

QUANTO VAZA UM SELO MECÂNICO?

Este artigo discute como determinar o que é vazamento de um selo mecânico, como este vazamento pode ser calculado e o que fazer com esta informação.

Prefácio

Não há mais discussão, em qualquer tipo de indústria, sobre os benefícios da utilização de selos mecânicos na vedação de equipamentos girantes. Sejam estes selos simples ou duais, pressurizados ou não, selos de alta tecnologia a gás ou mesmo pequenos selos de fole de borracha em uma bomba de aquário, é ponto tácito que a disponibilidade do equipamento sendo vedado, bem como a proteção ao meio ambiente, são consideravelmente aumentadas após a instalação de um selo mecânico.

Tanto a disponibilidade quanto a proteção ao meio ambiente, entretanto, têm um custo: o selo é o componente mecânico mais frágil em todo equipamento girante. Esta fragilidade o leva a ser responsabilizado pela maioria das paradas destes equipamentos. É fato que, após investigação, sempre se percebe que o selo não é o agente da falha, mas sim o primeiro elemento do equipamento a sofrer danos causados por um ou mais problemas externos a ele, sejam vibrações, mudanças de temperatura, cavitação, contaminação, entupimentos, etc. As falhas dos selos mecânicos levam, invariavelmente, a uma parada imediata do equipamento para manutenção.

Paradas para manutenção não programadas causam custos muito além daqueles incorridos na simples reposição das peças danificadas. Acima do custo da manutenção, das horas paradas, dos transtornos ao processo, etc., estão custos como a falta de disponibilidade do equipamento, os custos de equipamentos reservas para suprir estas paradas, redundâncias no processo, dos equipamentos de segurança para conter estas falhas; mas ainda, mais importantes são os custos sociais e ambientais que sempre são muito mais cruciais e imprevisíveis que quaisquer outros.

Para evitar todos estes custos, busca-se sempre o monitoramento da falha dos equipamentos. Quando tratamos de selos mecânicos o parâmetro de falha escolhido por dez entre dez engenheiros é o critério de vazamento. Daí a importância de determinarmos o que é

vazamento, quantifica-lo, monitora-lo, e tomar ações em cima destas informações.

O que é Vazamento

Partimos sempre do seguinte princípio: **para o perfeito funcionamento de um selo mecânico, é fundamental que este selo vaze.** Sem este vazamento não há lubrificação entre as faces deste selo, e sem esta lubrificação não há vida útil destas faces. Um selo mecânico é projetado, construído e testado para apresentar um vazamento. O valor deste vazamento não é uma escolha de quem o projeta, mas sim uma consequência da construção adotada para otimizar o funcionamento deste selo.

O problema nunca surge no momento da definição do que é vazamento, mas sim quando tentamos definir qual o vazamento que define a falha do selo. Do ponto de vista do selo mecânico, quanto maior o vazamento maior será sua vida, portanto não podemos definir que para o selo este ou aquele vazamento seja uma falha. Isto nos leva a definir o critério de falha não pelo vazamento em si, mas pelas suas consequências. Assim, a falha de um selo mecânico (pelo critério de vazamento) pode ser definida de duas formas:

- 1) Aquele vazamento que causa alterações nas condições do processamento do fluido que aquele selo se propõe a vedar.
- 2) Aquele vazamento que representa uma contaminação ao ambiente acima do regulamentado.

Podemos verificar que, pelas formas apresentadas, o critério de falha de um selo mecânico, caracterizado por seu vazamento, depende, exclusivamente, da percepção do proprietário do processo, ou de alguma regulamentação pertinente ao local de utilização deste selo mecânico. Assim, um selo que apresente falha em uma planta industrial na Suíça, pode ser considerado em perfeitas condições de operação em Serra Leoa. Da mesma maneira, um equipamento operando continuamente por mais de 20 anos poderá ser considerado em falha na implantação da ISO 14.000 em uma planta.

Apesar da subjetividade do critério de falha de um selo podemos apresentar alguns exemplos:

- Produtos não inflamáveis: **5 gotas** por minuto. Produtos inflamáveis: nenhum vazamento **visível** em 30 minutos de operação. Fonte: *The Northrop Group*
- Produtos voláteis: quando medidos de acordo com o *Método 21 EPA*, a concentração do produto vedado a um metro não deverá superar **500 ppm**. Fonte *Environment Protection Agency – EUA*
- Equipamentos com fluidos orgânicos voláteis, **1.000 ppm** quando medidos a 1 cm da fonte de vazamento. Fonte: *Osha 1910.119*

Para efeito de discussão ao longo deste artigo, assumiremos como um critério de falha do selo mecânico o valor de **50 gotas por minuto**. Admitiremos também que, para um fluido de viscosidade próxima à da água, existem **20 gotas em um ml**; assim: um selo mecânico apresenta falha quando permitir um vazamento de **2,5 ml/min** ou mais, ou de outra forma: **150 ml/h**.

Definido o critério de falha de um selo mecânico por vazamento, falta agora definirmos o vazamento normal de um selo, ou seja, aquele para o qual foi projetado, testado e construído.

Cálculo do Vazamento

O vazamento de um selo mecânico é uma função de parâmetros teóricos e calculáveis, porém estes parâmetros dificilmente são inteiramente previsíveis em um ambiente real. Ainda assim, podemos calcular o vazamento de um selo mecânico como:

$$Q = 7,5 \times 10^{15} \times \frac{(D + d)^3}{\ln(D/d)} \times (1 - 0,0013 \times D)^3 \times n^{1,9} \times h^{-0,1} \times \left(k + \frac{P_f}{\Delta p}\right)^{-0,9} \times \Delta p^{0,1}$$

Onde:

Q = vazamento esperado (ml/h)

D = diâmetro externo da face de selagem (mm)

d = diâmetro interno da face de selagem (mm)

n = rotação (rpm)

h = viscosidade dinâmica (Pa.s)

k = balanceamento do selo

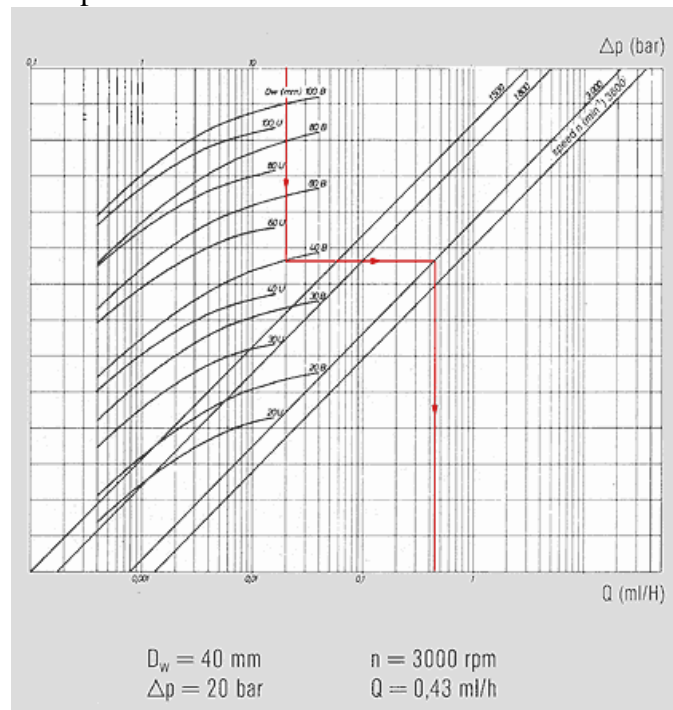
P_f = pressão das molas sobre a face de selagem (bar)

Δp = diferencial de pressão a ser selado (bar)

Esta fórmula é válida para vazamentos que caminham do diâmetro externo para o interno da face de selagem. Quando o vazamento é no sentido contrário, do diâmetro interno para o externo da face de selagem, o

valor observado é, aproximadamente, **10 vezes** maior que o calculado acima.

A maneira mais rápida de obter-se uma estimativa do vazamento esperado de um selo mecânico é através da utilização de tabelas de correlação. Estas tabelas podem ser obtidas dos fabricantes destes selos mecânicos. A seguir um exemplo de uma destas tabelas.



Fonte: www.burgmann.com

Podemos observar que para um eixo de 40 mm, com uma pressão selada de 20 bar a 3.000 rpm, para um fluido de propriedades semelhantes à água; poderemos esperar um vazamento de **0,43 ml/h**. Este vazamento é **350 vezes menor** que os **150 ml/h**. Isto quer dizer que entre aquele vazamento normal de um selo e aquilo que consideraríamos falha deste selo, existe um grande espaço para um acompanhamento da deterioração do funcionamento deste selo mecânico.

Medição do Vazamento

Uma vez definidos os critérios de vazamento em funcionamento normal de um selo, e também o critério de falha deste selo, só resta ao usuário medir este vazamento.

Vamos dividir a medição de vazamento em dois casos: selos simples e selos duais.

- Em um selo simples, não existe uma barreira clara entre o fluido que envolve o selo e

aquele sendo processado no equipamento. De fato, na maioria dos casos, o fluido que envolve o selo mecânico é o mesmo sendo processado. Desta falta de separação resulta que não é possível identificar com clareza e exatidão a quantidade de fluido presente em torno do selo, e, portanto, não é factível medir a variação desta quantidade e daí extrair o vazamento do selo mecânico. Neste caso, a única alternativa é a coleta do vazamento que passa pelo selo em direção ao meio ambiente, com a quantificação deste volume coletado por unidade de tempo, obtendo daí a taxa média de vazamento. Obviamente isto somente é possível quando o vazamento do selo mecânico é líquido, ou sofre liquefação imediata. Deve-se observar que somente podemos medir o vazamento acumulando-o por um determinado período de tempo, pois não há instrumento de vazão (de uso prático) que possua faixa de medição começando em **0,43 ml/h**.

- Com selos duais, é possível determinar a quantidade de fluido que envolve o selo. Seja através de um tanque de selagem com volume determinado; seja através de um sistema de fornecimento externo de fluido com vazão e pressão conhecidas. Caso utilizemos um tanque de selagem, repetimos a situação da medição de um volume por um período de tempo. A variação do volume contido neste tanque, tanto o aumento quanto a redução, implicam que houve vazamento do selo mecânico atendido por aquele tanque de selagem. Novamente, não teremos a taxa de vazamento instantânea, mas sim a taxa média em um período de tempo. Lembrando que o vazamento do selo está entre **0,43 ml/h** e **150 ml/h**, para a variação de um litro no volume do tanque de selagem, é necessário uma espera entre **6,5** e **2.300** horas de vazamento. Isto significa que a detecção do início da falha no selo mecânico não é prática, porém a detecção do vazamento em seu limite superior é possível. Com a utilização de uma fonte de fluido externa, sempre é conhecida a vazão de entrada no selo mecânico. Se houver vazamento, esta vazão irá ser alterada na saída do selo. A maneira mais direta de determinar o vazamento do selo é a comparação entre estas duas vazões. A questão que surge é escolher um medidor de vazão que apresente precisão adequada. Se assumirmos uma vazão de fluido de selagem de **8 l/min**, o

instrumento de medição de vazão deverá ser capaz de detectar variações desta vazão entre 0,00009% e 0,03%. A tabela abaixo mostra qual a precisão de diversos instrumentos de medição de vazão. Com base nesta informação podemos dizer que não há instrumento com a precisão necessária para efetuar esta leitura.

Instrumento	Precisão
Rotâmetros	2 %
Vortex	0,75 %
Magnético	0,50 %
Mássico	0,15 %
Pressão diferencial	0,07 %
Turbina	0,05 %

Conclusão

Em face do exposto acima, ficamos tentados a afirmar que não é possível a detecção do vazamento de um selo mecânico. Entretanto, deve-se lembrar que partimos de uma premissa de que a falha é determinada por um vazamento de **150 ml/h**. Se mantivermos esta premissa, então não é possível, em um sistema de lubrificação, detectar falhas de selos mecânicos, restando-nos somente o acompanhamento da variação do volume total de líquido presente no sistema. Por outro lado, se abirmos um pouco o parâmetro de falha para acomodarmos a capacidade dos instrumentos existentes, verificamos que com um medidor de vazão de turbina, seremos capazes de medir vazamentos de até 4 ml/min. Se, devido ao custo apresentado por este tipo de instrumento, são sempre dois medidores por selo mecânico, optarmos pelos rotâmetros, estaremos limitados a um vazamento detectável mínimo de 160 ml/min. A solução a ser adotada está novamente na mão do usuário, que deverá definir em função de seus requisitos qual o caminho a seguir.

Em suma, como todo bom problema de engenharia, o compromisso entre custo e exatidão deverá sempre ser pesado, mas acima de tudo, devemos ter em mente os limites impostos pela tecnologia.

Willian Castro é engenheiro mecânico pela Unicamp, com formação profissional voltada à selagem mecânica e sistemas de lubrificação. Atualmente é sócio da WMF Solutions. Contato willian@wmfsolutions.com