



Novos desafios no confinamento de fluidos frigoríficos

Orlando M.N.D. Teodoro

Director do METROVAC— Laboratório de Tecnologia e Metrologia de Vácuo.

Centro de Física e Investigação Tecnológica

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Resumo

As preocupações ambientais estão na origem dos requisitos cada vez mais apertados no que respeita ao confinamento de gases fluorados com efeito de estufa. Neste contexto, a comunidade europeia estabeleceu a obrigatoriedade de inspeções periódicas a todos os equipamentos de refrigeração, de ar condicionado e bombas de calor com mais de 3kg de gás. Estas inspeções deverão ser realizadas por pessoal certificado e com detectores de fugas calibrados. Os detectores deverão ser sensíveis pelo menos a uma fuga de 5g/ano de gás fluorado e verificados a cada 12 meses.

Vai ser necessário criar a oferta de novos serviços especializados neste sector. Para além da formação do pessoal e da sua certificação, será necessário também assegurar procedimentos validados de qualificação dos detectores. É nesta linha que o METROVAC está a trabalhar preparando-se para poder vir a oferecer serviços de qualificação de detectores de fugas e a calibração de fugas de referência, tanto para o nosso País como para o estrangeiro.

Introdução

Com a descoberta do buraco do ozono, confirmando a teoria dos prémios Nobel Rowland e Molina, e com a crescente percepção do fenómeno do aquecimento global, possuímos hoje uma maior sensibilidade à necessidade de confinar todos os refrigerantes com tanta estanquidade quanto possível. Este facto, tem conduzido a uma crescente consciencialização da necessidade de um controlo rigoroso de fugas em circuitos de frio e de todos os equipamentos com gases fluorados com efeito de estufa.

Depois de mais de 60 anos, a emergente indústria de refrigeração e ar condicionado abandonou os CFC's e passou a usar gases refrigerantes fluorocarbonados porque se acreditava que eram benignos para o ambiente. Mas, embora estes não afectem a camada de ozono, o seu contributo para o efeito de estufa e para o conseqüente aquecimento global tornou-se uma preocupação crescente.

Os proponentes da utilização de refrigerantes não fluorados argumentam que as preocupações com o aquecimento global podem ser aliviadas através do uso de outros fluidos como a amónia ou os hidrocarbonetos. Isto enfatiza um aparente paradoxo nos requisitos de estanquidade:

- Os gases fluorados necessitam de sistemas estanques devido aos seus efeitos nocivos para o ambiente.
- Os hidrocarbonetos e a amónia precisam de confinamento para proteger as pessoas e os bens nas proximidades do risco de incêndio e, no caso da amónia, do risco de exposição tóxica.

Por outras palavras, os gases fluorados têm de ser confinados para proteger o ambiente *global* e as suas alternativas têm de ser igualmente confinadas para proteger o ambiente *local*. Por estes motivos, em ambos os casos é necessário uma estanquidade adequada.

Os requisitos de estanquidade que resultam da implementação de políticas de protecção do ambiente, são normalmente mais exigentes do que os requisitos que resultam de aspectos meramente relacionados com a perda de eficiência dos equipamentos. Por isso, estes requisitos envolvem desafios tecnológicos sérios, sobretudo no diz respeito à metrologia e à garantia de qualidade resultantes da aplicação desses requisitos.

Neste artigo, descreveremos em primeiro lugar que requisitos resultam do recente regulamento comunitário 842/2006 que estabelece a política comunitária nesta área. Veremos que implicações imediatas a sua implementação irá trazer para o sector com a obrigatoriedade das inspecções periódicas. Depois descreveremos os principais métodos de detecção de fugas e as suas limitações. Em seguida descreveremos os procedimentos que serão necessários para assegurar a qualidade dos serviços e o cumprimento dos requisitos estabelecidos e por fim apresentaremos a estratégia do METROVAC para poder dar resposta a alguns dos desafios na área da metrologia resultantes da aplicação da nova legislação.

O novo regulamento europeu

Em 2002, com a aprovação formal do Protocolo de Quioto pela Comunidade Europeia, estabeleceu-se a meta de reduzir em 8% as emissões de gases com efeito de estufa, incluindo em grande parte os gases fluorados como o R-134a. Esta meta deu origem ao regulamento europeu nº 842/2006 que descreve o objectivo de reduzir a libertação desses gases através de uma política em matéria de confinamento, utilização, etiquetagem, recuperação e de sua eliminação.

Nos termos do regulamento, a aplicação desta política passa pelo controlo periódico, por pessoal certificado, da estanquidade de todos os equipamentos que contenham mais de 3 kg de fluido. Estabelece também que a frequência destas inspecções sejam dependentes da carga de gás - 1 ano, 6 ou 3 meses. Para as grandes instalações (>3000kg) deve existir equipamento de detecção em permanência.

Este regulamento ao estabelecer que se devem evitar e reparar as fugas, não determina o seu valor máximo admissível. Este aspecto é importante, porque não existem sistemas estanques em sentido

O regulamento no seu artigo 3º sob o título "Confinamento" determina:

1. Os operadores das seguintes aplicações fixas: equipamentos de refrigeração, de ar condicionado e de bombas de calor, incluindo os seus circuitos, e sistemas de protecção contra incêndios, que contenham gases fluorados com efeito de estufa enumerados no anexo I, devem, utilizando todas as medidas que sejam tecnicamente exequíveis e não acarretem encargos desproporcionados:
 - a) Evitar as fugas desses gases; e
 - b) Reparar assim que possível quaisquer fugas detectadas.
2. Os operadores das aplicações referidas no n.º 1 devem assegurar que as aplicações sejam controladas para detecção de fugas por pessoal acreditado que cumpra os requisitos do artigo 5.º, de acordo com a seguinte programação:
 - a) As aplicações que contenham 3 kg ou mais de gases fluorados com efeito de estufa devem ser controladas para detecção de fugas pelo menos uma vez de doze em doze meses; este requisito não se aplica aos equipamentos com sistemas hermeticamente fechados que estejam rotulados como tal e contenham menos de 6 kg de gases fluorados com efeito de estufa;
 - b) As aplicações que contenham 30 kg ou mais de gases fluorados com efeito de estufa devem ser controladas para detecção de fugas pelo menos uma vez de seis em seis meses;
 - c) As aplicações que contenham 300 kg ou mais de gases fluorados com efeito de estufa devem ser controladas para detecção de fugas pelo menos uma vez de três em três meses.

As aplicações devem ser controladas para detecção de fugas no prazo de um mês a contar da reparação de uma fuga, a fim de assegurar que a reparação foi eficaz.

Para efeitos do presente número, «controladas para detecção de fugas» significa que o equipamento ou sistema é examinado para detectar fugas, utilizando métodos de medição directos ou indirectos, com incidência nas partes do equipamento ou sistema com maior probabilidade de ocorrência de fugas. Os métodos de medição directos e indirectos para a detecção de fugas são especificados nos requisitos normalizados de controlo previstos no n.º 7.

3. Os operadores das aplicações referidas no n.º 1 que contenham 300 kg ou mais de gases fluorados com efeito de estufa devem instalar sistemas de detecção de fugas. Os sistemas de detecção de fugas devem ser controlados pelo menos uma vez de doze em doze meses para garantir o seu correcto funcionamento. No caso de sistemas de protecção contra incêndios instalados antes de 4 de Julho de 2007, os sistemas de detecção de fugas devem ser instalados até 4 de Julho de 2010.
4. Caso exista um sistema de detecção de fugas adequado que funcione correctamente, a frequência das medidas de controlo requeridas nos termos das alíneas b) e c) do n.º 2 é reduzida para metade.
5. No caso de sistemas de protecção contra incêndios para os quais já exista um regime de inspecções para efeitos de conformidade com a norma ISO 14520, estas inspecções podem também respeitar as obrigações previstas no presente regulamento, desde que tenham pelo menos a mesma frequência
6. Os operadores das aplicações referidas no n.º 1 que contenham 3 kg ou mais de gases fluorados com efeito de estufa devem manter registos da quantidade e do tipo dos gases fluorados com efeito de estufa instalados, das quantidades adicionadas e das quantidades recuperadas durante as operações de assistência técnica, de manutenção e de eliminação final.

Manterão igualmente registos de outras informações relevantes, incluindo a identificação da empresa ou do técnico que efectuou a assistência técnica ou a manutenção, bem como as datas e os resultados dos controlos efectuados ao abrigo dos nºs 2, 3 e 4, e informações relevantes que identifiquem os equipamentos fixos das aplicações referidas nas alíneas b) e c) do n.º 2. Quando solicitados, esses registos são facultados a autoridade competente e à Comissão.
7. Até 4 de Julho de 2007, a Comissão deve estabelecer, nos termos do n.º 2 do artigo 12.º, os requisitos normalizados para a detecção de fugas de cada uma das aplicações referidas no n.º 1 do presente artigo.

absoluto; por exemplo, a permeabilidade dos materiais não metálicos usados como vedantes é facilmente medida. Além disso, existem detectores de fugas comerciais que têm um limite de sensibilidade muito para além do que é razoável aplicar neste tipo de aplicações.

No entanto, o regulamento 1516/2007 estabeleceu os requisitos de sensibilidade para os detectores de fugas de fluidos refrigerantes halogenados. Determina que deverão ter limite de detecção de 5g/ano e que deverão ser verificados de 12 em 12 meses.

Outra novidade do regulamento 842/2006 é a necessidade de pessoal certificado, para a realização das inspeções periódicas. O regulamento 303/2008 estabelece os vários níveis de certificação bem como requisitos mínimos para a certificação de empresas e de pessoas.

Atendendo a que existem milhares de instalações em Portugal que venham a necessitar de serem inspeccionadas, afigura-se que muito trabalho venha a existir em breve nesta área. Por este motivo, será necessário assegurar, não só a inspeção dos equipamentos, mas também a formação e a certificação dos técnicos.

Mas, para que a qualidade dos serviços seja garantida, será necessário também disponibilizar meios de calibração e de verificação dos detectores de fugas a serem usados nessas inspeções.

Técnicas de detecção de fugas

Os métodos de detecção de fugas de gases podem ser muitos diferentes desde rudimentar método da bolha até ao uso de um sofisticado espectrómetro de massa. Descreveremos apenas os métodos de detecção de fugas, apropriados para a detecção em equipamentos com gases fluorados. Visto que muitos detectores são igualmente aplicáveis a todos os gases halogenados (tipicamente fluorados e clorados) nas secções seguintes usa-se o termo halogenado para enfatizar este aspecto.

As 'velhas' técnicas

Presentemente, o teste da bolha ainda é muito utilizado. Neste teste, aplica-se uma emulsão de água com um surfactante e observa-se a formação de bolhas. Embora seja um método razoavelmente sensível, não é quantitativo, não pode ser calibrado e depende muito do utilizador e de outras condições difíceis de controlar.

Para se estimar a limite de detecção deste método pode-se considerar a formação de uma bolha de volume V gerada através de uma diferença de pressão 1 bar durante um período de tempo t . A grandeza da fuga (o fluxo Q) é dada por:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^3}{600\,000 \cdot t} \quad (\text{std cm}^3/\text{s})$$

Por exemplo, considerando que demora 10 s a formar-se uma bolha de 3 mm de diâmetro, o fluxo da fuga será de $1,4 \times 10^{-5}$ std cm³/s. Naturalmente, este é apenas de um valor de exemplificativo muito dependente das condições e da pessoa que executa o teste. Normalmente considera-se 10^{-4} std cm³/s como o limite de detecção desta técnica. Difícilmente pode ser usado de uma forma quantitativa sendo, no entanto, útil para localizar a fuga.

Tabela 1— Unidades usadas em ensaios de estanquidade e a sua relação

mbar.L/s	cm ³ /s (NPT)* ou std cm ³ /s	Torr.L/s	Pa.L/s	Pa.m ³ /s	mol/s	g/ano (R134a)
1	0,987	0,75	100	0,1	$4,40 \times 10^{-5}$	$1,42 \times 10^5$
7.0×10^{-6}	7.0×10^{-6}	5.3×10^{-6}	7.0×10^{-4}	7.0×10^{-7}	3.1×10^{-10}	1

* Sob condições normais de pressão e temperatura (T=273,17K, p=1013,25 hPa)

Embora não seja propriamente uma técnica portátil, a variação da pressão é pode ser usada para avaliar a estanquidade porque permite obter facilmente valores quantitativos. No entanto, quando existem duas fases (líquida e gasosa) dentro do volume a testar, a aplicação deste método na forma quantitativa não é trivial.

Em instalações pressurizadas apenas com fluido na fase gasosa (tipicamente sem estarem em operação) o uso de manómetro fiável e com boa resolução permite suspeitar da existência de uma fuga se ocorrer uma perda de carga observável. A grande limitação desta técnica é que não permite identificar a localização da fuga e, por isso, é muitas vezes usada em associação com o método da bolha.

Para se estimar o limite de detecção desta técnica podemos considerar um volume de 1 L e um medidor de pressão capaz de medir uma variação de pressão Δp de 1 mbar, durante um período de 1000 s. Neste caso, esta técnica medirá uma fuga de:

$$Q = \frac{1 \text{ mbar}}{1000 \text{ s}} \times 1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ mbar} \cdot \text{L/s} \approx 10^{-3} \text{ std cm}^3/\text{s}$$

Este valor pode ser melhorado se a duração do teste for aumentada, se o volume for reduzido ou se for utilizado um sensor de maior resolução. Mas, durante a realização de ensaios demorados variações de temperatura podem conduzir a resultados enganadores. Com a este método, dificilmente se conseguem obter limites de detecção melhores que 10^{-4} std cm³/s. Os medidores de pressão utilizados são normalmente diferenciais permitindo obter a máxima sensibilidade da técnica. Um volume de referência é também pressurizado até à pressão de teste, sendo depois registada a variação de pressão em relação a esse volume que é mantido a pressão constante.

Detectores de gases halogenados

Existem detectores de fugas especialmente sensíveis aos gases halogenados. Alguns não são muito caros e sofisticados e têm uma boa sensibilidade. No entanto, raramente são quantitativos pelo que dificilmente conseguem avaliar a grandeza de uma fuga.

Os gases halogenados são bons sinalizadores de fugas porque são praticamente inexistentes na atmosfera. Assim, a sua detecção está sempre associada a uma fuga (excepto em linhas de produção onde a atmosfera pode apresentar vestígios desses gases). Existem vários tipos de detectores de gases halogenados no mercado. Os mais comuns são os seguintes:

- Detectores de infravermelhos; na presença de halogéneos a radiação infravermelha de determinadas frequências é absorvida, não chegando ao detector. O sinal é processado e é fornecida uma indicação proporcional à absorção.
- Imagem por laser; estes detectores baseiam-se no princípio de funcionamento dos detectores de infra-vermelhos. Um laser de infravermelhos é usado para varrer uma determinada área e a absorção de cada ponto é representado sob a forma de uma imagem. Como os gases halogenados têm uma absorvância diferente da do ar, torna-se possível localizar a sua presença sob a forma de uma mancha mais escura na imagem.
- Detectores de efeito de corona; o gás é ionizado por um campo eléctrico (numa descarga de corona). Se estiverem presentes halogéneos estes irão capturar electrões da descarga (devido à sua elevada electronegatividade) causando uma diminuição da corrente eléctrica. A electrónica responde inversamente a essa diminuição aumentando a indicação do sinal de resposta.
- Detectores de ânodo quente (ou diodo de iões alcalinos ou diodo de platina); este sensor muito comum, possui um ânodo de platina contaminada de átomos alcalinos. Quando é aquecido a cerca de 900°C, libertam-se iões alcalinos que se deslocam para um cátodo que os colecta. Mas, quando na presença de halogéneos, a produção de iões alcalinos é muito aumentada resultando numa corrente muito maior no colector. Embora essa corrente não seja proporcional à concentração de halogéneos, é uma indicação clara da sua presença. Este detector é muito sensível a gases clorados mas um pouco menos a gases fluorados.
- Tocha de halogéneos; estes detectores não necessitam de electrónica mas apenas uma simples chama. Consiste de um pequeno queimador alimentado por um combustível livre de halogéneos, como álcool ou acetileno, que aquece um prato de cobre. A combustão é alimentada por ar exterior que é arrastado até a zona da chama através de um tubo flexível que serve de sonda para o teste. Na ausência de halogéneos a chama é azul clara. Quando gases halogenados são aspirados para a zona da chama, esta muda de cor passando para um verde característico do cobre.

- Detectores de estado sólido; o seu princípio de operação baseia-se no facto de alguns óxidos metálicos actuarem como células electrolíticas na presença de gases específicos. Dois fios de platina são colocados na superfície de um óxido metálico mas sem estarem em contacto. Quando

Tabela 2— Comparação de métodos de detecção de fugas

Técnica de detecção	Vantagens	Limitações	Limite de detecção típico (g/ano)
Método da bolha	Muito simples e económico	Não é quantitativo	≈ 50
Varição de pressão	Permite uma monitorização em contínuo ao longo do tempo.	Não permite localizar a fuga.	>100
Infra-vermelhos	Quantitativo e não envelhece com o uso.	Mais dispendioso.	<1
Imagem por laser	Permite avaliar uma grande área em pouco tempo.	Pouco sensível e muito dispendioso.	?
Descarga de corona	Robusto e económico.	Pouco sensível. Não pode ser usado em certas atmosferas.	100
Ânodo quente	Muito sensível a baixas concentrações. Económico.	Não pode ser usado em ambientes com vapores combustíveis. O elemento sensor envelhece e perde sensibilidade com o tempo. Tem muitas interferências com outros gases e não é quantitativo.	< 1
Tocha de halogéneos	Simple e robusto	Pouco sensível e não pode ser usado em ambientes com vapores combustíveis.	>100
Estado sólido	Económico e robusto.	Não é quantitativo.	≈ 5
Condutividade térmica	Quantitativo.	Tempo de resposta elevado (≈ 2s).	1 a 5
Ultra-sons	Muito prático e robusto.	Pouco sensível e não é quantitativo.	>100
Espectrometria de massa	Quantitativo e muito estável como o tempo. Pode ser ajustado para detectar apenas um tipo de gás.	É dispendioso e pouco portátil.	< 0,1

o óxido está exposto ao ar, a resistência entre os condutores de platina é praticamente infinita. Mas na presença de certos elementos, como os halogéneos, a resistência diminui e uma pequena corrente eléctrica passa de um condutor para o outro fornecendo assim uma indicação da presença desse gás. Estes sensores podem ser construídos para responderem apenas a certos tipos de gás.

- Detectores de condutividade térmica; estes detectores baseiam-se no facto que diferentes gases arrefecem um filamento quente de modo diferente. Normalmente trabalham num modo diferencial, comparando a condutibilidade térmica do ar com a do gás aspirado pela sonda de teste. Qualquer diferença detectada desequilibra uma ponte de *Wheatstone* fornecendo uma indicação.
- Detectores de ultra-sons; estes detectores são capazes de detectar os sons produzidos pelos gases que escapam por uma fuga. Estes sons são gerados a frequências acima do limite audível (ultra-sons) pelo que precisam de ser detectados e convertidos electronicamente. Trabalham normalmente a frequências entre 30 e 50 kHz. A estas frequências as ondas sonoras são muito direccionais pelo que o detector só é capaz de detectar uma fuga se estiver razoavelmente alinhado para essa fuga.

- Detectores por espectrometria de massa; estes são os detectores mais versáteis, fiáveis e estáveis. Visto que não são específicos para gases halogenados são descritos na secção seguinte.

Tabela 3— Conversão de fluxos mássicos para volumétricos

	massa molar (g/mole)	fluxo de fuga mássico		fluxo de fuga volumétrico	
		g/ano	oz/ano	Pa. m ³ /s	mbar.L/s ou std cm ³ /s
R-134a	102	5	0.18	3.5E-06	3.5E-05
R-12	120.9	5	0.18	3.0E-06	3.0E-05
R-502	111.6	5	0.18	3.2E-06	3.2E-05
R-404A	97.6	5	0.18	3.7E-06	3.7E-05
R-22	96.5	5	0.18	3.7E-06	3.7E-05
R-407C	96.2	5	0.18	3.8E-06	3.8E-05
R-410A	72.6	5	0.18	5.0E-06	5.0E-05
R-717 (NH3)	17	5	0.18	2.1E-05	2.1E-04

Detectores por espectrometria de massa

O método de detecção de fugas utilizando-se espectrómetros de massa é de longe o mais sensível sendo capaz de detectar fugas inferiores a 10^{-11} Pa.m³/s. Comparando com o teste da bolha, esta fuga corresponde à formação de uma pequena bolha com 1 mm³ ao fim de 32 anos! Estes espectrómetros detectam um gás sinalizador quando este passa através das envolventes do volume sob teste. Embora seja comum utilizar hélio ou hidrogénio (numa mistura segura de 5% em 95% de azoto) no caso de equipamento com gás halogenado, este pode servir directamente como gás sinalizador. A sua concentração na atmosfera é muito baixa, de modo que quando é detectado, é indicação de que existe uma fuga.

Esta técnica é muitas vezes aplicada a volumes evacuados mas também pode ser usada para detectar fugas em volumes pressurizados. Neste caso, um pouco de gás é aspirado por uma *sniffer* (cheirador) para dentro do espectrómetro de massa que tem de operar a pressões muito baixas ($\approx 10^{-5}$ mbar).

Um detector de fugas por espectrometria de massa é composto pelas seguintes partes:

- Um sistema de vácuo, normalmente composto por duas bombas de vácuo diferentes em série, um conjunto de válvulas e tubos.
- Um ionizador com um filamento quente que emite electrões e os acelera contra as moléculas de gás, ionizando-as.
- Um filtro de massa; em geral é do tipo sector magnético quando se usa hélio; quando permite funcionar com qualquer gás costuma ser do tipo quadrupolo. O filtro de massa é colocado entre o ionizador e o detector permitindo a separação dos iões de acordo com a sua massa (na realidade é de acordo com a relação m/e de cada ião).
- Um detector que colecta os iões da massa seleccionada pelo filtro de massa; o sinal produzido costuma ser uma corrente eléctrica.
- Electrónica de controlo e de aquisição.

Os espectrómetros de massa são equipamentos com elevada exactidão e fáceis de calibrar. O sinal detectado é proporcional à concentração, pelo que é muito fácil conseguir medidas quantitativas. Quando o filtro de massa é sintonizável (muitos detectores vem ajustados apenas para o hélio) a massa a ser detectada pode ser escolhida. Desta forma permitem não só detectar as fugas mas também identificar o tipo de gás o que pode ser muito conveniente em equipamentos antigos.

A calibração destes equipamentos é realizada com fugas de referência calibradas em laboratórios acreditados para esse fim. No modo de *sniffer*, a calibração é efectuada aspirando uma fuga de valor conhecido. Depois a escala numérica é ajustada para coincidir com o valor proveniente da calibração.

Uma das grandes limitações destes equipamentos é a sua portabilidade limitada. Embora recentemente se tenham começado a comercializar equipamentos portáteis com menos de 10 kg e operados com bateria, são tipicamente para operação com hélio e o seu preço é ainda bastante elevado.

Seleção de um detector

Deve-se ter em atenção que a maioria dos detectores não são específicos para gases halogenados. Visto que detectam o gás de um modo indirecto, é fácil terem interferências com outros gases que tenham alguma propriedade semelhante à dos gases halogenados. Por exemplo, um detector de ânodo quente é também sensível a vapores como o fumo de tabaco e vapores de diluentes. O mesmo acontece com os detectores de descarga de corona, de estado sólido e de condutividade térmica. Por este motivo é importante o equipamento a ensaiar estar limpo e terem-se alguns cuidados durante a realização do teste de fugas como por exemplo o arejamento moderado do local.

Outro aspecto importante, é o envelhecimento do sensor. Visto que os elementos halogéneos são muito reactivos, facilmente alteram permanentemente o sensor. Por este motivo, um detector novo pode ser muito mais sensível que um detector do mesmo tipo após ter sido usado intensamente. E o envelhecimento depende essencialmente da quantidade de gás halogenado a que o detector é exposto durante o seu uso. Este facto é particularmente importante nos detectores de estado sólido e nos detectores de ânodo quente, sendo irrelevante nos detectores de infravermelhos e nos de espectrometria de massa.

A sensibilidade dos detectores pode depender muito do tipo de gás halogéneo. Normalmente são mais sensíveis para gases clorados, pelo que é importante ver para que gás o limite de sensibilidade está indicado nas especificações. Mesmo dentro dos gases fluorados, o limite de detecção depende do tipo de molécula, em particular do número de átomos de flúor que contém. É importante também saber se as especificações indicam o limite de sensibilidade com a sonda estacionária ou com a sonda em movimento. O limite de detecção com a sonda estacionária é sempre melhor que com a sonda em movimento. Mas os ensaios são sempre realizados com a sonda em movimento, pelo que o correspondente limite de detecção é o valor mais importante.

Quando a atmosfera já está poluída com gases halogenados (ou outros), o limite de detecção pode ser bastante diferente. Alguns detectores são sensíveis apenas a variações de sinal subtraindo automaticamente um sinal constante. Outros precisam de ser 'azerados' (ajuste do zero) antes de serem usados. Nestas situações, o limite de detecção poder ser bastante superior ao limite obtido em atmosfera não poluída.

O tempo de resposta e o tempo de recuperação é outro factor que se deve ter em conta. Por exemplo os detectores de condutividade térmica demoram mais de um segundo a dar a resposta. Isso pode ter consequências, porque como os ensaios são realizados com a sonda em movimento algumas fugas podem passar despercebidas.

Podem-se resumir as principais características de um detector com sendo as seguintes:

- A selectividade a um tipo ou a uma família de gases;
- O limite de detecção com a sonda estacionária;
- O limite de detecção com a sonda em movimento;
- O limite de detecção em ambiente poluído;
- A escala de medida ou a possibilidade de medir em várias escalas;
- A repetibilidade de uma indicação da medida;
- O tempo necessário para a detecção;
- O tempo necessário para realizar uma segunda detecção (tempo de recuperação);

Como se pode observar da tabela em destaque, nem todos os tipos de detectores têm um limite de detecção conforme o requisito do regulamento 1516/2007 — <5g/ano. Alguns estão mesmo bastante longe desse valor! Ademais, visto que muitos detectores se deterioram com o uso, o facto de estarem conformes um ano, nada indica que o estejam passado 12 meses. Por este motivo, é importante trabalhar com equipamento de qualidade e com um limite de detecção inferior ao requisito de 5g/ano (por ex. 1g/ano) para que possa ser usado durante bastante tempo. Também é importante escolher equipamento cujo elemento sensor possa ser substituído facilmente.

Uma maneira prática de verificar se o equipamento continua sensível é por se usar uma fuga de referência cada vez que se faz o teste. Estas fugas geram um fluxo constante de valor conhecido do gás em teste. Ao se aproximar o detector de um fuga deste tipo, é possível ter uma indicação, ainda que não normalizada, do estado de operacionalidade do detector.

Qualificação de detectores

Se os equipamentos a serem usados nas inspecções não forem sujeitos a um processo de qualificação normalizado, não será possível garantir a aplicação da legislação. Por exemplo, o limite de detecção deverá ser medido por um processo normalizado e independente dos fabricantes. Por isso, quando o

regulamento 1516/2007 determina que os detectores sejam sensíveis a uma fuga de 5g/ano e que devem ser verificados de 12 em 12 meses, pressupõe-se que isso deva ser realizado por um acreditado para o efeito.

Excerto da EN 14624

7.2 Lowest sensitivity threshold when the leak detector is moving

The leak detector, moved back and forth ten times, at a speed of 0,2 cm/s \pm 10 %, laterally with a lateral length of \pm 20 cm around the leak location and passing at 2 mm \pm 0,1 mm of this leak location, shall be able to detect a 5 000 ppm (V/V) concentration, which corresponds to a leak rate in the range of 3 g/year of R-134a (see Annex B).

Testing conditions are detailed in 11.1.

A norma EN 14624:2005 descreve o método de qualificação deste tipo de detectores de fugas. Embora refira um limite de detecção de 3g/ano, sendo mais exigente que regulamento 1516/2007, especifica o modo com esta avaliação deve ser realizada.

Determina que os detectores sejam montados num suporte móvel que se desloca perpendicularmente ao orifício de uma fuga de referência calibrada. A deslocação deverá ser pelo menos de 20 cm a mais para cada lado da fuga. A sonda deverá se deslocar a uma velocidade de 2 mm/s em frente à fuga de referência que deverá ser colocada a uma distância de 2 mm, no ponto de maior aproximação. Este processo deverá ser repetido 10 vezes e o detector deverá ser capaz de assinalar a fuga todas as vezes.

Esta descrição mostra como a partir de um fluxo de referência gerado pela fuga calibrada, as condições de verificação (ou qualificação) devem ser claramente definidas. Isto tem várias implicações importantes para a prática da detecção e para a normalização dos detectores.

Para a prática de detectar, qualquer indicação do detector deve ter em conta a distância a que este está da fuga e a velocidade da sonda. Esta velocidade deve ser extremamente lenta e a distância da sonda à instalação deve ser tão curta quanto possível. O operador deverá realizar movimentos precisos que permitam a detecção sistemática em toda a extensão do equipamento. A prática usual de detecção é realizada com menos precauções do que as necessárias para se atingir uma alta precisão. Visto que a maior parte do tempo gasto a se localizar fugas é sem sucesso, é fácil passar por uma fuga de uma forma despercebida. Por este motivo, na prática apenas normalmente se conseguem localizar as maiores fugas.

A qualificação dos detectores também pode ser realizada em ambiente poluído. Neste caso, o sistema anteriormente descrito é colocado numa envolvente estanque e é gerada uma atmosfera com a concentração desejada, tipicamente com algum gás halogenado misturado. O 'zero' do detector deverá ser ajustado (se for caso disso) e o teste de qualificação deverá ser realizado como anteriormente. Estes ensaios são particularmente importantes quando é necessário usar detectores em ambientes fechados, em linhas de produção, ou em outros locais em que a concentração seja 'à partida' mais elevada do que uma atmosfera 'normal' bem ventilada. Nesta situação, os detectores poderão perder sensibilidade, tornando-se incapazes de detectar uma fuga de 5g/ano.

Estes ensaios de qualificação são essenciais para definir as qualidades metrológicas dos detectores de fugas. Por exemplo, ensaios realizados em França no LNE (Laboratoire National d'Essais) revelaram que a tecnologia baseada em ultra-sons tem, geralmente, muito baixa capacidade de detectar fugas e que muitos detectores a custos aceitáveis são capazes de detectar fugas com fluxos entre 1 e 3 g/ano.

Calibração de fugas de referência

Esta descrição do método de ensaio dos detectores mostra que a sua qualificação é totalmente baseada na exactidão com que se conseguem calibrar as fugas de referência. Portanto, há que assegurar a rastreabilidade da calibração destas fugas.

Estas fugas podem ser de dois tipos: de capilar ou de permeabilidade. Em geral todas possuem um reservatório que pode ser recarregado. As fugas de capilar consistem de um pequeno tubo com cerca de 1 μ m de diâmetro e alguns mm de comprimento. O gás flui livremente por este tubo com grande estabilidade ao longo do tempo. A grande limitação destas fugas é a facilidade com que entopem total ou parcialmente.

As fugas de membrana tiram partido da permeabilidade ao gases de certos materiais como o papel ou certas borrachas. Um reservatório é pressurizado com o gás desejado e em certa área é colocada uma membrana com um lado para o gás e o outro para o exterior. Ao fim de algum tempo, o gás que atravessa a membrana tem um fluxo constante. A grande vantagem destas fugas é que nunca entopem, visto que não possuem nenhum orifício. Mas por outro lado, o fluxo é mais dependente do tipo de gás e da temperatura do que as fugas de capilar.

As infra-estruturas para realizar as calibrações de qualquer deste tipo de fugas são muito raras e envolvem uma tecnologia muito diferenciada. O método usado para a calibração das fugas de referência de hélio, comumente usadas para calibrar os detectores por espectrometria de massa, não é adequado para calibrar fugas com gases halogenados. O motivo é que estas são entre 10 a 1000 vezes maiores que as fugas de hélio típicas. Nas fugas com halogéneos o regime de escoamento deixa de ser molecular (como é o caso das fugas de hélio) para ser viscoso. Em regime viscoso, o valor da fuga depende da

diferença do quadrado das pressões (dentro do reservatório e no exterior) enquanto que em regime molecular depende linearmente dessa diferença. Além disso, é possível encher um reservatório com hélio até centenas de bar enquanto que com gases halogenados apenas é possível encher com poucos bar. Assim, faz diferença se uma fuga de gases halogenados com um reservatório com 2 bar for calibrada contra vácuo (0 bar) ou contra a atmosfera (1 bar). Nesta situação a diferença relativa do fluxo pode ser de 25% e é tanto maior quanto menor for a pressão do reservatório. Por este motivo, é importante garantir que as fugas de referência destes gases sejam calibradas às pressões a que venham a ser utilizadas.

Os métodos de calibração disponíveis até ao momento baseiam-se na calibração de um orifício com hélio. A sua condutância é medida (com uma incerteza conhecida) e aplicam-se as correcções necessárias para se calcular o fluxo quando se usa outro gás a outra pressão. Não existe, actualmente, nenhum padrão primário de calibração para este tipo de fugas, estando o LNE em fase adiantada de construção do primeiro. Por este motivo, é muito importante desenvolver mais infra-estruturas de calibração, com rastreabilidade assegurada, para se apoiar a implementação do novo regulamento comunitário com a garantia de que os limites estabelecidos sejam razoavelmente garantidos.

Estratégia do METROVAC

É neste contexto que o METROVAC— Laboratório de Tecnologia de Metrologia de Vácuo pretende vir a intervir com a oferta de serviços de qualificação de detectores de fugas e de calibração de fugas de referência. O METROVAC é um laboratório universitário de prestação de serviços com actividade acreditada na área da metrologia do vácuo. Aguarda para breve a acreditação para ensaios de estanquidade pela técnica de espectrometria de massa de hélio.

Neste momento, o METROVAC já oferece serviço de calibração de fugas de hélio (ainda sem acreditação) mas com garantia de rastreabilidade numa gama de fluxos entre 10^{-8} mbar.L/s e 10^{-5} mbar.L/s.

Está em curso a montagem de um sistema de qualificação de detectores de fugas conforme a EN 14624. Este equipamento permitirá oferecer os serviços de qualificação de detectores essenciais ao início da actividade de inspecção. Espera-se submeter o pedido de acreditação para a qualificação de detectores de fugas ao IPAC já no fim do Verão de 2008.

Numa segunda fase, pretende-se implementar um método de calibração de fugas de referência que funcione para qualquer gás (halogenado ou não) e com uma pressão de descarga variável (tipicamente vácuo ou atmosfera). Estão já em curso os primeiros ensaios de um método inovador de calibração, cujos primeiros resultados serão submetidos para publicação em revistas científicas internacionais ainda este ano.

Espera-se que estes serviços possam vir a ser disponibilizados muito para além do mercado nacional, em particular para a vizinha Espanha. A nova legislação é comum a toda a Europa comunitária, pelo a necessidade de garantir a aplicação dos limites estabelecidos aplica-se a todos os países membros da Comunidade Europeia.

A experiência do METROVAC na detecção e metrologia dos fluxos ultra-baixos foi um factor decisivo para esta estratégia. A quantificação destes fluxos com garantia de rastreabilidade é uma tarefa particularmente desafiadora, que concilia os interesses académicos às novas necessidades do sector do aquecimento, ventilação e ar condicionado.

Conclusão

O regulamento europeu 842/2006 estabeleceu a obrigatoriedade das inspecções periódicas a equipamentos com gases fluorados. A sua implementação implicará o uso de equipamentos capazes de detectar fugas com uma sensibilidade mínima de 5g/ano. A garantia da aplicação deste regulamento implica que todos os detectores de fugas sejam sujeitos a uma ensaio de qualificação antes de serem usados e, depois, a cada 12 meses de acordo com a norma EN 14624.

O METROVAC está a implementar um método de qualificação destes detectores para poder disponibilizar serviços às empresas que vierem a realizar estas inspecções. Está também a desenvolver um método para poder efectuar a calibração de fugas de referência e assim poder também oferecer serviços de calibração com a garantia de rastreabilidade e, conseqüentemente, com a garantia de que objectivos do protocolo de Quioto expressos no regulamento europeu possam ser atingidos.

Bibliografia

- [1] Nondestructive Testing Handbook, Vol.1 Leak Testing, Ed. C.N. Jackson Jr, C.N. Sherlock, P.O. Moore, American Society for Nondestructive Testing, 1998.
- [2] Denis Clodic, Zero Leaks, Limiting Emissions of Refrigerants, ASHRAE, Atlanta, 1997

- [3] I. Morgado, J.C. Legras et D. Clodic, Etalon Primaire pour les debits de fuites frigorigenes, 13th International Metrology Coongress, Lille, 2007
- [4] N.G. Wilson and L.C. Beavis, Handbook of Vacuum Leak Detection, Ed. W.R. Bottoms, AVS Monograph Series, 1988.
- [5] A.M.C. Moutinho, M.E. Silva e M. Áurea Cunha, Tecnologia de Vácuo, Universidade Nova de Lisboa, 1980.
- [6] Introduction to Helium Mass Spectrometer Leak Detection, ed. Varian Vacuum Products, 1995.
- [7] D.M.Hoffman, B. Singh and J.H. Thomas III, Handbook of Vacuum Science and Technology, Academic Press, 1998.



Figura 1— Vários tipos de detectores de fugas



Figura 2— Detector de fugas por espectrometria de massa a hélio