas 0% ou 100%.

Nesse tipo de característica, a partir de certo ponto de abertura do obturador, a vazão é praticamente estabilizada, ou seja, a sensibilidade é reduzida, o que faz com que seja ideal apenas para controle *on-off* e não para controle modulante. A taxa de fluxo aumenta de forma linear até que o curso do obturador alcance um valor de 25% do diâmetro interno do anel sede.

Esse tipo não necessita de obturador caracterizado, e nem operar em controle modulante, pois ele não tem contato com a área interna do anel sede. É a característica de vazão que proporciona a maior taxa de fluxo, pois a interferência do obturador com o fluxo em escoamento é a menor possível. Por exemplo, alívio de pressão (controle a montante).

Um aumento adicional no curso de abertura do obturador reduz as mudanças na taxa de fluxo e, quando se aproxima do curso máximo, fica próximo ao zero (figura 21.5).

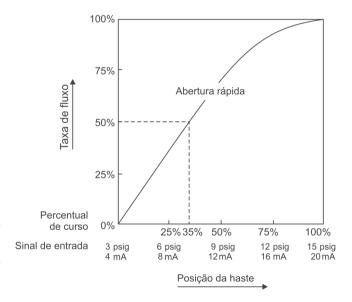


Figura 21.5 – Característica de vazão inerente do tipo abertura rápida

As válvulas que possuem a característica de vazão do tipo abertura rápida são aplicadas em processos que exigem que uma alta taxa de fluxo seja iniciada o mais rápido possível.

Permite que mais de 60% da capacidade de vazão seja obtida com apenas 40% de curso de abertura do obturador, e produz uma taxa de fluxo linear para aqueles 40% de abertura iniciais, porém, pouco ganho é conseguido após este ponto, ela praticamente estabiliza até sua abertura total.

O ganho é decrescente: à medida que o curso de abertura aumenta, a proporção na vazão diminui.

As pequenas mudanças resultam em grandes mudanças na vazão. Neste caso, o ganho da válvula é muito alto, principalmente em controle modulante. Não se recomenda para esse tipo de controle,

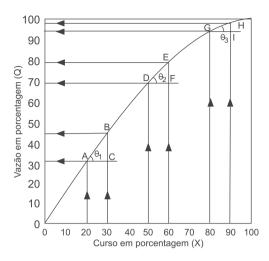


Figura 21.6 – Ganho de uma característica de vazão inerente do tipo abertura rápida (Cortesia: Hiter & Crosby do Brasil)

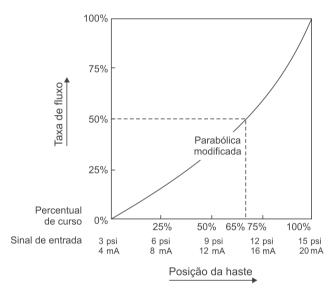


Figura 21.7 – Característica de vazão inerente do tipo parabólica modificada

por causa da instabilidade na variável controlada, em função do ganho inicial elevado. Por exemplo, se o valor da variável controlada e medida pelo sensor estiver diferente daquele desejado pelo processo, o sinal de comando do controlador somente poderá abrir ou fechar completamente a válvula.

O ganho no início da abertura é maior do que aquele no final com o aumento do fluxo. O gráfico da figura 21.6 mostra que a curva da característica de vazão estabiliza indicando pouco aumento na taxa de fluxo quando o obturador se aproxima da abertura máxima. Essa estabilização ocorre quando a área formada pelo curso de abertura do obturador se equaliza com a de passagem formada pelo diâmetro interno do anel sede.

Válvulas com esse tipo de característica têm rápido aumento na quantidade de fluxo quando abertas. Para o mesmo curso de abertura que as outras características, a vazão será sempre maior.

Da mesma forma que na característica de vazão tipo linear, uma válvula de controle que utiliza internos para esse tipo de característica de vazão deve também ser dimensionada para operar com um curso de abertura inferior a 90% da vazão máxima.

Esta característica é muito comum em válvulas cujo obturador não possui nenhuma superfície de regulagem exposta ao escoamento do fluxo (perfil caracterizado).

21.4.4 – Parabólica modificada

Essa característica é muito utilizada quando a principal queda de pressão do sistema é disponibilizada para a válvula de controle e fica entre a linear e a igual porcentagem (figura 21.7). Portanto, apresenta característica do tipo linear em maiores valores de curso do obturador e ação modulante em pequenos valores, cuja vazão é inversamente proporcional a este. Representa um ganho maior com maior curso de abertura da válvula. Por ser uma característica semelhante à linear e à igual porcentagem, esta exibe também um ganho crescente, porém, menor.

Nesse tipo, as variações na vazão são proporcionais ao quadrado do curso de abertura do obturador, muitas vezes, produzido por válvulas tipo esfera, borboleta e globo.

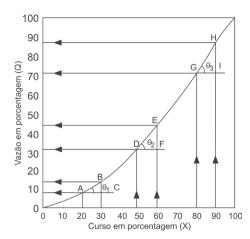


Figura 21.8 – Ganho de uma característica de vazão do tipo parabólica modificada (Cortesia: Hiter & Crosby do Brasil)

Sendo que, na característica de vazão linear, a taxa de fluxo produzida é sempre diretamente proporcional ao curso do obturador, na igual porcentagem, é sempre inferior ao curso, enquanto, na abertura rápida, é sempre superior. Na parabólica modificada, é sempre menor que o curso do obturador nos primeiros 50% de abertura, sendo maior a partir desse ponto. O gráfico da figura 21.8 demonstra este ganho.

21.5 - Alcance de faixa

Termo aplicado à taxa de máximo CV controlável na mínima queda de pressão, para o mínimo CV controlável na máxima queda de pressão. O CV calculado representa o menor valor em que a característica de vazão consegue ser mantida. Muitas vezes esse termo é chamado de taxa de CV. Em outras palavras, esta é a razão entre o CV máximo de uma válvula totalmente aberta, para o CV mínimo no qual ela pode controlar adequadamente uma

determinada taxa de fluxo e com o mínimo curso de abertura necessário do obturador. Isso significa que antes que o obturador alcance a posição fechada não existe um controle definido da taxa de fluxo de acordo com a característica de vazão adotada. Ela representa a faixa mínima e máxima de fluxo no qual o ganho não desvia de um previamente especificado, podendo também ser definida como a faixa de controlabilidade de uma válvula de controle.

O alcance de faixa é a faixa mínima e máxima de curso do obturador que a válvula pode controlar. Por exemplo, numa válvula globo sede simples, ela fica entre 20% e 85% do curso total do obturador, sendo este o seu alcance de faixa para controle. No tipo borboleta, a faixa é dada num curso máximo de 70°, que é o ângulo máximo utilizado para este fim.

A faixa em seu valor mínimo nem sempre deve ser utilizada devido aos efeitos causados por erosão nos internos, principalmente obturador e anel sede, pelo posicionamento muito próximo entre eles. A velocidade nessa região é elevada causando erosão naquelas peças quando a válvula precisa operar nesta posição por longos períodos.

O mínimo CV controlável ocorre quando a característica de fluxo (CV x curso) inicialmente desvia ou quando o interno não pode manter uma taxa de fluxo consistente. Isto pode parcialmente estar relacionado à força do atuador ou a um agarramento dos internos.

A erosão nas sedes pode ser fator a se considerar quando a válvula opera com fluidos erosivos ou com altas quedas de pressão. Portanto, um controle de fluxo erosivo ou altas quedas de pressão com líquidos deve ser evitado por longos períodos, exceto quando a superfície de vedação do anel sede e o perfil do obturador forem endurecidos. O fabricante deve ser consultado quanto ao limite de queda de pressão de acordo com o modelo da válvula e dureza de seus componentes internos, principalmente quanto às superfícies de vedação, de guia, e aos contornos do obturador.

Normalmente, os valores dados pelos fabricantes se aplicam ao CV total e não ao requerido. Por exemplo, uma aplicação que requer CV máximo de 160 numa válvula em que o orifício do anel sede é de 4,313" (109,55 mm), com um curso máximo de abertura de 2" (50,8 mm), uma característica de vazão do tipo igual porcentagem (100:1) pode ser selecionada, pois tem um CV máximo de 200. Utilizando o valor do alcance da faixa para este interno, o CV mínimo controlável é 200/100 = 2,0 e não 160/100 = 1,6. Portanto, o CV total é o que determina seu alcance de faixa e não o CV requerido.

A válvula de controle funciona de forma correta quando a relação entre o CV máximo e o mínimo fica dentro do alcance de faixa da válvula especificada.

O termo alcance de faixa só é aplicado às válvulas utilizadas para controle de fluxo, isto é, àquelas que possuem características de vazão dos tipos linear, igual porcentagem e parabólica modificada, e não para válvulas em serviços *on-off*, cuja característica de vazão é do tipo abertura rápida. Da mesma forma que ocorre com a característica de vazão, o alcance de faixa pode ser definido como inerente ou instalado.

21.5.1 – Alcance inerente

Ele é a relação entre o instalado e a pressão diferencial através da válvula. Quando o instalado é maior que o inerente, poderá ser necessário selecionar outro tipo de válvula que atenda às necessidades do processo ou utilizar duas válvulas e dividir a faixa de controle entre elas. É determinado em condições de queda de pressão constante, enquanto que o instalado é com queda de pressão variável, portanto, são obtidos da mesma forma que a característica de vazão. O inerente é a relação do maior coeficiente de fluxo para o menor no qual um desvio da característica de vazão inerente não excede os limites especificados pela ISA 75.11, seção 4. Essa faixa é a indicação de quanto o fabricante pode controlar a curva do orifício efetivo criado pela área de passagem do anel sede e o curso de abertura do obturador.

Para fornecer o alcance de faixa apropriado, o CV deve ser determinado para os extremos da operação esperada. Tipicamente a válvula de controle deve ter o máximo valor de CV em quase 90% de abertura do obturador, isto permite uma capacidade extra. A válvula deve ter um mínimo valor de CV em não menos do que 10% a 15% de posição da haste na qual pode dar um alcance de faixa razoável, principalmente porque abaixo de 10% a precisão na característica de controle da válvula é pobre.

Esta relação é de valor limitado, pois não considera a precisão do posicionador, a instabilidade do fluido de processo, a incapacidade de a válvula controlar em áreas próximas à sede e à mudança na taxa de fluxo, pela queda de pressão causada.

Essa faixa pode variar quando a válvula é instalada, porém, é uma ferramenta muito útil para a seleção, a especificação e o dimensionamento inicial da válvula de controle. A selecionada deve ter uma faixa superior ao CV calculado nas condições máxima e mínima de abertura do obturador em relação ao CV efetivo da válvula estando totalmente aberta.

Quando operando, a inerente pode não ser a faixa sobre a qual ela pode controlar. Nesta situação, a faixa controlável depende da característica de vazão instalada.

21.5.2 – Alcance instalado

O alcance de faixa instalado (disponível real) de cada válvula de controle deve reunir todas as condições especificadas. Assim, a mínima condição de fluxo deve ser totalmente controlável.

A mais significativa definição de alcance de faixa reconhece que a variação na queda de pressão é expressa como a razão do máximo CV controlável (na mínima queda de pressão) para o mínimo CV controlável (na máxima) de um sistema em particular. Ela é a relação entre o alcance inerente e a queda de pressão causada através da válvula. Obviamente, pode variar quando esta definição é aplicada.

O estilo de corpo é o que determina o valor do alcance de faixa de cada válvula, devido à sua geometria interna disponível para o escoamento do fluxo. Por exemplo, a globo sede simples é de 50:1, a esfera é de 50:1 até 300:1, já a borboleta é de 20:1. O baixo alcance de faixa das borboleta se deve ao fato de que o disco não consegue controlar a taxa de fluxo quando posicionado próximo do anel sede ou do ângulo

máximo de abertura. As tipo esfera são melhores para controle de fluxo do que as borboleta, como pode ser visto pelo maior alcance de faixa. Quanto maior ele for, maior é a precisão no controle da taxa de fluxo.

Um alcance de faixa de 50:1 significa que a válvula que tem uma característica de vazão do tipo igual porcentagem só começa a controlar a partir de 2% de vazão (100/2 = 50). Com esta taxa, o curso é considerado zero. Por exemplo, numa válvula que possui esse valor com um CV máximo de 100, ela pode controlar um CV mínimo de 2.

O alcance deve permitir o controle de fluxo nas condições mínima, normal e máxima de taxa de fluxo. Se na condição mínima não conseguir, significa que a válvula está superdimensionada, pois o obturador fica posicionado muito próximo do anel sede. Se na condição máxima também não, a válvula está subdimensionada. Neste caso, o obturador fica na posição máxima de abertura e, mesmo assim, não consegue permitir a máxima taxa de fluxo requerida pelo processo a jusante, através da área de passagem do anel sede.

21.6 – Escolha da característica de vazão

A seguir são fornecidas as diretrizes para a escolha da melhor característica de vazão. Uma análise dinâmica completa do processo deve ser feita para a escolha da característica de vazão definitiva.

A escolha da característica de vazão mais adequada a um determinado tipo de processo depende da variável que se deseja controlar. As principais variáveis são:

- Nível de líquido;
- Pressão;
- Vazão.

Linear

Para nível de líquido, a característica de vazão mais comum a ser selecionada é a linear, pois a queda de pressão é constante.

Quando a queda de pressão é reduzida devido ao aumento da vazão, por exemplo, se numa condição de vazão máxima a queda de pressão causada for superior a 20% da queda de pressão causada na vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a pressão diferencial através da válvula é 10 psi e na vazão mínima essa pressão diferencial é agora de 45 psi.

Esta característica deve ser escolhida também quando um aumento na queda de pressão, com um consequente aumento na vazão, numa condição de vazão máxima, for inferior a 200% da queda de pressão na vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a queda de pressão é de 12 psi, enquanto na vazão mínima a queda de pressão é de 45 psi.

Para controle de pressão, ela deve ser selecionada quando a queda de pressão na vazão máxima for superior a 20% da queda de pressão na vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a queda de pressão é de 16 psi e na vazão mínima a queda de pressão é de 60 psi.

Fluidos compressíveis – processos que não exigem respostas rápidas e possuem grandes volumes de fluxo, por exemplo, o processo possui um receptor, um sistema de distribuição ou uma tubulação com comprimento superior a 30 metros de tubulação a jusante da válvula de controle.

A característica de vazão linear deve ser aplicada também para controle de vazão quando o sinal enviado pelo elemento primário de medição for proporcional ao quadrado da taxa de fluxo produzida. Neste caso duas situações devem ser consideradas quando houver grandes variações na taxa de fluxo em relação ao local em que o elemento primário de medição de fluxo está instalado:

- Em série com a válvula de controle;
- Na válvula do *by-pass*; neste caso, o fechamento da válvula de controle causa simultaneamente um aumento na taxa de fluxo produzida através da válvula do *by-pass*.

Igual Porcentagem

Esta característica de vazão deve ser selecionada quando há uma redução na queda de pressão com um consequente aumento na vazão. Isto é, quando a queda de pressão numa condição de vazão máxima for inferior a 20% da queda de pressão na vazão mínima ou para controle de pressão quando o fluido for líquido. Por exemplo, na vazão máxima, a queda de pressão é 8 psi, enquanto na vazão mínima ela é de 50 psi.

Esse tipo de característica de vazão pode ser utilizado também:

- Para fluidos compressíveis em sistemas que exigem respostas rápidas;
- Em malhas cujo equipamento ou processo que recebe a taxa de fluxo vinda da válvula de controle está numa distância inferior a 3 metros desta.

Fluidos compressíveis – processos que não exigem respostas rápidas. O volume de fluido a ser controlado é grande. Reduzindo a queda de pressão com o aumento da vazão, ou seja, se o valor da queda de pressão na vazão máxima for inferior a 20% da queda de pressão na vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a queda de pressão é de 15 psi, enquanto na vazão mínima ela é de 90 psi.

Para controle de vazão quando o sinal enviado pelo elemento primário de medição for proporcional à taxa de fluxo produzida. Neste caso duas situações devem ser consideradas quando houver pequenas variações na taxa de fluxo, porém, com grandes variações na queda de pressão, com o aumento na taxa de fluxo, em relação ao local em que o elemento primário de medição está instalado:

- Em série com a válvula de controle;
- Na válvula do *by-pass*; neste caso o fechamento da válvula de controle causa simultaneamente um aumento na taxa de fluxo produzida através da válvula do *by-pass*.

Abertura Rápida

Se numa condição de aumento na queda de pressão, em que simultaneamente ocorre um aumento na vazão, deve ser selecionada uma característica do tipo abertura rápida. Isto é, se numa condição de vazão máxima a queda de pressão causada for superior a 200% da queda de pressão numa condição de vazão mínima. Por exemplo, na vazão máxima a pressão diferencial é de 90 psi e na vazão mínima é de 28 psi.

Numa curva de abertura rápida para um fluxo de água passando por uma serpentina de um trocador de calor, o formato convexo da curva significa que quando a vazão aumenta do zero, a emissão de calor aumenta numa taxa alta no início. Porém, quando a vazão é elevada, o aumento na taxa de calor é reduzido. A razão para isto é que em pequenas vazões a água leva um longo período para passar pela serpentina, assim a queda na temperatura da água pode ser grande (curso efetivo). Ao contrário, quando a vazão é elevada, a água dispende menos tempo dentro da serpentina e a queda na temperatura da água é menor.

Esse tipo de característica de vazão também existe em aplicações nas quais a válvula de controle atua como alívio de pressão (controle de pressão a montante). Nestas aplicações é recomendada também uma válvula de segurança e/ou alívio, caso a válvula de controle não venha a atuar.

23

Dimensionamento de válvulas de controle

Os cálculos de dimensionamento são utilizados para encontrar o tamanho adequado da válvula para o CV requerido pelo processo, de acordo com a vazão determinada em conjunto com a pressão diferencial. O número do CV deve ser comparado com as tabelas dos fabricantes para a seleção da válvula: tipo, bitola e característica de vazão.

O dimensionamento deve começar com os dados do processo. A energia do fluido a ser dissipada pelos internos da válvula deve ser considerada, pois ela é a pressão diferencial que a válvula deve impor para produzir uma determinada taxa de fluxo de acordo com o posicionamento do obturador. A posição do obturador em relação ao anel de vedação é determinada pelos cálculos de dimensionamento para chegar ao CV. Se os internos não conseguem manipular essa energia, podem ocorrer vibrações, além de afetar sua correta operação, resultando em péssimo controle.

Controle preciso é difícil de ser obtido quando a queda de pressão é causada pela proximidade do obturador com o anel sede. Isto ocorre nas válvulas dos tipos globo, esfera, borboleta, etc., quando superdimensionadas, pois não conseguem absorver a pressão diferencial imposta pelo processo.

Uma válvula de controle automática deve, primeiramente, ser escolhida por sua função no processo de acordo com o tipo de fluido e a queda de pressão desejada, posteriormente por seu tamanho e a capacidade de vazão requerida pelo processo. É o CV de uma válvula que determina esta capacidade. O tipo, o tamanho da válvula e sua característica de vazão devem ser selecionados somente após saber o valor do CV requerido e a função da válvula no processo.

No cálculo do CV são introduzidos vários fatores de correção permitindo que o resultado final seja preciso. Através desses cálculos é possível analisar as condições de fluxo, ou seja, se ele é crítico, subcrítico, se pode ocorrer cavitação, *flashing*, etc. Quanto menos fatores de correção forem utilizados nos cálculos de dimensionamento, mais superdimensionada estará a válvula.

As válvulas de controle automáticas são dimensionadas e selecionadas de acordo com a taxa de fluxo e a pressão diferencial requeridas pelo processo. Com o valor dessas duas variáveis é encontrado o CV da válvula que é diferente para cada modelo, bitola, posicionamento do obturador (em porcentagem ou ângulo) e característica de vazão selecionada.

No cálculo do CV, o valor requerido pelo processo deve sempre ser menor que a capacidade vazão da válvula (CV máximo), ou CV real. Portanto, o CV requerido é aquele obtido através de cálculos, de

acordo com os dados do processo, enquanto o real é selecionado através das tabelas dos fabricantes. Deve--se considerar sempre que, mesmo sendo um valor real, ele foi obtido a partir de uma queda de pressão constante e sob condições favoráveis e pode sofrer algumas alterações quando sob condições de queda de pressão variável. Essas variações podem causar pequenas diferenças em relação à taxa de fluxo produzida.

O dimensionamento correto pode ser feito através de cálculos específicos de acordo com o estado físico do fluido, se líquido ou gasoso. Com isto pode ser selecionada a válvula correta quanto à bitola, os materiais corretos quanto à resistência à corrosão e erosão de acordo com o fluido, a classe de pressão e o tipo de conexões de acordo com a pressão e temperatura, além do tipo de atuador. Nessa fase também é possível minimizar a possibilidade de ruído ou de cavitação com a aplicação de internos apropriados.

A necessidade para o dimensionamento correto é obvia: quando subdimensionadas, um fornecimento inadequado de fluido é disponível; quando superdimensionadas, os custos com a instalação ficam elevados e não há um retorno imediato do capital investido.

Se uma válvula de controle automática superdimensionada é utilizada, esta terá uma queda de pressão ainda menor, porém, um requerimento menor de bombeamento é necessário, mas as características de controle da válvula ficam prejudicadas. Como uma regra, a queda de pressão através da válvula deve ser de 25% a 33% da queda de pressão total na taxa de fluxo nominal.

A pressão diferencial bloqueada (ou máxima pressão diferencial admissível) é a máxima pressão diferencial permitida no cálculo de dimensionamento da válvula, devendo ser limitada a 50% de P1 para as válvulas de movimento linear. Somente 15% (de acordo com o modelo e fabricante) para as válvulas de movimento rotativo, para evitar a ocorrência dos fenômenos de cavitação ou *flashing*. A pressão diferencial real é aquela que ocorre sob condições reais no processo durante o controle do fluxo.

Para os cálculos de dimensionamento de uma válvula para controle de fluxo deverá sempre ser considerado o menor dos valores entre a pressão diferencial real e a pressão diferencial bloqueada ou admissível. Se a pressão diferencial bloqueada for utilizada nos cálculos de dimensionamento deve ser prevista a utilização de internos revestidos com material duro (Stellite®), ou internos anticavitantes, para evitar as consequências do *flashing* ou cavitação, respectivamente, em função da condição de vazão bloqueada.

Os parâmetros mais importantes a serem considerados quando dimensionar e selecionar uma válvula para o propósito de controle de fluxo, devem ser:

- A descrição geral da aplicação;
- A mínima, a normal e a máxima taxa de fluxo que a válvula pode controlar de acordo com uma determinada pressão diferencial ou pressão de saída;
- O tipo de fluido: água, gases e vapores, incluindo vapor d'água (saturado ou superaquecido);
- Os efeitos que a densidade e a viscosidade do fluido têm sobre a área de passagem da válvula;
- A temperatura do fluido na entrada da válvula;
- A influência da pressão do fluido a montante da válvula sobre a máxima taxa de fluxo enviada pelo processo;
- A pressão diferencial sobre a máxima capacidade de vazão efetiva da válvula.

O dimensionamento e a seleção de uma válvula de controle devem garantir uma operação confiável nas condições de projeto e operação especificadas. Os cálculos de dimensionamento de válvulas de controle automáticas devem estar baseados na norma ISA S75.01 — Flow equations for sizing control valves.

O processo não pode operar num nível eficiente sem uma válvula corretamente selecionada e dimensionada para impor uma queda de pressão adequada às reais necessidades do processo. Essa queda de pressão é menor quando a válvula está superdimensionada. Para as válvulas que são superdimensionadas, os resultados podem proporcionar falhas no controle e ciclagens em sua operação. As válvulas que são subdimensionadas podem requerer uma queda de pressão maior para manter uma vazão adequada. Dependendo das condições do processo, como pressão e temperatura a montante, pressão diferencial, pressão de vapor do fluido, relação entre a bitola da tubulação para a bitola da válvula etc, o resultado do subdimensionamento pode causar uma dificuldade maior na operação da bomba tornando a válvula mais susceptível à cavitação.

O comportamento de qualquer tipo de válvula utilizado para controle de fluxo num sistema de tubulações é definido por sua capacidade de vazão, isto é, o valor de seu CV efetivo, em relação à perda de carga, em função de um determinado tipo de fluido.

O correto dimensionamento de uma válvula de controle é de extrema importância para o bom funcionamento do processo, devido ao fato de que quando está superdimensionada ou subdimensionada, ambos
afetam a faixa sobre a qual a válvula pode fornecer uma medição precisa sobre a taxa de fluxo controlada.
Ela deve ser grande o bastante apenas para fornecer a máxima taxa de fluxo requerida pelo processo. Porém,
é muito importante também que em aplicações de controle a válvula não seja superdimensionada. Quando
uma válvula é muito grande, a máxima vazão requerida é fornecida quando ela ainda está parcialmente aberta.
Uma pequena mudança na posição da haste resulta numa desproporcional grande mudança na taxa de fluxo
produzida, principalmente no início da abertura, podendo ser calor se o fluido for vapor d'água saturado.
Isto significa que somente uma pequena porção do movimento disponível da haste é utilizada. O sistema é,
portanto, extremamente sensível em baixas e médias cargas, assim, um controle estável é difícil de manter.

Uma válvula subdimensionada precisa ter pressão diferencial maior para proporcionar a mesma capacidade de vazão que uma corretamente dimensionada. Quando subdimensionada, ela pode não permitir a vazão requerida e o processo ser prejudicado. Por outro lado, se superdimensionada, além de encarecer a instalação, ainda pode causar problemas operacionais, tais como cavitação ou *flashing* (se o fluido for líquido), pois o obturador tem que controlar muito próximo ao anel sede para compensar a pouca quantidade de fluxo e acaba desenvolvendo uma alta velocidade nessa região. Essa alta velocidade pode causar desgaste excessivo dos componentes internos. Se compressível, a alta velocidade causa erosão no diâmetro interno do anel sede e nas superfícies de vedação deste e do obturador. Causa também erosão no perfil do obturador comprometendo a característica de vazão da válvula. Erosão na parede do corpo próxima do anel de vedação, além de excessivo ruído. Uma válvula de controle superdimensionada não consegue ter boas características de controle, pois não absorve queda de pressão, ou seja, não dissipa a energia contida no fluxo. O controle obtido pode ser inadequado e instável. A perda de carga de uma válvula bem dimensionada deve ficar em torno de 25% a 33% da perda total do sistema.

O tamanho nominal não deve ser menor do que duas bitolas do tubo ao qual está conectada ou 50% menor que a tubulação, o que for menor. Se isto não for possível, a tensão mecânica causada na tubulação deverá ser avaliada. A válvula também pode ser fornecida com as conexões de entrada e saída, expandidas, permitindo ser conectadas diretamente na tubulação.

Quanto maior for essa relação de diâmetros, limitada àqueles valores mencionados, maior será o ângulo de abertura da esfera ou do curso de abertura do obturador, depende do tipo de válvula. Uma grande diferença de diâmetros pode causar cavitação na tubulação a jusante devido à alta velocidade de escoamento do fluido desenvolvida através da válvula mesmo que ela esteja totalmente aberta, além de uma excessiva vibração. A tabela 23.6 apresenta os valores do fator F_p para diversos tipos utilizados para controle de fluxo, incluindo as válvulas esfera.

A seleção e o dimensionamento corretos de uma válvula requerem o conhecimento das condições de processo em que irá operar. Se incorretos, pode ocorrer cavitação (líquidos) ou fluxo excessivamente turbulento (gases e vapores). A cavitação pode danificar severamente os componentes internos da válvula e a tubulação a jusante, pela implosão das bolhas. O fluxo turbulento aumenta a perda de carga e causa erosão por choque de fluxo em seus componentes internos.

O dimensionamento de uma válvula de controle automática pode ser dividido em quatro passos:

- Decida a mínima e a máxima vazão de um fluido (alcance de faixa para uma válvula de igual porcentagem) e a queda de pressão total;
- Defina a máxima queda de pressão total permissível pela válvula estando totalmente aberta;
- Calcule a característica de vazão instalada da válvula. Esta deve ser linear na região requerida pelo processo;
- E por último ajuste o requerimento de bombeamento (queda de pressão total) e o tamanho da válvula (CV) de modo que a máxima vazão possa ser alcançada e a curva seja linear em volta da região de operação.

23.1 – Dados necessários para o cálculo

Os dados necessários para o cálculo de uma válvula de controle envolvem as condições de vazão mínima, normal e máxima. Para essas três condições, o CV máximo selecionado deve ser o mesmo, porém, para cada condição, o curso de abertura do obturador é diferente (tabela 23.1).

	Dados de processo	
Vazão mínima	Vazão normal	Vazão máxima
Pressão de entrada	Pressão de entrada	Pressão de entrada
Pressão de saída	Pressão de saída	Pressão de saída
Temperatura	Temperatura	Temperatura

Tabela 23.1 – Dados para o cálculo da válvula de controle

A vazão é considerada normal quando, na maior parte do tempo, o obturador se mantém posicionado entre 40 e 60% do curso máximo. E mínima quando controla a taxa de fluxo numa posição de 20% do curso máximo. Nesse caso, a pressão diferencial é a máxima controlável.

Para as tipo esfera, nas condições mínimas de vazão, é ideal que o valor do CV esteja acima de 25% de abertura da esfera de acordo com as tabelas dos fabricantes.

Na máxima, o curso do obturador está num valor igual ou inferior a 85% de seu curso máximo. Nesta posição, a pressão diferencial é a mínima controlável pela válvula.

23.1.1 – Dados do fluido

- Nome;
- Estado (líquido, gás, mistura de fases);

- Particularidades (sólidos em suspensão, tendência à precipitação, abrasividade, grau de corrosão, etc.);
- Pressão de entrada (P1);
- Pressão de saída (P2);
- Temperatura;
- Máxima taxa de fluxo requerida pelo processo.

23.1.1.1 – Propriedades do fluido

Líquidos

- Gravidade específica ou densidade relativa;
- Pressão crítica;
- Pressão de vapor;
- Viscosidade.

Gases

- Gravidade específica ou peso molecular;
- Pressão crítica e temperatura crítica (ou fator de compressibilidade Z);
- Razão dos calores específicos.

23.1.2 – Dados da instalação

- Diâmetro e schedule da tubulação de entrada e saída;
- Função ou serviço;
- Necessidade de posterior expansão;
- Posição de segurança (normal aberta ou normal fechada);
- Classe de vedação;
- Frequência de operação;
- Nível de ruído admissível;
- Diferencial de pressão para cálculo do atuador.

23.2 - Coeficiente de fluxo (CV)

Esse termo representa o índice de capacidade de vazão da válvula e foi desenvolvido e introduzido em 1940 por *Ralph H. Rocwell* e publicado oficialmente em 1944, sendo desde então utilizado nas equações de dimensionamento de válvulas de controle automáticas. Anteriormente, as equações eram utilizadas somente para se encontrar o diâmetro da válvula, independente de sua geometria interna.

Novas equações foram desenvolvidas e, de acordo com diversos fatores de correção e o tipo de fluido e aplicação desejada, o modelo e a bitola da válvula poderão ser diferentes. Se for exigida uma válvula globo sede simples, a bitola será maior do que uma esfera ou borboleta para o mesmo valor de CV.

O CV é definido como a quantidade de "galões (americanos) por minuto" (gpm) de água a 60°F (15,56°C) que podem passar por uma válvula totalmente aberta e com uma queda de pressão de 1 psi (0,07 kgf/cm²) entre sua entrada e saída. A água é utilizada como fluido padrão para se determinar a taxa de fluxo, pois sendo incompressível ela depende apenas da pressão diferencial. Isto significa que o volume dos líquidos não varia quando submetido a uma temperatura fixa, portanto, aquele será o volume máximo permitido pelo tempo de um minuto com ela totalmente aberta.

Por exemplo, uma válvula totalmente aberta, com CV de 200, significa que a quantidade de fluxo de água, numa temperatura de 60°F, com queda de pressão de 1 psi, que ela permite passar, será 200 gpm e assim por diante. Aumentando-se o valor da queda de pressão através da válvula, o valor do CV fica menor que a taxa de fluxo requerida, para um fluido na mesma temperatura e densidade da água. Na definição do CV, a pressão diferencial deverá ser sempre 1 psi, independente do valor da pressão a montante, pois o volume da água não se altera com a pressão. O valor do CV somente é fixo enquanto a válvula estiver totalmente aberta. Para aberturas inferiores à máxima, dependerá do perfil formado pelo obturador em relação ao anel sede, que irá disponibilizar uma determinada área para escoamento do fluxo.

Cada tipo e tamanho de válvula possui CV determinado pela geometria interna do corpo e dos componentes internos. Isto significa que quanto maior for a restrição ao escoamento do fluido, menor será a capacidade de vazão e, por isso, diferentes modelos de válvulas possuem diferentes números de CV's. Portanto, ele define o comportamento em relação à perda de carga decorrente da vazão de um determinado tipo de fluido. Sendo assim, em bitolas iguais, as que têm perdas de cargas semelhantes oferecem capacidades de vazão semelhantes. Porém, as válvulas de bitolas iguais, porém, de tipos diferentes, apresentam valores de capacidade de vazão completamente diferentes mesmo para iguais valores de pressões diferenciais.

O CV máximo de uma válvula de controle, além de sua característica de vazão e grau de vazamento, é determinado pela configuração dos internos, principalmente o anel sede e o obturador. O contorno da face do obturador modifica a área de passagem do fluxo entre este e o anel sede; quando a pressão diferencial é mantida constante obtém-se uma característica de vazão inerente da válvula. A característica de vazão é simplesmente uma variação no CV com uma determinada variação no curso do obturador. Desta forma, válvulas com diferentes características no perfil do obturador também proporcionam diferentes características de vazão para o mesmo curso de abertura, consequentemente, os valores obtidos para o CV também são. Um interno com perfil caracterizado é sempre melhor para o controle de fluxo. As diferenças no perfil do obturador causam variações na sensibilidade de controle, principalmente entre válvulas de fabricantes diferentes para o mesmo curso do obturador.

O valor do CV varia baseado na posição do obturador em relação ao anel sede e ao seu perfil exposto ao escoamento do fluxo. As características de controle dependem da posição e do perfil do obturador.

O coeficiente de fluxo descreve a relação entre pressão e vazão através de uma válvula. Cada fabricante tem esses valores constantes, havendo diferença apenas entre fabricantes. A válvula de determinado fabricante não terá o mesmo CV que a de outro fabricante, ainda que com a mesma bitola, modelo, curso de abertura e característica de vazão, pois o perfil do obturador será diferente, podendo requerer um ajuste adicional no posicionador.

Cada projeto possui diferenças na área de passagem do fluxo, portanto, isto faz com que variações no desempenho hidrodinâmico influenciem no coeficiente de vazão, na perda de carga causada e em todo o processo.

Nos líquidos, o volume não varia com a pressão, somente com a temperatura. Já nos gases, varia com a pressão. Portanto, devido a essas características, as equações utilizadas nos cálculos de dimensionamento para gases são diferentes das equações para líquidos, porém, os resultados são dados em números de CV's. O CV encontrado nos cálculos de dimensionamento são sempre os mesmos, para cada bitola e ângulo de abertura ou posicionamento do obturador, independente se o fluido é líquido ou gás, apenas a equação muda.

Os gases modificam sua densidade durante o escoamento em função da queda de pressão; nos líquidos, essa densidade é fixa, independente da queda de pressão. Quando o líquido está em alta temperatura não ocorrem variações nesta densidade se a temperatura for fixa ou houver vaporização, deste. Quando há vaporização apenas o volume do líquido é reduzido.

Nas válvulas do tipo borboleta, o CV máximo para controle é dado a 70° de abertura do disco, enquanto para serviços *on-off* o máximo é conseguido a 90° de abertura. O valor do CV depende das variações na pressão a montante e nas variações da taxa de fluxo que são produzidas pelo posicionamento do disco.

O valor do CV está relacionado com a geometria interna do corpo da válvula, numa determinada posição de abertura do obturador, portanto, o CV máximo ocorre quando o obturador atinge seu curso máximo. Sendo que a geometria interna do corpo é fixa, as variações no CV só ocorrem por variações no curso do obturador.

Na posição de abertura máxima do obturador, o CV é o mesmo independente da característica de vazão da válvula. Em posições de abertura menores, o CV tem diferentes valores de acordo com o perfil do obturador exposto ao fluxo.

O CV reúne todos os efeitos causados pela geometria do corpo e internos da válvula em sua capacidade de vazão. Nesses efeitos está incluído o tamanho da área de passagem da válvula e as mudanças impostas ao direcionamento do fluxo. O valor do CV é sempre proporcional à área disponível ao escoamento do fluxo, e, quanto maior for essa área, maior também será o valor do CV obtido.

Comparando diferentes tipos de válvulas da mesma bitola e totalmente abertas: enquanto a de esfera de passagem plena com diâmetro 6" possui um CV de 3094, a borboleta convencional revestida internamente possui CV de 1950. Uma outra válvula borboleta, porém, triexcêntrica no mesmo diâmetro, possui um CV de 684 e, por último, uma globo estilo gaiola, com a área de passagem do anel sede maior que a área do corpo e com característica de vazão do tipo linear, que proporciona a maior taxa de fluxo para esse tipo de válvula, e nessa bitola, possui CV de 410. Portanto, as variações no valor de CV também estão associadas com a área de passagem do fluxo e não somente ao modelo da válvula. Como esses valores dependem da geometria que é disponibilizada para o escoamento do fluido, eles também podem variar um pouco entre fabricantes.

Primeiramente é importante selecionar o tipo de válvula de acordo com a aplicação desejada, e depois, a partir do cálculo do CV, o tamanho correto, cujo valor do CV seja igual ou maior que aquele calculado. O CV escolhido deve manter o curso de abertura do obturador entre 20% e 85% do CV nominal da válvula de acordo com a característica de vazão selecionada.

Quando já tiver selecionado o tipo de válvula de acordo com sua função no processo, ter feito os devidos cálculos de dimensionamento e ter selecionado também a característica de vazão que melhor atenda aos requerimentos do processo, conforme descrito no capítulo 21, recorra às tabelas dos fabricantes para selecionar sua bitola.

O CV obtido é dividido pelo CV efetivo da válvula escolhida, e, de acordo com a característica de vazão desejada, determina a porcentagem de curso do obturador para aquela taxa de fluxo requerida. Isto para as de movimento linear. Com aquelas de movimento rotativo, é o ângulo de abertura do obturador que determinará o valor do CV. Para esse tipo, o valor requerido pelo processo e dividido pelo efetivo da válvula na posição de abertura máxima para controle determinará a porcentagem de abertura do obturador.

23.3 - Cálculo do CV

O cálculo do CV é a prática mais utilizada para se determinar a capacidade de vazão de uma válvula de controle, mas raramente aplicado em válvulas utilizadas para bloqueio. Para essas aplicações, a de bloqueio é selecionada de acordo com o CV total requerido pelo processo, resultando numa válvula com a mínima queda de pressão e completamente aberta.