

Capítulo V

Detecção de Vazamentos

Introdução

Em décadas recentes as exigências relativas à estanqueidade de câmaras, sistemas de vácuo e plantas de vácuo aumentaram consideravelmente. O teste de vazamento, como é usualmente denominado o teste de estanqueidade, não é somente aplicável a sistemas de vácuo, mas também a uma ampla gama de produtos industriais, como vasos de pressão para gases e líquidos, refrigeradores e freezers, e produtos especiais como relês, termostatos e componentes eletrônicos. Pacotes, canecas metálicas, caixas e materiais plásticos de todos os tipos exigem cada vez mais testes de estanqueidade a fim de poderem ser transportados pelos diversos meios disponíveis na nossa sociedade (correios, via aérea, trens, etc.) sem oferecer perigo devido a vazamentos de substâncias venenosas, radioativas ou quimicamente reativas, e também protegendo o meio ambiente. Usualmente, não só é necessário determinar-se a estanqueidade de um sistema, mas, no caso de comprovação de vazamento, também é necessário determinar-se a sua magnitude, se é de múltipla origem e sua localização precisa, de modo a se poder retirá-lo.

Idealmente, uma câmara de vácuo deveria manter para sempre a pressão final atingida durante o bombeamento após ser isolada da bomba de vácuo. No entanto, a experiência mostra que toda câmara real apresenta um aumento de pressão após ser isolada do sistema de bombas. O aumento de pressão observado provém do gás que se origina das paredes por dessorção ou por permeação, ou então de vazamentos propriamente ditos. Por vazamentos entendemos a entrada de ar na câmara através de um pequeno orifício na parede, de uma pequena fenda ou trinca em alguma junta soldada ou de um risco radial na superfície de uma flange ou em um canal de anel de vedação. Podemos ter também conjuntos de poros, denominados porosidade, originária de processos de manufatura ou de oxidação na soldagem dos materiais da câmara. Estes caminhos de penetração do gás externo na câmara podem ser pequenos, quando o fluxo de gás é pequeno, ou vice-versa. Para poder-se dizer se um vazamento é grande ou pequeno, se ele pode ser tolerado ou não em um sistema de vácuo, é necessário ter uma maneira quantitativa de se dizer se ele é pequeno ou grande. Para isso, usamos o conceito de taxa de vazamento, definida como sendo a quantidade de gás entrando na unidade de tempo no sistema ou câmara de vácuo. Uma maneira muito conveniente de medir a quantidade de gás é a mesma da vazão de massa, exprimindo o fluxo de massa do gás em unidades como torr.l/s ou torr.cm³/s. Indiretamente, a taxa de vazamento também pode ser expressa pelo aumento de pressão no sistema em um determinado intervalo de tempo por unidade de volume do sistema. Algumas vezes se usa também o tempo necessário para uma determinada quantidade de gás entrar no sistema pelo vazamento. A tabela 5.1 compara algumas das especificações usuais.

O fato de uma câmara possuir vazamentos não a torna, necessariamente, imprestável para ser usada como câmara de vácuo. A decisão de usá-la ou não vai depender da pressão de trabalho e do processo a ser realizado nesta câmara. Se a pressão final de trabalho é relativamente alta, como ocorre para trabalho em baixo vácuo, e o vazamento é pequeno, de modo que não impeça atingir-se a pressão de trabalho em tempo razoável, e o processo a ser realizado não é afetado pela presença de ar e umidade que continuamente estão a adentrar a câmara, então o vazamento é tolerável, e não há necessidade de se dispendir tempo e esforço em localizá-lo e depois saná-lo. No entanto, se o vazamento impede atingir-se a pressão de trabalho, ou se faz com que o tempo para atingi-la fique

muito grande, e se o processo a se realizar na câmara é afetado pela contínua entrada de gás e umidade, então é imperativo localizar-se e sanar-se o vazamento.

Tabela 5.1 : especificações sobre taxas de vazamento (tab. 7.25, pg 439, Roth.)
Leak rate specifications.

Leak rate* Torr·l/sec	Pressure rise in 1 litre volume	Time for 1 micron pressure rise/litre	Time for 1 cm ³ STP gas inflow	Equivalent opening
10 ⁻³	1 μ/sec	1 sec	12.7 min	Rectangular slit with 1 cm width, 0.1 mm height and 1 cm depth
10 ⁻⁴	6 μ/min	10 sec	2.1 hr	Rectangular slit with 1 cm width, 30μ height and 1 cm depth
10 ⁻⁵	36 μ/hr	1.66 min	21 hr	Capillary 1 cm long and 7μ dia
10 ⁻⁶	3.6 μ/hr	16.6 min	8.7 days	Capillary 1 cm long μ4 dia
10 ⁻⁷	8.6 μ/day (24hr)	2.77 hr	87 days	Capillary 1 cm long 1.8μ dia
10 ⁻⁸	0.86 μ/day	27.7 hr	2.4 yr	Capillary 1 cm long 0.8μ dia
10 ⁻⁹	31 μ/yr	11.6 days	24 yr	Capillary 1 cm long 0.4μ dia
10 ⁻¹⁰	3 μ/yr	116 days	240 yr	Capillary 1 cm long 0.2μ dia

*Conversion factors to other units, see table 3.3.

Em geral, havendo suspeita de vazamento, é necessário determinar-se se ele realmente existe. Em geral, a colocação em gráfico do valor da pressão em função do tempo pode ajudar nesta identificação (Fig. 5.1).

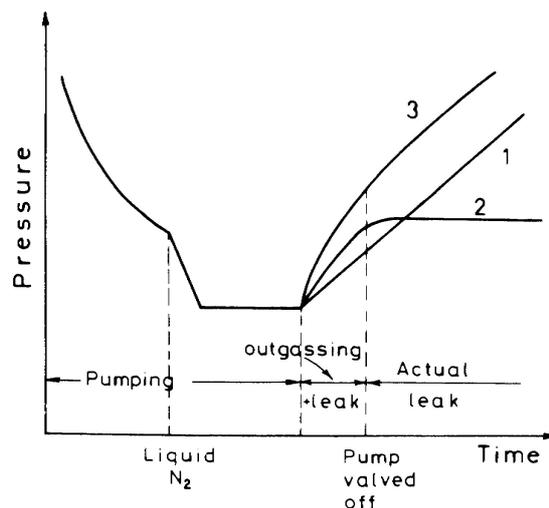


Fig. 5.1: Curvas pressão versus tempo (fig. 7.69, pg. 441, Roth)

Inicialmente o sistema é evacuado a uma pressão mínima estável (eventualmente utilizando-se uma armadilha de nitrogênio líquido, se for o caso, para minimizar o efeito de vapores presentes no sistema). Quando a pressão se estabiliza, a bomba (ou sistema de bombeamento) é isolada(o) da câmara, e os valores de pressão em função do tempo são graficados por um tempo suficientemente

longo. Se o aumento de pressão é provocado apenas por vazamento, a pressão aumentará linearmente, como mostrado pela curva 1 da Fig. 5.1. Se for originário de dessorção, teremos uma curva que mostra saturação, como a curva 2 da Fig. 5.1. Se ambos os mecanismos estiverem presentes, a curva resultante será a composição das duas anteriores, como a curva 3 da Fig. 5.1. Este critério para a determinação da existência de vazamentos é algo subjetivo, e não permite distinguir um vazamento real de um assim denominado vazamento virtual, que corresponde a se ter dentro do sistema de vácuo uma fonte de gás proveniente de pequenos reservatórios ou pequenas cavidades isolados da câmara principal por impedâncias relativamente grandes, tais como pequenos canais porosos, ou aberturas de pequeno diâmetro (por exemplo, roscas de parafusos). Estas pequenas cavidades demandam tempo muito maior para serem evacuadas que a câmara grande, e podem dar origem a aumentos de pressão, durante os testes de vazamentos, idênticos aos observados para vazamentos verdadeiros. Evitar a presença de vazamentos virtuais é função de um bom projeto para a câmara de vácuo.

Medidas de taxas de vazamentos

Em geral, a medida da taxa de vazamento diz respeito ao vazamento total de uma câmara, embora muitas vezes seja necessário especificar a taxa de vazamento de um vazamento individual em particular. No que se segue, frente aos métodos de medida, vamos trabalhar com vazamentos totais. Em geral, também, na tecnologia de vácuo usa-se um gás de teste para a determinação de vazamentos, que deve estar em contacto com toda a superfície a ser testada, enquanto o elemento sensor para este gás é colocado no outro lado da superfície. As medidas de vazamento são classificadas em estáticas e dinâmicas.

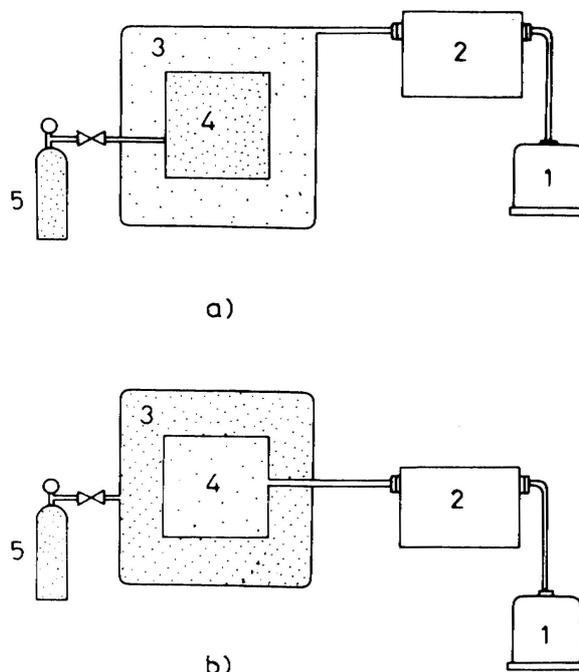


Fig. 5.2: Método dinâmico de medida de vazamentos. a) sistema pressurizado; b) envoltório pressurizado. 1 – bomba; 2 – detector de vazamento; 3 – envelope; 4 – sistema sob teste; 5 – recipiente do gás de teste. (fig. 7.70, pg. 446 Roth)

No caso estático, a câmara ou dispositivo sendo testado é pressurizado com o gás de teste e colocado dentro de uma câmara de teste que inicialmente não contém o gás de teste, e a

concentração deste gás dentro da câmara de teste é então monitorada em função do tempo. Este método é denominado teste de acumulação. A medida é interpretada utilizando-se a expressão

$$Q = V \frac{dP}{dt} \quad (1), \text{ em que } Q \text{ é a taxa de vazamento, } V \text{ o volume da câmara de teste, } P \text{ a pressão do}$$

gás de teste no volume da câmara de teste e t é o tempo de acumulação.

No caso dinâmico, o sistema ou câmara sendo testado é bombeado continuamente. O gás de teste fluindo na bomba passa através de uma secção com detector sensível ao gás, onde sua concentração é continuamente medida. O teste pode ser feito pressurizando continuamente o sistema ou câmara (Fig. 5.2a) e o colocando em outra câmara ou envelope que é ligado ao sensor do gás. Ou pode ser feito bombeando-se continuamente a câmara ou sistema, ao qual o sensor do gás é ligado, e colocando o gás de teste no envelope (Fig. 5.2b), ou mesmo deixando a câmara na atmosfera, e aspergindo o gás de teste na superfície da câmara.

Quando o gás de teste adentra um sistema sendo testado através de vazamentos com taxa Q , a taxa de aumento da pressão é $\frac{dP}{dt} = \frac{Q}{V}$ (2), com V = volume do sistema. Se simultaneamente a

câmara está sendo bombeada, o balanço resulta em $V \frac{dP}{dt} = Q - P S$ (3), com S a velocidade de bombeamento e P a pressão do sistema. Integrando esta equação, e para o caso em que a pressão

inicial do gás de teste é zero, temos $P = \frac{Q}{S} \left(1 - e^{-\frac{S}{V}t} \right)$ (4) ou, exprimindo em termos de tempo,

$$t = -\frac{V}{S} \ln \left(1 - \frac{P S}{Q} \right) \quad (5). \text{ Para longos tempos de bombeamento, o termo exponencial na eq. 4}$$

reduz-se a zero, e a pressão final é dada por $P = \frac{Q}{S}$ (6), determinada pela taxa de vazamento e pela velocidade de bombeamento da bomba sendo utilizada. O tempo requerido para atingir o equilíbrio (eq. 5) é mostrado na Fig. 5.3 para três exemplos.

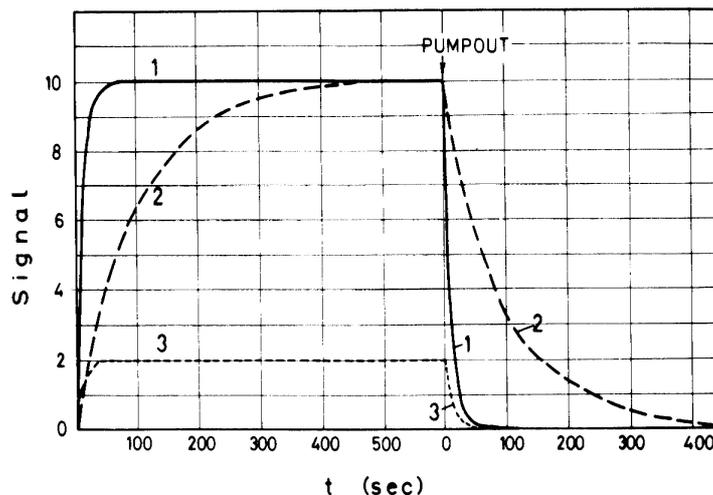


Fig. 5.3: Tempos de resposta de um sistema (fig. 7.71, pg. 448 Roth)

No caso da curva 1, temos $V = 10 \text{ l}$, $S = 1 \text{ l/s}$ e $V/S = 10 \text{ s}$, e o detector requer 10 s para atingir $1 - e^{-1} = 0,63$ do sinal mais baixo para a pressão, sendo que a pressão final de equilíbrio é atingida

após aproximadamente 1 min de bombeamento. No caso do curva 2, temos $V = 100$ l, $S = 1$ l/s e $V/S = 100$ s, no intervalo de tempo de 10 s a pressão atinge apenas $1 - e^{-0,1} = 0,095$ ($\approx 10\%$) do valor final, que só é atingido após aproximadamente 10 min. Aumentando a velocidade de bombeamento como no caso da curva 3 ($V = 100$ l, $S = 5$ l/s, $V/S = 20$ s) o tempo a atingir o sinal último é o mesmo que no caso 1, mas o valor deste sinal (a pressão final) é abaixado para 20% do seu valor alcançado no caso 1.

Quando removendo o gás de teste do sistema (limpeza, bombeamento, ou desligamento da fonte do gás), o processo é expresso por $\frac{dP}{dt} = -\frac{P S}{V}$ (7), e assim $t = \frac{V}{S} \ln \left(\frac{P_t}{P_0} \right)$ (8) e

$$\frac{P_t}{P_0} = e^{-\frac{S}{V}t} \quad (9), \text{ com } P_t \text{ e } P_0 \text{ sendo as pressões no tempo } t \text{ e no tempo zero. A equação 9 é}$$

graficada do lado direito da Fig. 5.3 para os três casos considerados. Vê-se que nos casos 1 e 3 a limpeza é feita rapidamente, enquanto no caso 2 o tempo para isso é considerável.

O tempo de resposta e o tempo de limpeza são determinados pela constante de tempo do sistema $\tau = \frac{V}{S}$ (10, eq. 36, cap 4), e assim a resposta do detector e o tempo de limpeza podem ser

expressos como valores válidos para qualquer sistema (ver Fig. 4.3). O tempo de resposta é usualmente entendido como o tempo necessário para alcançar $1 - e^{-1} = 0,63$ do sinal de equilíbrio, enquanto o tempo de limpeza é o tempo necessário para reduzir, pelo bombeamento, o sinal a $e^{-1} = 0,37$ do seu valor inicial.

Para aumentar a sensibilidade do teste frequentemente sugere-se que o detector de vazamentos seja colocado entre a bomba difusora e a bomba mecânica primária, ou seja, do lado de alta pressão ao invés do lado de baixa pressão do sistema de vácuo (Fig. 5.4).

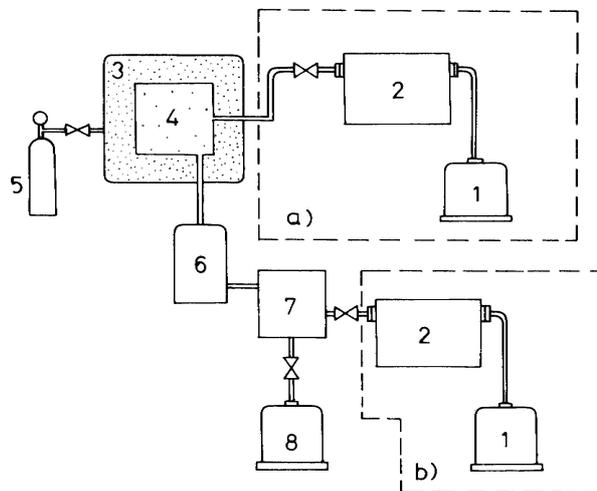


Fig. 5.4: Localizações alternativas para o detector de vazamento: a) lado de alto vácuo; b) lado de baixo vácuo. 1 – bomba do detector de vazamento; 2 – detector de vazamento; 3 – envelope; 4 – sistema em teste; 5 – recipiente do gás de teste; 6 – bomba difusora; 7 – tanque de lastro; 8 - bomba mecânica. (fig. 7.72 Roth, pg. 450.)

O ganho em sensibilidade depende do fator que limita a sensibilidade final do teste. Em sistemas limpos, a sensibilidade final pode ser limitada pela sensibilidade à pressão parcial do detector. Neste caso, a amplificação em pressão obtida no lado de baixo vácuo (alta pressão) resultará em um ganho de sensibilidade. Em um sistema contaminado, ou na situação de procurar um pequeno vazamento na

presença de vazamentos maiores, a sensibilidade é geralmente limitada pela resolução do detector para distinguir a pressão parcial do gás de teste diante da pressão total (pressão de fundo, ou background). Neste caso, a colocação do detector no lado de baixo vácuo resulta na amplificação simultânea do sinal do gás de teste e da pressão de fundo, e, a menos que bombas seletivas sejam empregadas, não se obtém nenhum ganho de sensibilidade.

Se o detector de vazamentos é ligado na linha de alta pressão (baixo vácuo) da bomba difusora, a bomba mecânica primária retira gás do sistema em um processo de batelada, o que provoca flutuações na pressão que o detector mede, aumentando o ruído do detector. Este efeito pode ser minimizado colocando-se o detector entre duas bombas difusoras, ou utilizando um volume de lastro, ou ainda usando uma válvula (Fig. 5.4).

Deteção de vazamentos em vácuos relativamente baixos (por exemplo, 0,2 torr) pode ser feito usando um método em que o sistema sob teste é ligado na saída da bomba difusora, entre esta e a bomba mecânica primária, enquanto que o detector de vazamentos é ligado na entrada da bomba difusora (lado de alto vácuo da bomba). O gás de teste é detectado por retro-difusão através da bomba difusora.

Localização de vazamentos

Tem-se duas técnicas para a localização de vazamentos: o uso de ponta de prova marcadora e o uso de ponta de prova detectora (Fig. 5.5).

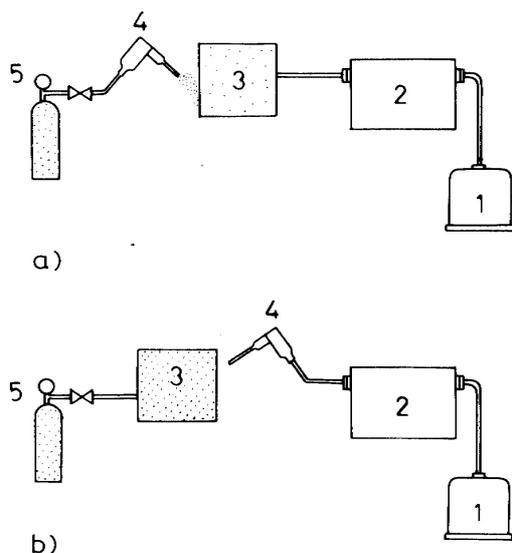


Fig. 5.5: Técnicas de localização de vazamentos: a) ponta de prova marcadora; b) ponta de prova cheiradora. 1 – bomba; 2 – detector de vazamento; 3 – sistema em teste; 4 – ponta de prova; 5 – recipiente do gás de teste. (fig. 7.73 Roth, pg 451)

No caso do uso de ponta de prova marcadora, um fino fluxo do gás de teste é dirigido à área suspeita de ter um vazamento, e o gás que penetra neste vazamento é bombeado pelo sistema detector. No caso da técnica da ponta de prova detectora (também chamada cheiradora) o sistema em teste é preenchido com o gás de teste e a ponta de prova detectora, ligada ao detector, é passada pelas áreas suspeitas, de modo a receber o gás de troca quando passa por um vazamento que deixa o gás de teste escapar do sistema.

A técnica da ponta de prova marcadora é mais sensível do que a da ponta de prova detectora, embora esta deva ser usada quando: a) o sistema tiver que ser testado pressurizado; b) o

gás de teste pode ser facilmente absorvido pelas superfícies dos vazamentos; c) o detector tem um sensor que pode ser operado em pressão atmosférica. A técnica da ponta marcadora deve ser usada quando: a) o sensor do detector tem que ser evacuado para ser usado; b) a detecção de vazamentos é feita no modo dinâmico.

Métodos sensíveis de detecção de vazamentos

Detector de gases halógenos

Este detector foi desenvolvido em 1948 e lança mão de um filamento de platina aquecido ao rubro ($\approx 900^{\circ}\text{C}$) que emite ions positivos. A presença de pequenos traços de vapores halógenos (Cl, F, Br, I) aumenta marcadamente a emissão dos ions positivos, e é este aumento na emissão de ions que é usada para a detecção de vazamentos. O detector (Fig. 5.6) consiste de um cilindro de platina montado

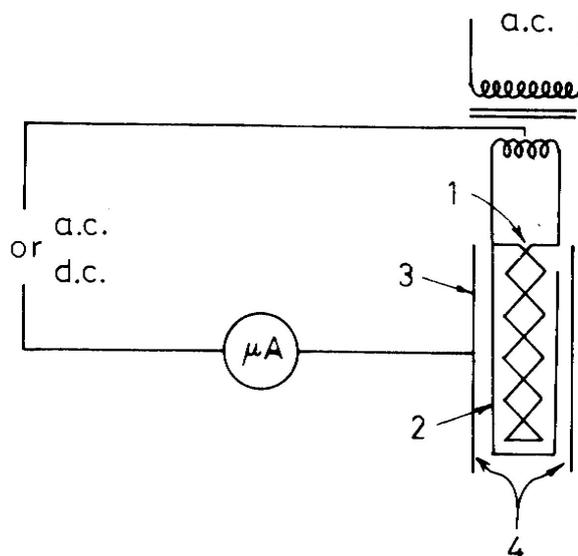


Fig. 5.6: Diagrama do detector de vazamento à base de halógenos: 1 – elemento aquecedor; 2 – cilindro de platina; 3 – cilindro externo; 4 – fluxo de ar. (fig. 7.76 Roth, pg. 454)

em uma resistência elétrica isolada com cerâmica colocada no cilindro de platina. Este conjunto é colocado centrado em um cilindro metálico externo. O cilindro de platina é feito positivo (100 a 500 V) em relação ao cilindro externo, e a corrente iônica é lida em um microamperímetro. O detector halógeno é mais eficiente como detector de vazamento quando colocado dentro do sistema a ser testado, e usando uma ponta de prova marcadora com freon como gás de teste (ou outro gás contendo um halógeno).

Uma das características do detector halógeno é o efeito memória que ele apresenta, requerendo longos tempos de limpeza após ser exposto ao gás de teste, normalmente usando como gás de limpeza um gás isento de halogênios. A sensibilidade deste tipo de sensor é apropriada para vazamentos médios.

Detectores usando medidores de vácuo

Estes detectores baseiam-se no fato de que a maioria dos medidores de vácuo têm sua resposta dependente do tipo de gás que forma a atmosfera em que estão, ou seja, são seletivos ao tipo de gás. Portanto, se a composição da atmosfera do sistema em que o medidor está se altera, a leitura do medidor se alterará também, e este fato é usado para a detecção de vazamentos, que consistirá em espargir um gás de teste na área suspeita de ter vazamento e observar a resposta do medidor de vácuo à medida que o gás penetra no sistema pelo vazamento (Fig. 5.7).

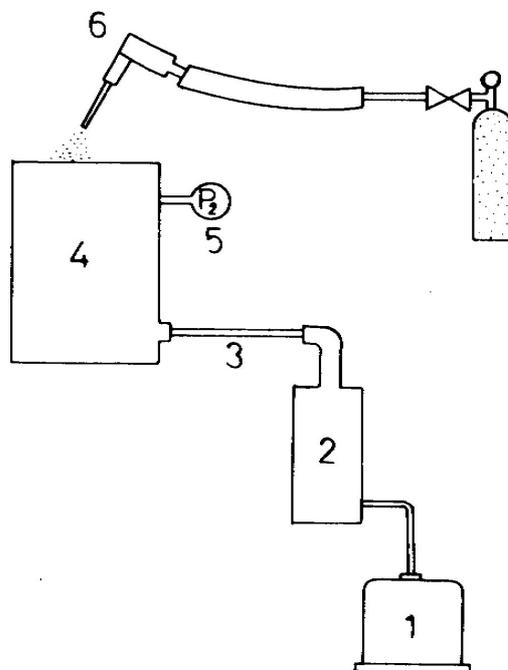


Fig. 5.7: Detecção de vazamento usando medidor de vácuo. 1 – bomba primária; 2 – bomba difusora; 3 – condutância; 4 – sistema em teste; 5 – medidor de vácuo; 6 – ponta de prova com gás de teste. (fig. 7.77 Roth, pg. 454)

Este procedimento é bastante popular porque um sistema de vácuo normalmente possui um ou dois medidores acoplados a ele. Uma limitação do método, todavia, é que ele em geral se aplica apenas a vazamentos grandes, pois a sensibilidade dos medidores de vácuo (como os Pirani e os de ionização, ver cap. sobre medidores), a diversos gases de teste é relativamente baixa. Como regra empírica, deve-se usar gás de teste de baixa viscosidade e alto peso molecular. Por isso, tem-se normalmente uma grande popularidade para líquidos como éter, acetona, tetracloreto de carbono, embora o seu uso não seja recomendado porque podem mascarar o vazamento tapando-o temporariamente, seja por arraste de partículas ou por dissolução de graxas ou gorduras que ficam no vazamento quando o líquido evapora. Por isso, gases como butano e CO_2 são usualmente recomendados para este tipo de teste. Pode-se usar para teste as seguintes configurações: a) medidor único; b) medidor de vácuo com barreira que admita apenas o gás de teste (por exemplo, hidrogênio e paládio); c) dois medidores idênticos em montagem diferencial.

Detectores usando espectrômetros de massa

Os espectrômetros de massa são instrumentos em que moléculas do gás da atmosfera em que estão são ionizadas, aceleradas para uma região que as discrimina pela massa que possuem, e finalmente são detectadas em um detector iônico apropriado. Os métodos de ionização são os usuais, utilizando-se choques com elétrons gerados por termoemissão. A aceleração destas moléculas é feita

por meio de campos elétricos apropriados, enquanto que sua discriminação ou separação em grupos é feita por campos magnéticos, por ressonância ou por tempo de voo.

Um primeiro tipo de espectrômetro de massa é o de deflexão por campo magnético. A corrente iônica é gerada pelo bombardeamento de moléculas por elétrons em um pequeno receptáculo (Fig. 5.8). Os íons assim formados são retirados deste receptáculo através de uma fenda estreita utilizando-se um campo elétrico, e defletidos de um ângulo variando de 60 a 180 graus (Fig. 5.8) por um campo magnético perpendicular à sua trajetória. Variando o valor do campo magnético e da voltagem de aceleração todos os íons de uma determinada relação carga/massa são focalizados na fenda coletora do detector iônico. A intensidade do sinal aí registrada é proporcional à quantidade de íons acelerados, ou seja, é proporcional à sua pressão parcial na atmosfera de onde os íons foram retirados. Por este motivo, os espectrômetros de massa também são muito utilizados para a medida de pressões parciais no intervalo desde 10^{-4} até 10^{-15} torr. Os gases constituintes da atmosfera são determinados fazendo-se uma varredura voltagem/campo magnético, e registrando as intensidades dos íons em função da massa iônica.

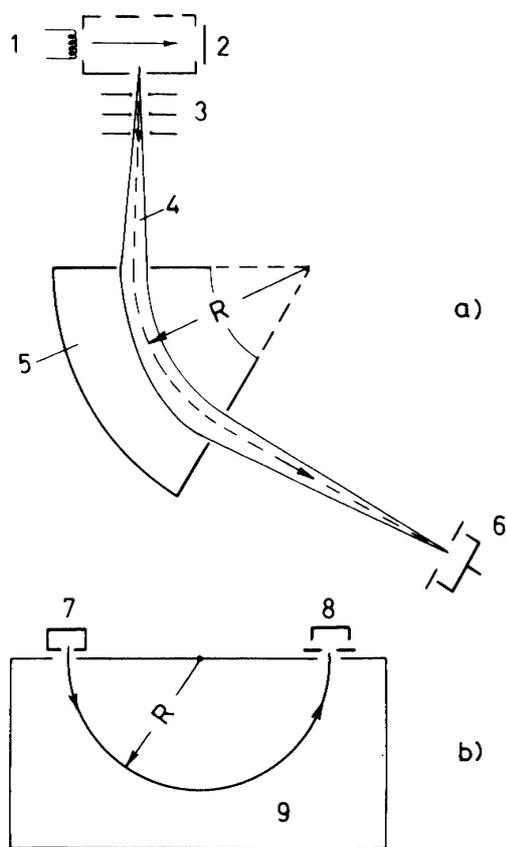


Fig. 5.8: Esquema de espectrômetro de massa de setor magnético. a) instrumento tipo setor; b) instrumento de deflexão de 180 graus. 1 – filamento; 2 – coletor de elétrons; 3 – eletrodos focalizadores; 4 – feixe iônico; 5 – campo magnético (perpendicular ao plano da figura); 6 – coletor de íons; 7 – câmara de ionização; 8 – coletor de íons; 9 – campo magnético. (fig. 6.41 Roth, pg. 328)

Um segundo tipo de espectrômetro de massa é o denominado trocoidal ou cicloidal, nos quais os íons são defletidos por campos estáticos elétrico e magnético cruzados (Fig. 5.9). Neste arranjo, os íons seguem trajetórias trocoidais ou cicloidais, que são função dos valores dos campos elétrico e magnético, de modo que, ajustando-os, pode-se selecionar as massas que atingirão o detector de íons. O instrumento tem duas fendas fixas e, mantendo constante o campo magnético e variando o campo elétrico, íons de uma determinada razão carga/massa que se originam atrás de uma

fenda podem ser feitos atravessar a outra fenda e atingir o detector iônico. Um espectro de massa é obtido ao se fazer a varredura do campo elétrico.

Um terceiro tipo de espectrômetro de massa é o denominado omegatron (Fig. 5.10), que utiliza o conceito de ressonância ciclotrônica. Os íons positivos movem-se em um plano perpendicular a um campo magnético constante e são acelerados em trajetórias helicoidais de raio crescente (espiral de Arquimedes) através do uso de um campo elétrico senoidalmente alternado. Este esquema lembra o da ressonância ciclotrônica. No omegatron, um fino feixe de elétrons passa de um filamento que os emite a um coletor na outra extremidade, como ilustrado na Fig. 5.10, ao longo da linha central do instrumento. Acima e abaixo do feixe eletrônico estão duas placas metálicas que fornecem o campo elétrico de rádio frequência (RF). Íons que são formados por impactos na região central do feixe de elétrons são acelerados por este campo, e se a frequência de ressonância destes íons no campo magnético é a mesma frequência do campo de RF, os íons seguem trajetórias helicoidais, pois estarão ganhando energia continuamente, o que faz com que os raios de suas trajetórias aumentem continuamente, até que eles atinjam o detector iônico. Os íons cujas frequências não são iguais à do campo de RF não ganham energia continuamente, e por isso ficam oscilando na região central do instrumento. A discriminação em massa é feita variando a frequência RF do campo elétrico. Estes instrumentos podem medir pressões parciais de 10^{-5} torr a 10^{-11} torr.

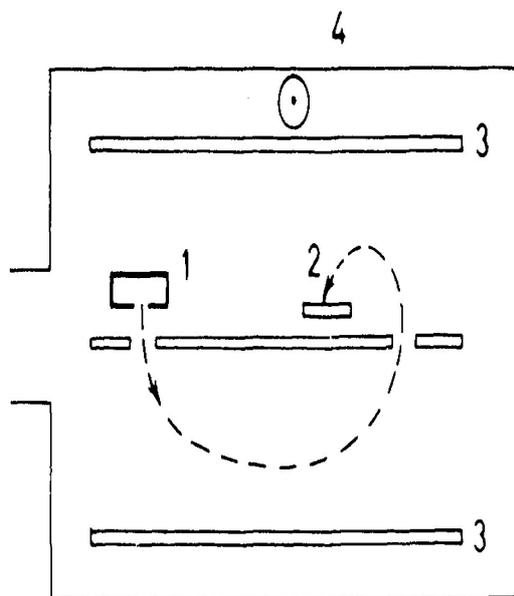


Fig. 5.9: Esquema de espectrômetro de massa trocoidal: 1- fonte de íons; 2 – coletor de íons; 3 – placas do campo elétrico; 4 – campo magnético perpendicular ao plano da figura. (fig. 6.43 Roth, pg. 331)

Um quarto tipo de espectrômetro de massa é o denominado quadrupolo, que não requer a presença de um campo magnético para o seu funcionamento, podendo, portanto, ser bastante pequeno comparado com os anteriores. O instrumento (Fig. 5.12) consiste de 4 hastes cilíndricas às quais é aplicada uma combinação de campos elétricos (ou voltagens) estático (DC) e alternado. Para uma dada frequência do campo apenas íons de um valor particular de carga/massa passam através do espectrômetro e atingem o coletor de íons. A discriminação em massa é feita variando a frequência deste campo, ou variando o campo estático. Estes instrumentos podem trabalhar a partir de 10^{-5} torr e conseguem detectar pressões parciais até da ordem de 10^{-12} torr.

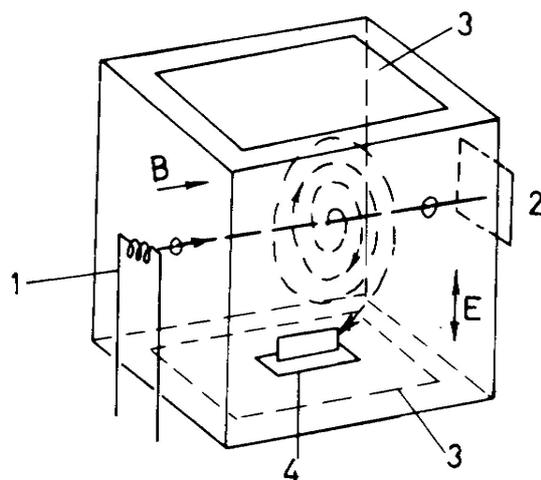


Fig. 5.10: Esquema do omegatron: 1 – filamento; 2 – coletor de elétrons; 3 – placas de RF; 4 – coletor de íons; B – campo magnético; E – campo elétrico. (fig. 6.44 Roth, pg. 331)

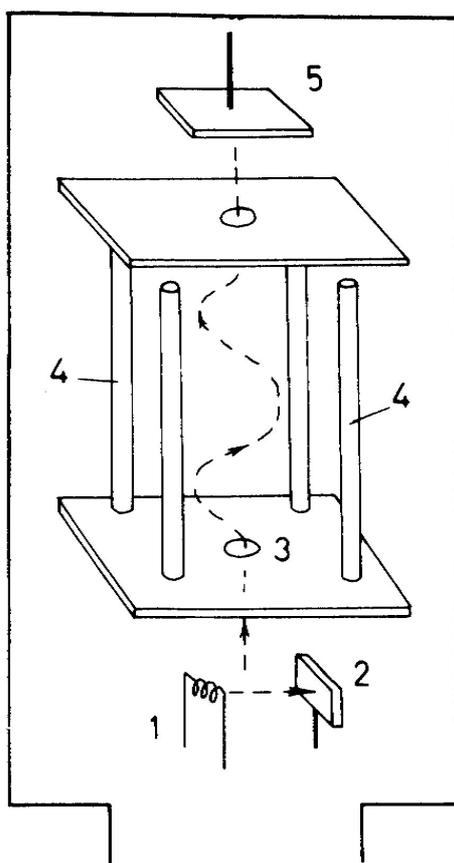


Fig. 5.12: Esquema de espectrômetro de massa tipo quadrupolo: 1 – filamento; 2 – coletor de elétrons; 3 – fenda de entrada; 4 – varetas do quadrupolo; 5 – coletor de íons. (fig. 6.47 Roth, pg. 335)

Uma variante deste tipo de instrumento é o assim chamado espectrômetro monopolo, que consiste de uma única vareta cilíndrica centrada na diagonal de duas placas planas formando um ângulo de 90 graus entre si. Estas placas atuam como refletores que originam três imagens

eletrostáticas da vareta cilíndrica, formando, portanto, um quadrupolo como no caso anterior.

Um quinto tipo de espectrômetro de massa é o denominado espectrômetro de tempo de voo, que consiste de uma fonte pulsada de íons e de um coletor de íons no lado oposto de um tubo evacuado. Os íons são formados por bombardeamento de elétrons e acelerados em direção ao coletor de íons por um ou por uma série de campos elétricos. A discriminação em massa ocorre através do tempo que diferentes íons levam para ser acelerados no campo elétrico. Este tipo de instrumento é capaz de detectar pressões parciais até da ordem de 10^{-9} torr.

Detectores de Vazamento à Base de Espectrômetros de Massa

A Fig. 5.13 mostra o arranjo esquemático básico de um detector de vazamento baseado em um espectrômetro de massa (comparar com Fig. 5.4). O detector do gás de teste é o espectrômetro de massa MS, que é evacuado pelo conjunto de bombas marcado 1, que no exemplo consiste de uma bomba difusora e de uma bomba mecânica, cuja velocidade de bombeamento pode ser controlada, dentro de certos limites, pela válvula V_1 .

Embora diversos gases possam ser usados para a detecção de vazamentos, é usual utilizar-se como gás de teste o hélio, pois ele está bem separado em massa dos demais elementos, é inerte e é um átomo extremamente pequeno, penetrando em vazamentos muito pequenos. Por isso, os espectrômetros de massa são usualmente sintonizados para a sua massa. Para detectores bastante sensíveis, os espectrômetros de setor magnético são os mais indicados; por outro lado, devido ao seu reduzido tamanho e à sua flexibilidade, são muito convenientes os espectrômetros tipo quadrupolo ou monopolo.

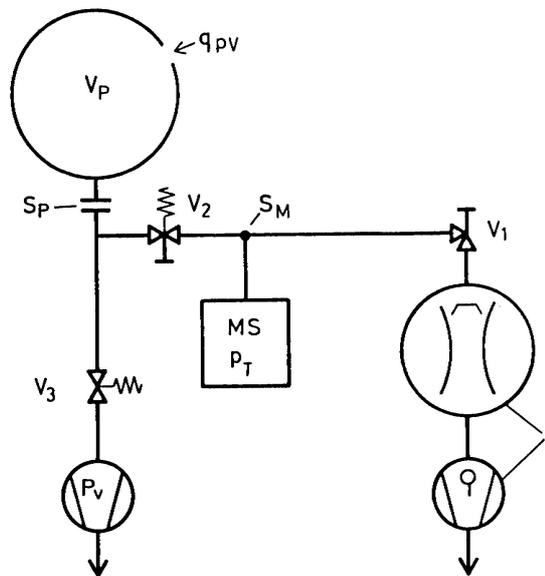


Fig. 5.13: Esquema de detector de vazamento com He. MS – espectrômetro de massa; V_P – sistema em teste; 1 – sistema de vácuo para o espectrômetro de massa; V_1, V_2, V_3 – válvulas; P_v – bomba primária; S_M, S_P – velocidades de bombeamento de 1 nas posições indicadas; $q_{p,v}$ – taxa de vazamento. (Fig. 11.56 Wutz pg. 451)

Na Fig. 5.13 (ver também Fig. 5.4a) o espectrômetro de massa é colocado na região de alto vácuo, ou seja, antes da entrada da bomba difusora. Este arranjo é interessante, mas pode trazer problemas para a operação do sistema quando se tem grandes vazamentos, pois, neste caso, pode-se não alcançar a pressão máxima de trabalho do espectrômetro de massa. Em geral, estes sistemas também usam uma armadilha de LN₂, e isto pode aumentar significativamente o tempo de

bombeamento do sistema. Para evitar estes problemas, é usual colocar-se o espectrômetro de massa na linha de baixo vácuo, entre a saída da difusora e a entrada da bomba mecânica, como ilustrado pela Fig. 5.14 e a Fig. 5.4b. Note que na Fig. 5.14 tem-se uma bomba turbomolecular no lugar da difusora, esta última mostrada na Fig. 5.4b.

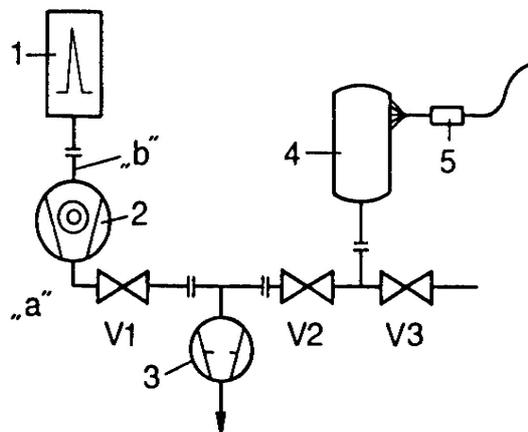


Fig. 5.14: Esquema de detecção de vazamento pelo princípio do contrafluxo: 1 – espectrômetro de massa; 2 – bomba turbomolecular (ou difusora); 3 – bomba primária; 4 – sistema em teste; 5 – ponta de prova marcadora. (Fig. 11.60a Wutz, pg. 455)

Note que na Fig. 5.14 a bomba mecânica bombeia simultaneamente o sistema para o qual se quer determinar a presença de vazamentos, e a bomba turbomolecular (ou difusora), que bombeia exclusivamente o espectrômetro de massa. O princípio de funcionamento deste detector de vazamento é que a velocidade de bombeamento da bomba turbomolecular (ou da difusora) depende da massa molecular a ser bombeada, e um átomo leve como o He pode retrodifundir pela bomba e facilmente alcançar o espectrômetro de massa por contrafluxo, enquanto o mesmo não acontece para os demais gases que compõem a atmosfera.

Vazamentos Calibrados ou Vazamentos de Teste

Os detectores de vazamentos precisam ser periodicamente calibrados, para evitar problemas originários de deriva de componentes eletrônicos ou deterioração do sensor de íons. Esta calibração é feita com o uso de vazamentos calibrados, ou vazamentos de teste, que são dispositivos capazes de fornecer um fluxo conhecido, contínuo e constante de He, com o qual a indicação do aparelho é sempre feita coincidir. Vamos descrever dois tipos mais comuns, o vazamento calibrado tipo capilar e o de reservatório de He, também designado vazamento por difusão ou permeação.

Vazamento calibrado tipo capilar

A Fig. 5.15 descreve esquematicamente um vazamento calibrado deste tipo, que consiste de um capilar de vidro (4) colocado no interior de um tubo de aço inox (5). Tanto na entrada de gás (6) quanto na saída (3) o capilar é protegido de contaminação por filtros sinterizados, que devem ser periodicamente limpos. A fonte de He é um balão de borracha (tipo câmara de bola de futebol) cheio do gás, que é ligado à entrada (6), enquanto a saída (3) é conectada ao detector de vazamento através da conexão (2). A preparação do vazamento calibrado é feita abrindo-se a válvula 1 e pressionando-se o balão de borracha para a retirada de ar e o total preenchimento do dispositivo com

He. Após isso, a válvula 1 é fechada, e está-se pronto para a calibração. O fluxo de He, e portanto, a taxa de vazamento, é determinado pelas dimensões geométricas do capilar, e estão na faixa de 10^{-5} mbar.l/s.

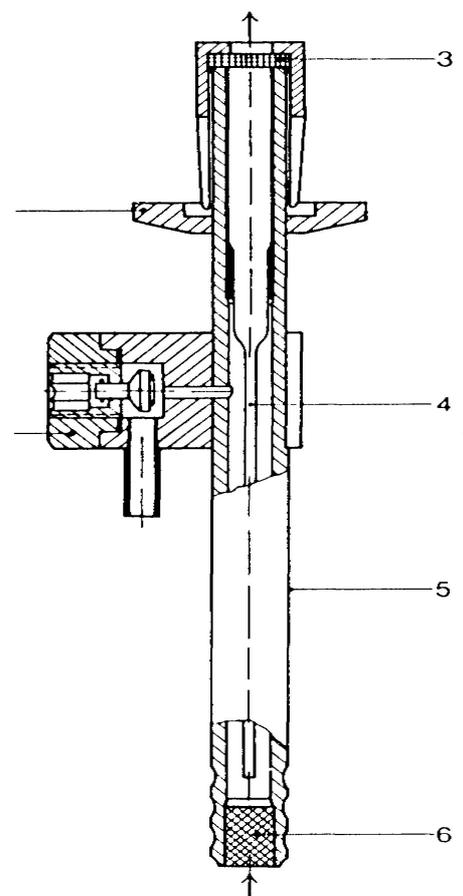


Fig. 5.15: Vazamento padrão tipo capilar (ver texto) (Fig. 12.3 Wutz, pg. 481)

Vazamento calibrado tipo selado

A Fig. 5.16 mostra esquematicamente um vazamento calibrado do tipo selado, formado por um

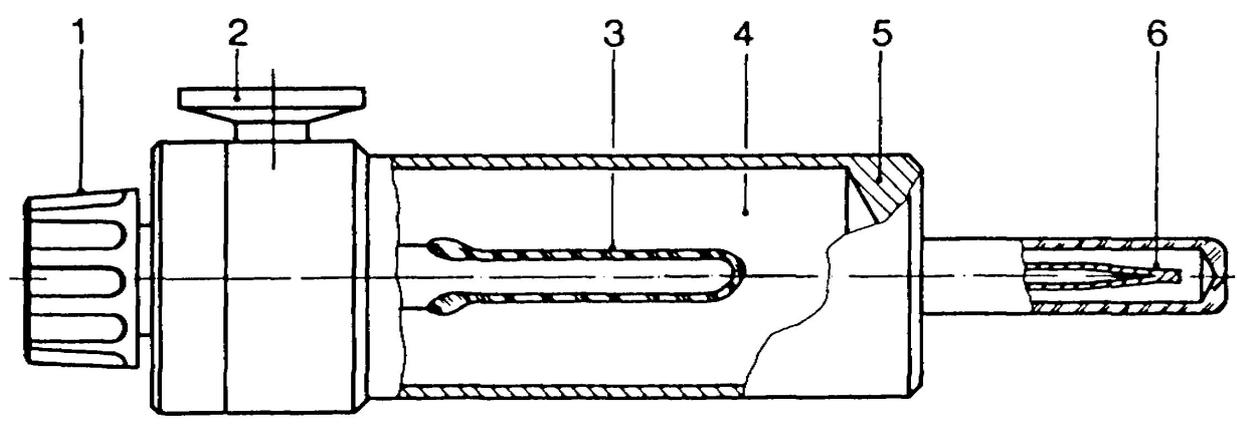


Fig. 5.16: Vazamento calibrado do tipo selado (ver texto) (fig. 12.5 Wutz, pg 483)

cilindro de aço inox (5) cheio de He, dentro do qual é colocado um tubo de vidro que produz um fluxo constante de He através de permeação pela parede de vidro. Este tubo de vidro está ligado a uma válvula (1), que por sua vez pode ser ligada à entrada do detector de vazamento através da flange 2. Na outra extremidade do tubo 5 está a extremidade do tubo de re-enchimento (6) do dispositivo, devidamente protegida. A pressão constante no reservatório e alto vácuo no detector, a taxa de vazamento deste dispositivo é tipicamente $5 \cdot 10^{-8}$ mbar.l/s. Cada vazamento calibrado tem a sua taxa de vazamento, determinada pelo fabricante, rotulada no seu corpo, e é esse valor que é usado para calibrar os detectores de vazamento. Um vazamento calibrado deste tipo pode fornecer a mesma taxa de vazamento por muitos anos.