

# VÁLVULAS DE SEGURANÇA PARA CALDEIRAS E PROCESSOS INDUSTRIAIS

Autor: Artur Cardozo Mathias

## ÍNDICE

<i>INTRODUÇÃO.....</i>	<i>2</i>
<i>VÁLVULAS DE SEGURANÇA PARA CALDEIRAS.....</i>	<i>3</i>
<i>VÁLVULAS DE SEGURANÇA PARA VASOS DE PRESSÃO.....</i>	<i>5</i>
<i>VÁLVULAS SEGURANÇA PILOTO-OPERADAS.....</i>	<i>7</i>
<i>A MOLA NAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA.....</i>	<i>8</i>
<i>BOCAL E DISCO.....</i>	<i>10</i>
<i>VEDAÇÃO DAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA.....</i>	<i>11</i>
<i>PROTEGENDO O LADO DE BAIXA PRESSÃO DE VÁLVULAS REDUTORAS.....</i>	<i>12</i>
<i>FENÔMENOS OPERACIONAIS DAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA.....</i>	<i>13</i>
<i>TOLERÂNCIA DO CÓDIGO ASME PARA CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO.....</i>	<i>15</i>
<i>FLUXO CRÍTICO.....</i>	<i>16</i>
<i>FÓRMULAS DE DIMENSIONAMENTO.....</i>	<i>18</i>
<i>NOMENCLATURA.....</i>	<i>18</i>
<i>CONCLUSÃO.....</i>	<i>20</i>

## INTRODUÇÃO

A função de toda válvula de segurança instalada em caldeiras ou processos industriais é aliviar o excesso de pressão, devido ao aumento da pressão de operação acima de um limite pré-estabelecido no projeto do equipamento por ela protegido.

Os termos "segurança", "alívio" e "alívio e segurança" se aplicam às válvulas que têm a finalidade de aliviar a pressão de um sistema. Nas indústrias de processo químico em geral, costuma-se chamar todas estas de válvulas de segurança, porém, existem diferenças, principalmente no tipo de fluido e conseqüentemente no projeto construtivo de cada uma.

A válvula de segurança é aplicada em serviços com fluidos compressíveis, como gases e vapores, aliviando o excesso de pressão de forma rápida e instantânea (ação pop).

A válvula de alívio abre gradualmente em proporção ao aumento de pressão do sistema ao qual ela está instalada e após ser atingida a pressão de ajuste. Aplica-se normalmente em serviços com líquidos. Nessas válvulas, o curso de abertura é sempre proporcional à sobrepressão do sistema.

A válvula de alívio e segurança pode operar tanto com gases e vapores ou líquidos, depende da aplicação.

Em muitas indústrias essas válvulas são chamadas de PSV (Pressure Safety Valve) no caso das válvulas de segurança ou PRV (Pressure Relief Valve) para as válvulas de alívio.

O objetivo de se instalar uma válvula de segurança é a proteção de vidas e propriedades. Essa proteção ocorre quando a válvula é capaz de descarregar uma determinada taxa de fluxo, suficiente para reduzir a pressão de um sistema à um nível seguro. Essa taxa deve ser prevista em seu dimensionamento, considerando a pior condição esperada.

Válvula de segurança é um dispositivo de alívio de pressão que existe desde 1682, quando foi inventada pelo francês Denis Papin. O modelo inventado por Papin funcionava com um sistema de contrapeso, onde um peso ao ser movimentado ao longo de uma alavanca alterava a pressão de ajuste.

Em 1848 o inglês Charles Ritchie foi o primeiro a introduzir um meio de aproveitar as forças expansivas do fluido para aumentar o curso de abertura do disco da válvula. Este nada mais era do que um lábio em volta da área de vedação do bocal, porém, era fixo. Hoje no lugar desse lábio existe o anel do bocal, uma peça rosqueada usada para variar a força de abertura da válvula.

Em 1863 Willian Naylor introduziu mais uma melhoria para aumentar o curso de abertura da válvula, aumentando a força reativa. Esta melhoria agora era um segundo lábio em volta do disco, e que hoje em dia é uma saia na face inferior do suporte do disco.

As válvulas modernas utilizam os princípios de projeto de ambos para aproveitar as forças reativas e expansivas do fluido de processo para alcançarem o curso máximo e conseqüentemente a vazão máxima.

A válvula de contrapeso devido a sua falta de precisão foi responsável por diversas explosões de caldeiras e vasos de pressão e conseqüentes perdas de vidas. O Código ASME Seção I não permite que sejam instaladas válvulas de contrapeso em caldeiras.

Somente a partir de 1869 é que foi inventada a válvula de segurança tipo mola a partir do projeto de dois americanos, George Richardson e Edward H. Ashcroft.

O ASME (American Society of Mechanical Engineers) foi organizado em 1880 como uma Sociedade Técnica e Educacional de Engenheiros Mecânicos.

Entre os anos de 1905 e 1911 houve na região de New England nos Estados Unidos, aproximadamente 1700 explosões de caldeiras e que resultou na morte de 1300 pessoas.

Em função disto o ASME foi chamado para elaborar um código de projeto. Assim foi formado um Comitê de Caldeiras e Vasos de Pressão e com este surgiu a primeira seção do código ASME para Vasos de Pressão Submetidos a Fogo (Caldeiras).

Esta seção do código tornou-se uma exigência obrigatória em todos os estados dos EUA que reconheceram a necessidade por um regulamento. Foi publicada então em 1914 e formalmente adotada na primavera de 1915.

Existem normas e padrões reconhecidos mundialmente que descrevem regras e procedimentos quanto ao projeto, dimensionamento, inspeção e instalação de válvulas de alívio e/ou segurança em caldeiras e processos industriais.

## **VÁLVULAS DE SEGURANÇA PARA CALDEIRAS**

Conforme determinado no parágrafo P.G.67.1 do código ASME Seção I. Toda caldeira em que a superfície de aquecimento for superior a 500 pés (46,5m<sup>2</sup>) deverá ter no mínimo duas válvulas no tubulão superior (balão de vapor), da mesma forma em caldeiras elétricas com mais de 1100 KW/hr de potência.

No caso das caldeiras aquatubulares providas de superaquecedor, a válvula de segurança deste deverá ser responsável por 15% a 25% da capacidade total de geração de vapor da caldeira.

Assim, as válvulas instaladas no tubulão superior devem ser responsáveis pela quantidade restante de vaporização da caldeira.

Todas as válvulas de segurança que protegem o corpo da caldeira (tubulão e superaquecedor) devem ser capazes de aliviar o excesso de pressão desta, de tal forma que a pressão máxima de acúmulo não ultrapasse 6% da PMTP (Pressão Máxima de Trabalho Permissível) com todas as válvulas de segurança totalmente abertas e aliviando. Para isso a soma da capacidade de vazão dessas válvulas deverá ser igual ou superior a capacidade máxima de vaporização da caldeira.

A pressão máxima de acúmulo ou acumulação é definida como sendo um aumento de pressão acima da PMTP permitido dentro da caldeira (ou vaso de pressão) com as válvulas de segurança abertas e descarregando. É o mesmo que sobrepressão quando a válvula está ajustada abaixo da PMTP.

A sobrepressão é um aumento de pressão acima da pressão de ajuste da válvula necessário para que a válvula possa atingir seu curso máximo de abertura e conseqüentemente a capacidade máxima de vazão, ou seja, a vazão está sendo limitada pela área da garganta do bocal.

As válvulas de segurança instaladas no corpo da caldeira têm a sobrepressão em 3%, tanto no tubulão superior como no superaquecedor.

As válvulas instaladas no tubulão deverão ter uma capacidade de vazão juntas de no mínimo 75% da capacidade de vaporização da caldeira, para isso a área do orifício do bocal dessas válvulas poderão ser iguais ou diferentes; quando forem diferentes, a área de passagem da válvula menor deverá ser superior a 50% da válvula maior.

As pressões de ajuste dessas válvulas poderão ter uma diferença máxima de 3% da primeira para a segunda válvula, instaladas no tubulão. Se houver mais que duas válvulas no tubulão a última válvula deverá ter uma diferença máxima de 3% para a primeira válvula.

Numa eventual sobrepressão da caldeira, onde pode ser exigida a abertura de todas as válvulas de segurança, deverá haver uma seqüência exata de abertura entre elas, com isso deverá ser considerada a perda de carga entre o tubulão superior e o superaquecedor.

As válvulas de segurança de caldeiras normalmente têm dois anéis de ajuste para controlar o ciclo de abertura e fechamento destas. Existem projetos que não possuem esses anéis.

O anel superior tem a função de controlar o diferencial de alívio da válvula, fazendo com que o vapor ao sair do bocal mude sua direção em 180° e formando junto com o anel deste, uma câmara acumuladora que irá multiplicar a força reativa contra a força da mola, fazendo com isto que o disco alcance seu curso máximo. O código ASME Seção I exige 4% ou 4 PSIG, o que for maior, para o diferencial de alívio das válvulas de segurança instaladas em caldeiras.

As válvulas de segurança operando no tubulão superior da caldeira têm como fluido o vapor saturado. Este vapor tem a particularidade de que para cada pressão haverá sempre uma temperatura definida. Estando no estado superaquecido, esses valores dependerão da temperatura de superaquecimento em relação à temperatura de saturação para aquela pressão. Sendo assim, são esperadas algumas variações na posição desses anéis de acordo com a pressão e temperatura.

O volume específico e a temperatura do vapor superaquecido são maiores que a do vapor saturado para a mesma pressão (transformação isobárica).

Quanto maior é a temperatura do vapor superaquecido em relação ao vapor saturado para a mesma pressão maior será seu volume específico. No dimensionamento usa-se um fator de correção (Ksh) que adequa esse aumento de volume à área de passagem do bocal da válvula de segurança. Para vapor superaquecido o valor de Ksh é sempre menor que 1, para vapor saturado, esse valor será sempre 1, independente da pressão e temperatura. Os valores de Ksh são encontrados nos catálogos dos fabricantes.

A válvula de segurança instalada no superaquecedor deverá sempre ser a primeira a atuar no caso de uma sobrepressão da caldeira, com isso haverá sempre um fluxo contínuo através dos tubos do superaquecedor. A temperatura do vapor saturado entrando nesses tubos apesar de alta, será sempre menor que a temperatura do vapor superaquecido, ocorrendo a refrigeração de seus tubos.

A diferença básica das válvulas de segurança de caldeiras para as válvulas de segurança instaladas em vasos de pressão está em sua construção.

As válvulas de segurança operando em vasos de pressão deverão ter alavanca de acionamento sempre que o fluido for compressível ou no caso de água quente acima de 140°F (60°C). Essa alavanca tem a função de abrir a válvula manualmente quando a pressão do processo estiver abaixo de sua pressão de ajuste; em casos de emergência se a válvula de segurança não abrir na pressão de ajuste especificada ou até mesmo para expulsar algum material estranho que tenha ficado preso entre as sedes no momento de fechamento da válvula. O acionamento dessa alavanca só deve ser efetuado quando a pressão mínima do processo for de 75% da pressão de ajuste da válvula de segurança. Se isto não for obedecido e a alavanca for acionada, a vedação da válvula poderá ser danificada em função do diferencial de força existente neste momento entre a força da mola e a força gerada pela pressão do processo atuando na área do bocal não ser suficiente para amortecer a força da mola.

Para as válvulas de segurança instaladas em caldeiras cujas pressões de ajuste sejam inferiores a 400 PSIG (28,12kgf/cm<sup>2</sup>), devem ser manualmente acionadas para a verificação do funcionamento de suas partes internas.

No caso das válvulas de segurança instaladas em caldeiras, além da alavanca de acionamento que é obrigatória, o castelo aberto só é obrigatório na válvula do superaquecedor sempre que a temperatura de alívio for superior a 450°F (232°C) conforme o código ASME Seção I parágrafo PG 68.6.

O castelo aberto aumenta a troca térmica entre a mola e o meio ambiente, diminuindo a tendência ao relaxamento da força desta devido à temperatura, mantendo o valor da pressão de ajuste constante.

A mola anula a força resultante formada na área do bocal devido à pressão do fluido e mantém a válvula fechada. A mola “perde” essa força após o início da abertura da válvula. Sua força nunca excede a força do fluido atuando embaixo do suporte do disco quando a válvula está totalmente aberta. Em função da área embaixo do suporte do disco ser maior que a área do bocal, a válvula só irá fechar quando a pressão atuando embaixo do suporte do disco cair a um ponto onde a força gerada nesta área for igual àquela da área do bocal no momento da abertura, ou seja, como área do suporte do disco é maior, para gerar a mesma força do momento da abertura a pressão deverá ser menor. Em outras palavras, quando a pressão do processo atuando na área de vedação do bocal gerar uma força que se equalize com a força da mola, a válvula abre. E quando essa pressão do processo que está atuando na face inferior do suporte do disco se equalizar com a força da mola, a válvula fecha.

O castelo fechado é usado para proteger a mola contra intempéries ou um ambiente corrosivo; ou quando a válvula opera com pressão no lado da descarga, (contrapressão), mas esta condição não é aceita para válvulas de segurança operando em caldeiras, onde a descarga é feita de forma curta e direta para a atmosfera. O único tipo de compressão que até pode ser encontrado em válvulas de segurança operando em caldeiras é a contrapressão desenvolvida, que ocorre devido a uma tubulação de descarga mal-projetada ou mal-dimensionada.

Entre a válvula de segurança e a caldeira ou entre a válvula de segurança e a tubulação de descarga não é permitido em hipótese alguma válvula de bloqueio, disco de ruptura ou qualquer outro acessório que venha interferir com a capacidade de vazão da válvula ou isolar esta da caldeira, conforme determinado pelo Código ASME Seção I em PG 71.2.

Para vasos de pressão, o Código ASME Seção VIII permite desde que sejam obedecidas as regras por ele estabelecidas.

O período máximo de inspeções das válvulas de segurança operando em caldeiras dependerá da função da caldeira. As caldeiras de recuperação de álcalis são no máximo 12 meses. No caso das caldeiras de força esse período é de no máximo 24 meses, desde que aos 12 meses sejam feitos testes para aferição da pressão de ajuste dessas válvulas, conforme determina a NR13.

O período para inspeção e manutenção das válvulas de segurança é definido pelo período de manutenção e inspeção interna dos equipamentos por elas protegidos.

## **VÁLVULAS DE SEGURANÇA PARA VASOS DE PRESSÃO**

Uma válvula de segurança quando protege um vaso de pressão dentro de um processo industrial, pode ser tanto convencional ou balanceada, depende da aplicação. A principal diferença entre uma válvula convencional para uma válvula balanceada está em seu projeto construtivo.

A válvula balanceada possui um fole que cobre a parte superior do suporte do disco e a guia da válvula. A área do disco é igual a área do fole, e é essa equalização de áreas que anula as forças que atuam principalmente no sentido axial do suporte do disco, com isto a pressão de ajuste não é afetada pela contrapressão.

A contrapressão é a pressão que atua no lado da descarga de uma válvula de segurança. Essa contrapressão pode ser superimposta (constante ou variável) ou desenvolvida.

A contrapressão superimposta é aquela que existe na saída da válvula de segurança antes de sua abertura. Ela aumenta a pressão de ajuste da válvula proporcionalmente ao seu valor. Se esta contrapressão superimposta for constante o seu valor poderá ser descontado do valor da pressão de ajuste da válvula. Com isto a válvula deverá ser ajustada em bancada num valor que será a pressão de ajuste desejada menos o valor da contrapressão superimposta constante. Mas isto só ocorre quando o castelo não tem furo de alívio. Em válvulas que possuem esse furo de alívio, a pressão de ajuste é reduzida de forma proporcional à contrapressão. Essa condição pode ocorrer em válvulas balanceadas, devido a quebra do fole.

Quando o fluido de processo não pode vaziar para o ambiente é recomendado o uso de castelo fechado e com o fluido de descarga sendo levado a um local seguro.

A contrapressão superimposta altera todas as características operacionais da válvula, como pressão de abertura, pressão de fechamento, curso do disco e capacidade de descarga. Esta contrapressão ocorre antes mesmo que a força gerada na área do bocal (pelo fluido do processo), mais a soma do valor da contrapressão, se equalize com a força da mola.

A contrapressão desenvolvida é aquela que ocorre somente após a abertura da válvula de segurança devido ao fluxo na tubulação de descarga. O valor da contrapressão desenvolvida é recomendado pelos fabricantes para ser 10% para uma sobrepressão

também de 10%. Se o valor da contrapressão desenvolvida for maior que o valor da sobrepressão poderá ocorrer um fenômeno operacional denominado chattering.

A contrapressão desenvolvida não altera a pressão de ajuste e as características de abertura da válvula de segurança, pois esta só ocorre após a válvula ter aberto e atingido sua capacidade máxima de descarga. Porém, ela altera as características do diferencial de alívio e o valor de sua pressão de fechamento.

A contrapressão desenvolvida pode ocorrer com mais facilidade nas válvulas de segurança de diâmetros maiores, se estas atingirem a capacidade máxima de descarga, pois a relação entre a área de descarga da tubulação de saída para área de passagem do bocal é menor nos diâmetros maiores e maior nos diâmetros menores.

Por exemplo, uma válvula de segurança tamanho 1"x2" , orifício D (0,110 pol<sup>2</sup>) terá para essa relação um valor de 28,5 , enquanto uma válvula 8"x10" , orifício T (26 pol<sup>2</sup>) terá um valor de 3,02.

Isto significa que a área na tubulação de descarga de uma válvula 8"x10" será de 3,02 vezes maior que a área de passagem do bocal, enquanto uma válvula 1"x2" terá uma área de tubulação de descarga de 28,5 vezes maior que a área de passagem do bocal.

Portanto o projeto e o dimensionamento da tubulação de descarga se tornam mais críticos quanto maior for o tamanho da válvula e sua pressão de ajuste. Quando for necessário o uso de uma válvula de segurança com pressão de ajuste e vazão altas, será melhor optar por várias válvulas menores com ajustes escalonados e que no final tenham a mesma capacidade de vazão necessária.

A contrapressão variável geralmente ocorre quando diversas válvulas com pressões de ajuste diferentes e/ou com capacidades de alívio diferentes descarregam dentro de um mesmo coletor, fazendo com que o valor da pressão do coletor varie de tempo em tempo. Se este valor for inferior a 10% da pressão de ajuste das válvulas a ele conectadas e essa variação for aceita pelo processo, essas válvulas poderão ser convencionais, mas se esse valor for maior que 10% é recomendado o uso de válvulas de segurança balanceadas com fole.

A válvula balanceada com fole pode ser usada em condições de contrapressão variável limitada a 50% da pressão de ajuste ou também para isolar o suporte do disco, guia e toda a parte superior da válvula do fluido de processo ou do fluido da própria contrapressão, podendo ser ele corrosivo ou altamente viscoso. Um fluido muito viscoso atuando no sistema de guia de uma válvula de segurança atrasa seu ciclo operacional, aumentando seu diferencial de alívio (Blowdown).

O fole anula ou minimiza os efeitos da contrapressão que atuam sobre o suporte do disco, fazendo com que esses não alterem o valor da pressão de ajuste da válvula, porém, a capacidade de alívio é reduzida.

O castelo de uma válvula de segurança balanceada com fole deve atuar na pressão atmosférica para que o fole se retraia e se estenda livremente durante o ciclo operacional desta.

A contrapressão variável atuando numa válvula balanceada com fole quando aberta e aliviando faz com que a força que mantém a válvula aberta seja reduzida proporcionalmente ao valor da contrapressão. Existem também as válvulas de segurança com fole não-balanceado que são usadas apenas para isolar a parte superior do castelo da válvula, não anulando os efeitos da contrapressão. Se este tipo de válvula for usado sob contrapressão (constante apenas), o valor desta irá reduzir a pressão de ajuste da válvula de segurança de forma proporcional, sendo assim a pressão de ajuste deverá ser compensada, só que agora a pressão de ajuste deverá ser aumentada em bancada num valor acima daquele esperado para a válvula abrir, na mesma proporção da contrapressão.

Em condição normal de operação um diferencial mínimo de pressão de 10% para processos e 7% para caldeiras deve ser mantido. Para as válvulas operando com pressões de ajuste de 50 PSIG e abaixo, esse diferencial deverá ser de 5 PSIG sempre. Para as válvulas protegendo a saída de bombas e compressores esse diferencial poderá ser um pouco maior.

O diferencial de pressão mínimo entre a pressão de operação e a pressão de ajuste, jamais poderá ser menor que o diferencial de alívio da válvula, caso contrário, se a válvula abrir, ela só irá fechar se a pressão de operação for reduzida, podendo causar um transtorno no processo.

O diferencial de alívio de uma válvula de segurança (Blowdown) é a relação entre a pressão de abertura e a pressão de fechamento da válvula, expressado sempre em porcentagem da pressão de ajuste ou em unidades de pressão.

Conforme exigido pelo código ASME Seção VIII, todo vaso de pressão que possa ser submetido a uma pressão de pelo menos 15PSIG, deve ter no mínimo uma válvula de segurança ajustada na PMTP do equipamento, com uma acumulação permissível de 10%. Quando for usada mais de uma válvula, a acumulação máxima permitida será 16%. Assim, se ajustarmos a primeira válvula para abrir na PMTP do equipamento, a segunda ou última válvula (se houver mais que duas) deverá ser ajustada no máximo 5% acima da PMTP.

Nos casos contendo múltiplas válvulas aliviando, a acumulação pode ser maior, pois a tensão sob a parede do vaso de pressão é menor.

Quando a pressão dentro do vaso for igual ou superior a 15 PSIG utiliza-se válvula de segurança. Quando essa pressão for inferior a 15 PSIG, utiliza-se válvula de alívio para vácuo. 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 colapso deste.

Para tanques de alimentação de água para caldeiras ou qualquer outro equipamento em que a pressão interna possa oscilar entre o vácuo ou uma pressão superior a atmosférica, obrigatoriamente deve haver tanto a válvula para alívio de vácuo, quanto a válvula de alívio de pressão. O API-RP-2000 define as práticas recomendadas para a instalação de válvulas de alívio em tanques sujeitos a vácuo.

Válvulas de segurança quando protegem vasos de pressão ou tubulações em processos industriais é permitido pelo Código ASME Seção VIII o uso de válvula de bloqueio na entrada ou saída destas, porém, nesses casos é recomendado o uso de válvula gaveta que possuem passagem plena. As válvulas tipo globo não permitem um fluxo contínuo devido às bruscas mudanças deste dentro da válvula, (duas vezes por 90°) causando chattering, devido a alta queda de pressão causada pelo contorno do fluxo dentro desse tipo de válvula.

A capacidade de vazão de uma válvula de segurança é a relação entre a área de passagem e a pressão a qual a válvula é ajustada para abrir. Essa área de passagem que é a menor área existente no bocal são padronizadas pelo API 526 e designadas por letras que vão desde "D" até "T" (0,110 pol<sup>2</sup> até 26 pol<sup>2</sup>), comercialmente disponíveis em tamanhos 1 "x 2" até 8 "x 10", respectivamente. Existem válvulas menores e maiores que essas, mas que não são padronizadas por este órgão.

A capacidade de vazão é dada em kg/hr ou Lbs/hr para vapor d'água, SCFM ou m<sup>3</sup>/hr para gases ou ar comprimido e GPM para líquidos. Essas unidades de vazão são as mais utilizadas, mas existem outras que não foram mencionadas aqui.

Os cálculos necessários para o dimensionamento são encontrados no API-RP-520-Parte 1. Nesse padrão também podem ser encontrados cálculos para condições de fogo onde é exigida uma acumulação de 21%.

O resultado desses cálculos é de 90% da capacidade de vazão real das válvulas, conforme determinado pelo código ASME Seção I e Seção VIII.

Para contrapressões superiores a 50% e até 90% da pressão de ajuste se utilizam válvulas de segurança piloto-operadas.

## **VÁLVULAS SEGURANÇA PILOTO-OPERADAS**

A válvula de segurança piloto-operada é aquela em que a válvula principal é combinada e controlada por uma pequena válvula de alívio auxiliar.

Essas válvulas podem ser de ação rápida ou ação modulante. O piloto pode ser com ou sem escoamento.

No piloto sem escoamento, após ser atingida a pressão de ajuste deste, o fluxo pelo piloto é interrompido, fluindo apenas pela válvula principal.

Nas válvulas de ação modulante, o curso de abertura é proporcional à sobrepressão do sistema mesmo que o fluido seja compressível, diminuindo as perdas durante a descarga.

São de alta capacidade de alívio e utilizadas onde se necessita de válvulas que ocupem pouco espaço, altas pressões, baixos diferenciais de pressão e altas contrapressões. É uma válvula que não precisa atingir a sobrepressão para alcançar a capacidade máxima de vazão.

Nas válvulas de segurança piloto-operadas, quanto mais a pressão de operação se aproxima da pressão de ajuste, mais a força de vedação sobre o disco da válvula aumenta. Isso é uma característica que só ocorre nas válvulas de segurança piloto-operadas, pois áreas diferentes no pistão usando a mesma pressão do processo têm forças resultantes diferentes que mantêm a válvula de segurança fechada, ou seja, a área superior do pistão gera uma força de fechamento maior que a força de abertura na entrada com a mesma pressão. Sendo assim, no momento da abertura, a pressão sobre o pistão deve ser reduzida até 70% da pressão de ajuste para que as forças atuando sobre o pistão se anulem e a válvula possa iniciar a abertura.

É esta diferença de área que mantém a válvula fechada até o momento exato da abertura. Quando a pressão na parte superior do pistão é aliviada pelo piloto, a válvula abre. Quando a pressão do processo é reduzida, o piloto fecha e novamente pressuriza a área superior do pistão e assim a válvula principal fecha.

Numa válvula de segurança acionada com mola, quanto mais a pressão de operação se aproxima da pressão de ajuste, menor é a força da mola sobre o disco da válvula.

Devido ao curto blowdown das válvulas de segurança piloto-operadas (aproximadamente 2% da pressão de ajuste) e a vedação resiliente da sede, elas são muito usadas onde a pressão de operação se aproxima muito da pressão de ajuste.

Essas válvulas não têm sua pressão de ajuste afetada pela contrapressão, pois o tubo de alimentação do piloto não entra em contato com o fluido que atua no flange de saída da válvula.

A capacidade de vazão desse tipo de válvula pode ser alterada trocando-se apenas o bocal, mantendo o mesmo corpo e as outras peças internas.

A pressão de ajuste da válvula piloto pode ser alterada no campo, sem que ocorra a abertura da válvula principal.

## **A MOLA NAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA**

Estas são responsáveis por uma parte da performance correta das válvulas de segurança. Toda mola para uso nesse tipo de dispositivo tem uma faixa definida de trabalho. Por isso a pressão de ajuste da válvula deve sempre estar dentro dos limites mínimos e máximos especificados pelo fabricante.

Quando não se tem os valores dessa faixa de trabalho, uma variação de 10% para mais ou para menos é aceitável pelas normas de projeto, para pressões de ajuste até 250 PSIG (17,577 kgf/cm<sup>2</sup>) e 5% para pressões de ajuste maiores, tanto para caldeiras ou vasos de pressão, a partir da pressão de ajuste original marcada na plaqueta da válvula. Quando a pressão de ajuste tiver que ser alterada para um valor além desses, um novo conjunto de mola com seus devidos suportes deverá ser adquirido do fabricante da válvula. Dependendo do valor da nova pressão que se deseja, a válvula deverá ser redimensionada para confirmar a nova capacidade de vazão ou até mesmo ser substituída.

A faixa de ajuste e o código da mola são dados importantes a serem guardados junto com o histórico da válvula de segurança.

Os materiais mais utilizados para molas são: o aço carbono para temperaturas até 450°F (232°C) para as válvulas com castelo fechado e 650°F (343°C) para as válvulas com castelo aberto; molas em aços liga (aço tungstênio, inconel e outros) para temperaturas maiores e os aço inoxidáveis (302, 304, 316), para fluidos corrosivos e temperaturas criogênicas.

Para fluidos extremamente corrosivos, materiais como Monel ou Hastelloy C também são disponíveis.

Um aperto excessivo na mola com a intenção de aumentar a pressão de ajuste da válvula pode diminuir o curso de abertura do disco e reduzir sua capacidade de alívio com um conseqüente aumento do diferencial de alívio desta. Quando esta situação ocorre no processo, muitas vezes a pressão de operação deve ser reduzida até um ponto no qual a válvula possa fechar sozinha. No caso de fluidos compressíveis pode ocorrer um fenômeno denominado chattering, pois com o aumento da pressão, o volume específico diminui e a válvula fica superdimensionada para essa nova condição de processo. Se por um outro lado, houver uma redução na pressão de ajuste, a válvula agora ficará subdimensionada, pois com a redução de pressão o volume específico aumenta, reduzindo a capacidade de alívio e aumentando também o diferencial de alívio.

A mola deve sempre trabalhar com uma deflexão máxima de 80% do curso total. (O curso total de uma mola é a diferença entre a altura livre menos a altura sólida). Assim a mola deve atender a abertura total da válvula sem que a compressão ultrapasse 80% de seu curso.

Além da compressão necessária para que seja atingida a pressão de abertura, a mola ainda tem uma compressão adicional após o início do curso de abertura do disco. Para válvulas operando com fluidos compressíveis, no momento em que a válvula atinge sua capacidade máxima de vazão, o curso de abertura da válvula é de 25% do diâmetro da garganta do bocal, isso quer dizer que quando o curso de abertura atinge esse valor a vazão da válvula estará sendo limitada pela área da garganta do bocal e não mais pelo curso de abertura do disco. O que ocorre nesse caso é que tanto a área formada pela garganta do bocal, como aquela formada pelo curso de abertura do disco tem o mesmo valor e com isso, quem limita a vazão da válvula é a garganta do bocal.

Após ser atingida a pressão de ajuste, para que possa ocorrer esse curso máximo do disco, a pressão que antes atuava apenas na área de vedação do disco e bocal, agora começa a atuar numa área maior que é a área formada pelo anel do bocal e a face inferior do suporte do disco, também conhecida por orifício anular secundário (a área da garganta do bocal é orifício anular primário). Essa diferença de área existe para que possa compensar o crescente aumento da força da mola durante o período de abertura. Esta força adicional atuando contra a força da mola é o que sustenta a válvula totalmente aberta até a redução de pressão no processo. Esta força adicional é conseguida com a sobrepressão.

Numa válvula superdimensionada o chattering ocorre, pois não há fluxo suficiente para manter a válvula completamente 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.

Os fabricantes normalmente projetam suas molas com uma reserva de carga abaixo dos 80% exigidos pelas normas.

O chattering será visto mais adiante, com mais detalhes.

## BOCAL E DISCO

O bocal nas válvulas de segurança, da mesma forma que o disco, são as peças que estão em contato direto com o fluido, estando a válvula fechada, ou aberta e descarregando. O material dessas peças deve ser resistente à pressão, temperatura e corrosão do fluido do processo.

Existem dois tipos de bocais usados em válvulas de alívio e/ou segurança. O bocal reativo integral (full nozzle) e o semibocal. O primeiro é uma peça rígida em aço inox que não permite o contato do fluido de processo com o corpo da válvula enquanto a válvula estiver fechada. Geralmente são cônicos internamente para aumentar a velocidade de escoamento do fluido no ponto de saída. A entrada é um tanto quanto arredondada onde permite ao fluxo um escoamento laminar e direcionado, ajudando a reduzir a pressão de forma mais rápida.

A área de passagem do bocal tem que ser grande o suficiente apenas para permitir que uma determinada quantidade de fluxo seja aliviada para ocorrer a redução de pressão do processo. Porém, essa capacidade de alívio requerida nunca deve ser menor que 30% da capacidade de vazão da válvula de segurança, quando operando principalmente com fluidos compressíveis.

O semibocal é rosqueado e às vezes soldado ao corpo da válvula, principalmente para as válvulas de alta pressão. Este possui uma grande desvantagem em relação ao bocal reativo integral; nesse tipo de bocal o fluido de processo além de entrar em contato com o disco e bocal quando a válvula está fechada, também entra em contato com parte do corpo da válvula.

Tanto o bocal quanto o disco normalmente são feitos de materiais resistentes ao desgaste por erosão ou corrosão e a alta temperatura do processo. Esses materiais podem ser laminados ou forjados no caso dos discos. Para o bocal esses materiais poderão ser fundidos, forjados ou laminados. Quando a superfície do bocal for revestida com Stellite, este deverá ser laminado para evitar contaminação e possíveis trincas ou poros na solda do revestimento.

O disco e o bocal muitas vezes são feitos do mesmo material, mas podem também ser feitos em materiais diferentes, neste caso o material do disco deve ser mais duro, devido a este ficar totalmente exposto ao fluido em escoamento.

A velocidade de escoamento do fluido na superfície de vedação do bocal praticamente não varia comparando-se com a velocidade na face de vedação do disco, devido a este se movimentar durante a abertura e fechamento da válvula. Quanto mais próximo da superfície de vedação do bocal estiver o disco, maior será a velocidade de escoamento do fluido.

Os discos de vedação das válvulas de segurança operando em caldeiras ou algumas em processos industriais possuem um defletor integral que tem as seguintes funções:

- Direcionar o fluxo durante o ciclo de abertura e fechamento da válvula;
- Proteger a área de vedação do disco e bocal contra a erosão devido a alta velocidade de escoamento do fluido neste ponto;
- Aumentar a velocidade de escoamento do fluido auxiliando com isso a reduzir a pressão, assim como ocorre com a conicidade do bocal;
- Evitar o turbilhonamento do fluxo na saída do bocal com uma conseqüente rotação do disco e suporte do disco que causariam desgaste nas superfícies de vedação.

## VEDAÇÃO DAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA

A vedação pode ser metal-metal ou resiliente. A metal-metal é a mais usada no caso de vapores devido à temperatura não ser suportada pelos anéis de vedação em elastômeros, que normalmente são em Viton, Silicone, Kalrez, Buna-N ou termoplásticos como o PTFE. As válvulas de segurança que possuem assento macio não são recomendadas para uso em vapor d'água.

A vedação resiliente é usada quando se deseja a máxima estanqueidade da válvula, como nos seguintes casos:

- Fluidos de difícil confinamento, como gases ou ar comprimido;
- Quando a pressão de operação oscila muito e se aproxima da pressão de ajuste da válvula;
- Em instalações sujeitas à vibrações excessivas;
- Fluidos com particulados em suspensão;
- Casos em que pode ocorrer a formação de gelo após o alívio pela válvula, como por exemplo, em descarga de gases;
- Fluidos corrosivos;
- Tensões provenientes da tubulação de descarga e que possam induzir a válvula ao desalinhamento;

As válvulas com vedação metal-metal têm as superfícies de contato lapidadas para se obter o maior grau de estanqueidade com pouco diferencial de força atuando entre a área do bocal e a força exercida pela mola.

Qualquer grau de vedação que possa ser obtido numa bancada de testes, com pressão atmosférica e temperatura ambiente não deve ser considerado constante. O manuseio durante o transporte, instalação, os cuidados durante o armazenamento, além dos ciclos operacionais da válvula e da própria pureza do fluido, reduzem, na maioria das vezes, esse grau de vedação.

Uma boa vedação, durante o tempo em que a válvula permanecer em operação, dependerá também de outros fatores como, alinhamento dos internos, projeto da instalação, posição do(s) anel (is), etc.

## **PROTEGENDO O LADO DE BAIXA PRESSÃO DE VÁLVULAS REDUTORAS**

Dentro de uma unidade de processo, existem situações em que a Pressão Máxima de Trabalho Permissível de alguns equipamentos são inferiores àquela produzida pela Caldeira, Compressor, etc.

Para reduzir a pressão a um nível compatível com a operação daqueles equipamentos são utilizadas Válvulas Redutoras de Pressão ou Válvulas de Controle com a função de reduzir a pressão.

No lado de baixa pressão dessas válvulas deverá sempre existir uma Válvula de Segurança, principalmente se a PMTP do equipamento que está consumindo o fluido for menor que a pressão de entrada da válvula redutora.

A localização da válvula de segurança deverá ser numa região onde não ocorra turbulência devido a redução de pressão. O melhor local será num trecho reto de tubo à uma distância de 8 a 10 diâmetros da saída da válvula redutora de pressão.

Assim como nos outros equipamentos, a seleção e dimensionamento de uma válvula de segurança para essa situação é baseada na pior condição esperada para o processo, sendo assim, a pior condição é a falha totalmente aberta da válvula redutora.

Desta forma o volume da entrada e a pressão reduzida na saída da válvula redutora são os parâmetros necessários para se determinar a pressão de ajuste e o tamanho do orifício do bocal necessários para manter a segurança do processo.

A pressão de ajuste da válvula de segurança deve ser limitada na PMTP do equipamento ou abaixo desta.

O uso de válvulas redutoras de pressão fazem com que o investimento de capital da instalação sejam menores devido a menor pressão envolvida, porém, para isso a válvula de segurança deve estar instalada e atender aos requisitos de pressão e capacidade de vazão exigidas pelo processo.

## FENÔMENOS OPERACIONAIS DAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA

O Chattering, o Simmering e o Flutting são os fenômenos operacionais mais comuns que ocorrem com as válvulas de alívio e/ou segurança. Abaixo, seguem as definições desses fenômenos, suas causas e as soluções:

**CHATTERING:** é o mais comum encontrado na indústria, este é o movimento rápido e anormal das partes móveis de uma válvula de alívio e segurança em que o disco contacta o bocal. É uma vibração muito forte que ocorre com essas peças no momento da abertura da válvula. Este fenômeno normalmente ocorre com fluidos compressíveis, porém, nos líquidos 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.

As principais causas para o chattering são:

- a) válvula superdimensionada;
- b) anel do bocal muito alto;
- c) tubulação de descarga mal-dimensionada ou mal-projetada;
- d) perda de carga muito alta no tubo de entrada.

## SOLUÇÕES

*(Para causa a)*

Redimensionar a válvula utilizando uma válvula com orifício do bocal menor, compatível com a real capacidade de vazão requerida para o processo;

*(Para a causa b)*

Verifique o ajuste do anel do bocal com o manual do fabricante da válvula;

*(Para causa c)*

Uma tubulação de descarga mal-dimensionada pode criar uma contrapressão desenvolvida. Por isso, a tubulação de descarga deve ser a mais curta e direta possível.

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) e ainda aquela contrapressão criada irá atuar no topo do suporte do disco gerando uma força adicional à força da mola, se a válvula não for balanceada. Quando a tubulação de descarga for muito longa, esta deverá ter o seu diâmetro maior que o flange de saída da válvula;

*(Para causa d)*

A perda de carga no tubo de entrada deve ser sempre limitada a 3% da pressão de ajuste da válvula. Para caldeiras essa perda de carga deve ser limitada a 2% da pressão de ajuste. O que ocorre nesses casos é que 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 pressão de ajuste da válvula, porém, essa queda e desenvolvimento na pressão são causados de forma muito rápida, danificando as superfícies de vedação do disco e bocal.

**SIMMERING:** é um vazamento audível ou visível que ocorre numa válvula de segurança operando com fluidos compressíveis. Normalmente este ocorre a 98% da pressão de ajuste da válvula. O principal dano é o desgaste das superfícies de vedação devido a erosão

causada pela alta velocidade do fluido escoando nesse momento, além de fadiga da mola e desgaste nas superfícies de guia.

Quando o anel do bocal está muito baixo, este perde parte de sua função e a válvula trepida para fechar e a pressão de abertura e a sobrepressão do processo são elevadas para atingir a máxima capacidade de descarga.

Uma outra causa para o Simmering ocorre em válvulas com castelo fechado e que operam com vapor em alta temperatura. Quando a válvula é ajustada em bancada de testes com temperatura ambiente deve ser feita uma correção na pressão de ajuste em relação a temperatura de processo. A alta temperatura do processo pode causar também a expansão do corpo e castelo relaxando a força da mola e reduzindo o valor da pressão de abertura.

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 pressão de operação, podendo ocorrer o simmering. Os fabricantes possuem tabelas para as quais existem valores em porcentagem em relação a 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. Este procedimento não é necessário para as válvulas com castelo aberto.

Quando a superfície de vedação do bocal é mais larga que o necessário, parte da força da mola é reduzida quando a válvula trabalha com pressões abaixo de 50 PSIG, podendo reduzir sua pressão de ajuste.

A constante elástica da mola pode mudar dependendo de seu material e sua temperatura de alívio quando o castelo é fechado, não ocorrendo a troca térmica da mola com o ambiente externo. Quando a válvula possui castelo fechado, além do relaxamento da força da mola, pode também ocorrer a expansão de corpo e castelo reduzindo também o aperto do parafuso de ajuste, devido a constantes aberturas da válvula com conseqüente aquecimento dessas peças.

Outras medidas corretivas que podem ser tomadas são:

Limite a pressão de operação normal do equipamento protegido sempre em 10% abaixo da pressão de ajuste da válvula, lembrando sempre que para equipamentos protegidos por uma única válvula a pressão de ajuste deve ser limitada na PMTP desse equipamento.

Em relação a posição do anel do bocal, ajuste este conforme determinado pelo manual do fabricante da válvula.

**FLUTTING:** este é um fenômeno parecido com o chattering, porém, não ocorre o contato físico entre disco e bocal. O curso de abertura e conseqüentemente a vazão da válvula ficam “flutuando”. Por ser um fenômeno semelhante ao chattering, porém, com menor intensidade, as causas e as ações corretivas são semelhantes.

## TOLERÂNCIA DO CÓDIGO ASME PARA CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO

### **Pressão de Ajuste – ASME Seção I**

Até 70 PSIG = 2 PSIG

71 a 300 PSIG = 3%

301 a 1000 PSIG = 10 PSIG

Acima de 1000 PSIG = 1%

### **Sobreprensão – ASME Seção I**

Até 70 PSIG = 2 PSIG

Acima de 70 PSIG = 3%

### **Pressão de Ajuste – ASME Seção VIII**

5 a 70 PSIG = -1 a +2 PSIG

71 a 300 PSIG = -1,5 a 3%

301 a 1000 PSIG = -5 a +10 PSIG

### **Sobreprensão – ASME Seção VIII**

Para vasos protegidos por uma única válvula:

Até 30 PSIG = 3 PSIG

Acima de 30 PSIG = 10%

### **Para vasos protegidos por múltiplas válvulas:**

Acumulação máxima = 16%

Até 30 PSIG = 4 PSIG

Acima de 30 PSIG = 16%

## OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

De acordo com o código ASME Seção VIII (Vasos de Pressão não-submetidos a fogo), um diferencial de alívio de 7% é requerido apenas para certificação da capacidade de descarga da válvula. Porém, para as válvulas instaladas, o Apêndice M-11b (não-obrigatório), desta mesma norma, diz que esse diferencial de alívio deverá ser de 7%. Os fabricantes produzem suas válvulas para que o diferencial de alívio fique dentro deste valor, independente da obrigatoriedade ou não da norma. Sendo assim, para fluídos compressíveis como gases, vapores, ar comprimido ou vapor d'água, esse valor é conseguido facilmente dentro de um processo industrial.

Para as válvulas instaladas de acordo com código ASME Seção I (Caldeiras), parágrafo PG 72.1 as válvulas de segurança ajustadas abaixo de 100 PSIG o valor do blowdown pode ficar entre 2 e 4 PSIG. Para as válvulas ajustadas em 100 PSIG e maiores, a válvula deve fechar numa pressão não menor do que 96% da pressão de ajuste. O blowdown mínimo deve ser 2% abaixo dessa pressão de ajuste.

Nas instalações com múltiplas válvulas, (como nas caldeiras acima de 500 pés<sup>2</sup>), todas as válvulas devem reassentar, antes que a válvula de menor pressão de ajuste feche com 4% de blowdown.

## **CUIDADOS NECESSÁRIOS NO ARMAZENAMENTO, TRANSPORTE E INSTALAÇÃO DE VÁLVULAS DE ALÍVIO E SEGURANÇA**

As válvulas de alívio e/ou segurança devem ser guardadas num local seguro e livre de pó e umidade. O manuseio mais brusco dessas válvulas durante o transporte e instalação poderá ocasionar vazamento, desalinhamento dos internos e abertura prematura da válvula no processo ou caldeira, após pouco tempo em operação. O alinhamento correto dos internos garante a repetibilidade da pressão de ajuste da válvula.

A válvula de alívio e/ou segurança deve ser transportada para o local da instalação de preferência momentos antes e os protetores dos flanges retirados somente na hora de montar a válvula no equipamento a ser protegido.

Toda válvula de segurança deve ser transportada em pé e com muito cuidado. No momento da instalação nenhum material estranho deve entrar na válvula, pois do contrário, a válvula será danificada na primeira vez que atuar.

Os parafusos devem ser apertados igualmente e de forma cruzada para garantir o alinhamento correto dos flanges da válvula com os flanges do equipamento protegido e da tubulação de descarga, sem haver deformação do corpo da válvula ou do flange do equipamento que ela está montada.

Verifique antes da instalação, se o material da junta a ser usada é compatível com o fluido de processo. O material dos estojos e porcas também merece uma atenção especial, pois muitas vezes o material destes poderá ser compatível com o fluido de processo, porém, normalmente eles não entram em contato com essas peças (ou pelo menos não deveriam), ao menos que ocorresse um vazamento pela junta. Mas muitas vezes o ambiente, devido a umidade atmosférica, pode ser que seja corrosivo e nesse caso o material dos estojos e porcas deverão ser compatíveis com o ambiente ao qual a válvula de alívio e/ou segurança está instalada.

A tubulação vinda do equipamento protegido para a conexão de entrada da válvula deverá ser no mínimo do mesmo diâmetro desta conexão.

As válvulas de segurança instaladas em processos industriais, conforme o Código ASME Seção VIII podem proteger vários equipamentos ao mesmo tempo, desde que não existam válvulas de bloqueio entre eles e que a capacidade de alívio da válvula de segurança seja compatível com a demanda de fluxo em todos esses equipamentos. Várias válvulas de segurança podem proteger um único equipamento, assim como vários equipamentos conectados entre si podem ser protegidos por uma única válvula de segurança, depende da capacidade de alívio exigida.

Deve ser evitada a instalação de válvulas de segurança em trechos horizontais longos onde não ocorre fluxo. Esta falta de escoamento do fluido nessa região da tubulação pode provocar o acúmulo de resíduos que tendem a limitar ou restringir a vazão das válvulas de segurança, tornando-as subdimensionadas ou até mesmo inoperantes. Quando não for possível seguir essa recomendação, deverá ser previsto um número maior de intervenções para manutenção da válvula de segurança.

### **FLUXO CRÍTICO**

As válvulas de segurança convencionais quando operam com fluidos compressíveis sob contrapressão constante têm sua capacidade de alívio afetada quando o valor dessa contrapressão é superior a aproximadamente 54% da pressão de alívio absoluta, dependendo do fluido. Qualquer valor de contrapressão abaixo dos 54% faz com que a capacidade de alívio seja limitada pela área da garganta do bocal.

De acordo com o coeficiente de expansão isentrópico (valor  $k$ ) do gás, esse valor de contrapressão pode variar.

Por exemplo, o valor de  $K$  do acetileno é igual 1,397 e terá um valor de pressão de fluxo crítico (pfc) de 52,88% da pressão de alívio absoluta, mas um outro gás como o Hélio que tem um valor de  $K= 1,658$ , terá um valor de pressão fluxo crítico = 48,83%.

Na prática costuma-se dizer que a pressão de fluxo crítico só ocorre quando o valor da contrapressão é igual ou inferior a 50% da pressão de alívio absoluta, porém, para cada gás, teoricamente esse comportamento durante o escoamento pode variar.

Quando o valor da contrapressão excede esses valores, ocorre uma redução na capacidade de alívio da válvula. Para esses casos um fator de correção (fator  $K_b$ ) é utilizado para adequar o tamanho do orifício de passagem do bocal a essa condição de escoamento, que no final resulta numa área de passagem maior.

Em outras palavras o fluxo crítico (ou pressão crítica) é o mesmo que dizer que o fluxo está atingindo a velocidade sônica na saída do bocal da válvula. E quando a contrapressão excede 54% da pressão de alívio absoluta o fluxo é denominado subcrítico, ou seja, a vazão e a velocidade de escoamento são influenciadas proporcionalmente pela contrapressão e seus valores na saída do bocal são menores que a velocidade sônica.

A mudança de Fluxo Crítico para Fluxo Subcrítico ocorre quando a pressão na saída do bocal da válvula é de aproximadamente 54% da pressão absoluta na entrada do bocal.

Fluxo crítico ou pressão crítica na literatura americana é chamado de **Choked Flow** (vazão bloqueada).

A fórmula a seguir é usada para verificar se o fluxo é crítico ou subcrítico,

$$P_2 = P_1 \times \left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K}{K-1}}$$

## FÓRMULAS DE DIMENSIONAMENTO

As fórmulas a seguir são recomendadas pelo API-RP-520 parte 1 (válvulas de alívio e/ou segurança para processos industriais) e pelo Código ASME Seção I (Vasos de Pressão submetidos à fogo). Estas são apenas um exemplo, mas existem dezenas de fórmulas para se encontrar a área de passagem do bocal.

Geralmente os fabricantes têm suas próprias fórmulas desenvolvida para suas válvulas e que são aceitas pelas normas.

### Vapor D'água

$$W = 51,5 \times A \times P \times Kd \times Kb \times Kn \times Ksh$$

### Caldeiras

$$W = (51,45 \times A \times P \times Kd \times Kn) \times 0,9 \times Ksh$$

### Gases e Vapores

$$SCFM = \frac{1,175 \times A \times P \times C \times Kd \times Kb}{\sqrt{GTZ}}$$

### Líquidos

$$GPM = \frac{38 \times Kd \times Kw \times Kv \times \sqrt{P1 - P2}}{\sqrt{G}}$$

## NOMENCLATURA

**W**=capacidade de vapor da água requerida, em LBS/HR.

**A**= área de passagem do orifício requerido, em pol<sup>2</sup>, conforme tabela abaixo.

**P**=pressão de alívio absoluta em PSIA, (pressão de ajuste + sobrepressão + pressão atmosférica).

**P1**= pressão de alívio manométrica para líquidos, em PSIG, (pressão de ajuste + sobrepressão).

**P2**= contrapressão, em PSIG.

**Kd**= coeficiente de descarga =0,975 (obtido através da relação entre a vazão real pela vazão teórica).O valor acima é determinado pelo API-RP-520 parte 1, porém, cada fabricante tem o seu próprio valor.

**SCFM**= capacidade requerida do ar ou gás, em pés cúbicos por minuto padrão.

**GPM**= capacidade requerida do líquido, em galões por minuto (americanos).

**G**= densidade do gás (ar = 1) ou (água=1) na temperatura de alívio. Se o valor usado para essa densidade estiver numa temperatura de alívio menor o resultado final será mais seguro.

**T**=temperatura absoluta de entrada, °F+460.

**Z**=fator de compressibilidade para o desvio de um gás real para um gás perfeito, correspondente a temperatura e pressão na entrada da válvula, (se este valor não for disponível, use um valor de 1,0 para um resultado conservador).

**C**= constante de escoamento do gás ou vapor (tabelado de acordo com o fluido)

**κ**= razão dos calores específicos, Cp/Cv. Este valor é constante para um gás ideal. Se esta razão não for conhecida um valor de κ = 1,001 e C = 315 resultam num cálculo mais seguro da área do orifício da válvula.

**Kb**= fator de correção de escoamento do fluido para contrapressões acima da pressão de fluxo crítico.

**Kw**= fator de correção de escoamento para gases e vapores , para contrapressões variáveis. Aplica-se somente para válvulas balanceadas.

**Kn**= fator de correção Napier aplicado em cálculos para vapor d'água com pressões de ajuste entre 1500 e 3200 PSIG.

**Kv**= fator de correção da viscosidade para líquidos

Abaixo segue as áreas e os diâmetros de passagem dos bocais de acordo com o tamanho das válvulas de segurança conforme o padrão API-RP-526.

<b>Tamanho da Válvula</b>	<b>Orifício</b>	<b>Área</b>	<b>Diâmetro</b>
<b>1" x 2"</b>	<b>D</b>	<b>0,110 pol<sup>2</sup></b>	<b>9,5 mm</b>
<b>1" x 2"</b>	<b>E</b>	<b>0,196 pol<sup>2</sup></b>	<b>12,7 mm</b>
<b>1.1/2" x 2"</b>	<b>F</b>	<b>0,307 pol<sup>2</sup></b>	<b>15,9 mm</b>
<b>1.1/2" x 2.1/2"</b>	<b>G</b>	<b>0,503 pol<sup>2</sup></b>	<b>20,3 mm</b>
<b>1.1/2" x 3"</b>	<b>H</b>	<b>0,785 pol<sup>2</sup></b>	<b>25,4 mm</b>
<b>2" x 3"</b>	<b>J</b>	<b>1,287 pol<sup>2</sup></b>	<b>32,5 mm</b>
<b>3" x 4"</b>	<b>K</b>	<b>1,838 pol<sup>2</sup></b>	<b>38,8 mm</b>
<b>3" x 4"</b>	<b>L</b>	<b>2,853 pol<sup>2</sup></b>	<b>48,4 mm</b>
<b>4" x 6"</b>	<b>M</b>	<b>3,6 pol<sup>2</sup></b>	<b>54,4 mm</b>
<b>4" x 6"</b>	<b>N</b>	<b>4,34 pol<sup>2</sup></b>	<b>59,7 mm</b>
<b>4" x 6"</b>	<b>P</b>	<b>6,38 pol<sup>2</sup></b>	<b>72,4 mm</b>
<b>6" x 8"</b>	<b>Q</b>	<b>11,05 pol<sup>2</sup></b>	<b>95,3 mm</b>
<b>6" x 8"</b>	<b>R</b>	<b>16 pol<sup>2</sup></b>	<b>114,65 mm</b>
<b>8" x 10"</b>	<b>T</b>	<b>26 pol<sup>2</sup></b>	<b>146,1 mm</b>

## CONCLUSÃO

Toda indústria que possui vasos de pressão ou caldeiras, obrigatoriamente têm em sua planta válvulas de alívio e/ou segurança para a proteção dos equipamentos.

Essas válvulas previnem indesejáveis aumentos de pressão além dos limites considerados perigosos.

São dispositivos auto-operados e auto-suficientes que têm que operar de forma confiável e precisa a partir do momento em que outros instrumentos usados para controlar a pressão desses equipamentos falharem. Por isso a válvula de segurança e/ou alívio apesar de sua simplicidade de construção é considerada o “último recurso” para a proteção contra a sobrepresão de um sistema. Ela tem um papel essencial dentro de uma unidade de processo.

Portanto, o objetivo principal de uma válvula de alívio e/ou segurança numa indústria que possui equipamentos sob pressão é a prevenção de danos a esses equipamentos, evitar ferimentos ao pessoal envolvido e proteger o capital investido, além de uma proteção à comunidade e ao meio ambiente.

Dúvidas e comentários poderão ser enviados ao e-mail do autor:

[dinizmathias@uol.com.br](mailto:dinizmathias@uol.com.br)