

**NORMA TÉCNICA FONDONORMA  
VIDRIO PARA LA EDIFICACIÓN. UNIDADES DE VIDRIO  
AISLANTE. PARTE 3: MÉTODO DE ENSAYO A LARGO  
PLAZO Y REQUISITOS EN MATERIA DE TASA DE FUGA DE  
GAS Y DE TOLERANCIA DE CONCENTRACIÓN DE GAS**

**ANPROYECTO 1  
NTF 29:3-015/3**

## **1 OBJETO**

Esta norma técnica es la norma de producto para unidades de vidrio aislante y define las unidades de vidrio aislante y asegura por medio de una adecuada evaluación de la conformidad a esta norma que:

- se producen ahorros de energía porque el valor U y el coeficiente solar no cambia de manera significativa;
- se preserva la salud porque la atenuación acústica y el aspecto visual no cambian de manera significativa;
- se garantiza la seguridad porque la resistencia mecánica no cambia de manera significativa.

Esta norma cubre características suplementarias de importancia para el comercio. Se incluyen las condiciones de mercado.

Los usos previstos para unidades de vidrio aislante son principalmente instalaciones en ventanas, puertas, fachadas ligeras, techos y lucernarios cuando existe una protección contra las radiaciones ultravioletas directas sobre los bordes.

**NOTA** - En ausencia de protección contra las radiaciones ultravioletas directas sobre los bordes, tales como materiales vítreos de acristalamiento estructural, conviene adecuarse a especificaciones técnicas suplementarias. Véase bibliografía [2] y [3].

Esta parte de la norma técnica, que es inseparable de las otras partes de la norma, cubre:

- la tasa de fuga de gas por ensayo;
- las tolerancias de concentración de gas;

como un medio para verificar si un producto elaborado de acuerdo con su descripción de sistema es conforme con el aspecto relevante de la definición de unidades de vidrio aislante.

## **2 REFERENCIAS NORMATIVAS**

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en el texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos con base en ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente:

### **2.1 Normas venezolanas**

**FONDONORMA 3936-1:2008** Vidrio para la edificación. Productos básicos de vidrio. Vidrio de silicato sodocálcico. Parte 1: Definiciones y propiedades generales físicas y mecánicas.

**FONDONORMA 3936-2:2008** Vidrio para la edificación. Productos básicos de vidrio. Vidrio de silicato sodocálcico. Parte 2: Vidrio Plano.

**FONDONORMA 3957:2009** Vidrio para la edificación. Determinación de la transmisión térmica (valor U). Método de Cálculo.

**FONDONORMA 29:3-015/1** Vidrio para la edificación. Unidades de vidrio aislante. Parte 1: Generalidades, tolerancias dimensionales y reglas para descripción del sistema.

**FONDONORMA 29:3-015/2** Vidrio para la edificación. Unidades de vidrio aislante. Parte 2: Método de ensayo de larga duración y requisitos en materia de penetración de humedad.

**2.2 Otras Normas**

**EN 1279-4** Vidrio para la edificación. Unidades de vidrio aislante. Parte 4: Métodos de ensayo para las propiedades físicas de los sellados perimetrales.

**EN 1279-6** Vidrio para la edificación. Unidades de vidrio aislante. Parte 6: Control de producción en fábrica y ensayos periódicos.

**EN 12758** Vidrio para la construcción. Acristalamiento y aislamiento al ruido aéreo. Definiciones y determinación de las propiedades.

**3 DEFINICIONES Y SIMBOLOS**

**3.1 DEFINICIONES**

Para los propósitos de esta norma técnica se aplican las definiciones de la NTF 29:3-015/1, así como las siguientes definiciones:

**3.1.1 unidad de vidrio aislante llena de gas**

Aquella en la que la cámara contiene gas(es) además de aire, normalmente para mejorar el aislamiento térmico y/o la atenuación acústica.

**3.1.2 concentración de gas  $c_i$ :**

Porcentaje por volumen de gas en la cámara

- $c_i$ : concentración de gas  $i$ ;
- $c_{i,0}$ : valor nominal para un sistema de unidades de vidrio aislante y gas  $i$  que es la base para ensayar la atenuación acústica y/o calcular o ensayar el aislamiento térmico para fijar los respectivos  $R_w$  y el valor  $U$ ;
- $c_{i,f}$ : concentración final estimada en porcentaje de gas  $i$ . Véase el anexo A.

**NOTA 1** Para el uso de  $c_{i,0}$ , véase también la Norma Europea EN 1279-6.

**3.1.3 tasa de fuga de gas  $L_i$ :**

Proporción expresada como un porcentaje por volumen de gas  $i$  fugándose de la unidad llena de gas calculada por año por la siguiente fórmula:

$$L_i = 87,6 \cdot 10^6 \frac{m_i}{c_i \cdot V_{int} \cdot \rho_{o,i}} \cdot \frac{T}{T_o} \cdot \frac{P_o}{P} \text{ en } \frac{\%}{\text{año}} \quad (1)$$

Donde el significado de los símbolos se da en la tabla 1.

**Tabla 1**  
**Significado de los símbolos y unidades utilizados en la ecuación (1)**

Símbolo	Descripción	Unidades	
		Sistema SI	Para uso práctico en la ecuación (1)
$c_i$	concentración de gas determinada de acuerdo con el apartado 5.4.4	porcentaje por volumen	

$m_i$	masa de gas que se ha fugado de la unidad llena de gas en un tiempo dado y determinada de acuerdo con el apartado 5.4.3	kg/h	$\mu\text{g/h}$
$\rho_{o,i}$	densidad de gas $i$ a la temperatura $T_o$ y presión $P_o$	kg/m <sup>3</sup>	$\mu\text{g/mm}^3$
$P$	presión atmosférica absoluta en la que la unidad fue sellada	Pa	la misma unidad que en $P_o$
$P_o$	presión atmosférica en la que fue determinada $\rho_o$	Pa	Por ejemplo, hPa
$T$	temperatura a la que la unidad fue sellada	K	K
$T_o$	temperatura a la que fue determinada $\rho_o$	K	K
$V_{int}$	volumen interno de la probeta de acuerdo con el apartado 5.4.1	m <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>
$a$	un año		
NOTA- $\rho_{o,i}$ se da frecuentemente a $T_o = 273 \text{ K}$ ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y $P_o = 1014 \text{ hPa}$ .			

### 3.2 $U_p$ : Valor $U$ (véase la NTF 3957) para publicación:

el valor de transmitancia térmica a publicar, determinado normalmente con la concentración de gas  $c_{i,0}$ . Véase también el anexo A.

### 3.3 $R_{w,p}$ ( $C/C_{tr}$ ); el valor $R_{w,p}$ ( $C/C_{tr}$ ) (véase el proyecto de Norma EN 12758) para publicación:

El índice medido de atenuación acústica a publicar, determinado normalmente con la concentración de gas  $c_{i,0}$ . Véase también anexo A

## 4 CONDICIONES DE ENSAYO

### 4.1 Tasa de fuga de gas

La tasa de fuga de gas,  $L_i$ , para gases con concentración mayor que 15%, y también para aire, medida como se describe en el capítulo 5 debe ser:

$$L_i < 1,00 \text{ en } \frac{\%}{\text{año}} \quad (2)$$

NOTA – Para la mayor parte de las unidades de vidrio aislante, los valores medidos  $L_i$  son mucho más altos que los actuales valores  $L_i$  tras 10 años de envejecimiento natural. Por esta razón el valor límite no debería ser utilizado para el cálculo de la concentración de gas durante la vida útil de la unidad. Véase el anexo B.

En el caso de sellantes basados en polisulfuros, poliuretanos, siliconas o poliisobutileno, la determinación de la tasa de fuga de gas de argón (Ar) puede reemplazar la medición de la tasa de fuga de gas para sulfurohexafluoridos ( $\text{SF}_6$ ) y aire. (Véase Anexo A)

### 4.2 Tolerancias sobre concentración de gas

Para tolerancias sobre concentración de gas, referirse a la [Norma Europea EN 1279-6](#).

### 4.3 Punto de rocío e índice de penetración de humedad

Para ensayos y requisitos sobre el punto de rocío y la penetración de humedad, referirse a la NTF29:3-015/2

### 4.4 Resistencia del sellado de bordes

Para las condiciones de resistencia del sellado de bordes, referirse a la [Norma Europea 1279-4](#)

### 4.5 Condiciones adicionales para gases distintos del argón, sulfurohexafluoridos y aire

Para estos requisitos, referirse al anexo A

## **5 ENSAYO**

### **5.1 Principio del ensayo**

En el ensayo, la tasa de fuga de gas se mide a 20 °C después de haber sometido la probeta a un ambiente tal como se especifica en la NTF 29:3-015/2, con las siguientes modificaciones:

- el número de ciclos se reduce a 28, y
- el tiempo a una temperatura constante de 58 °C se reduce a 4 semanas.

Para medir la tasa de fuga de gas, la unidad de vidrio aislante se coloca en un recinto estanco y, tras un tiempo dado, se mide la cantidad de gas que ha escapado de la unidad. Al término de esta medición se analiza la concentración de gas en la unidad y se calcula la tasa de fuga de gas.

### **5.2 Equipamiento**

#### **5.2.1 Equipamiento para el ensayo climático**

Aparato de ensayo: para el ensayo climático como se especifica en la Norma Europea EN 1279-2.

#### **5.2.2 Cámara para la medición de la tasa de fuga de gas**

Una cámara a temperatura controlada se debe usar para la medición de la tasa de fuga de gas, que debe estar herméticamente sellada, y capaz de recibir la unidad de vidrio a ensayar, induciendo la menor tensión posible, de forma que el volumen residual de la cámara sea lo más pequeño posible mientras las zonas de sellado de bordes de la unidad estén expuestas a la circulación del gas de purgado.

La cantidad de aire ambiental que penetra en la cámara desde el exterior o la cantidad de cada constituyente que se escapa de la cámara, debe ser medida en un ensayo en blanco utilizando un panel de vidrio monolítico de dimensiones aproximadamente iguales a las de las probetas.

Se debe considerar que la cámara tiene un adecuado grado de hermeticidad si la cantidad de gas determinada durante la medición no excede del 10% de la masa de gas que escapa de la probeta.

La cámara debe tener dispositivos para introducir gases específicos y para tomar muestras de gas.

Para las unidades de vidrio de múltiples cámaras, con al menos un panel externo fabricado con material orgánico, se debe asegurar que la difusión del gas a través de este(os) panel(es) se toma en cuenta en la medición.

#### **5.2.3 Equipamiento para el análisis de gas**

El equipamiento para el análisis de gas que se debe utilizar es capaz de:

- a) análisis de los constituyentes gaseosos esenciales para la función de aislamiento de la unidad de vidrio aislante, para concentraciones del  $50 \cdot 10^{-6}$ ;
- b) determinación del porcentaje en volumen de gas hasta 100% dentro del rango  $\pm 3\%$ .

Estas tareas no se deben llevar a cabo necesariamente utilizando el mismo equipo.

#### **5.2.4 Dispositivo para la toma de muestras de gas**

Se debe utilizar un dispositivo para tomar muestras de gas de la unidad de vidrio, asegurando que el resultado no sea falseado por entrada de aire, fenómenos de segregación o similares

### **5.3 Probetas**

#### **5.3.1 Preparación de las Probetas**

Las probetas deben consistir en dos paneles de 4 mm de espesor de vidrio flotado incoloro de acuerdo con las NTF 3936-1 y 3936-2. La longitud debe ser de  $(502 \pm 2)$  mm y la anchura  $(352 \pm 2)$  mm. La separación entre paneles debe ser lo más cercana posible a 12 mm. Las probetas deben ser representativas de la descripción del sistema como se define en la Norma 29:3-015/1

Si unidades vidrio/plástico se producen de tal forma que la fuga de gas fuera de la unidad a través del plástico es posible, desviándose del anterior apartado, el vidrio debe ser sustituido por plástico.

Salvo acuerdo en contrario, el diseño de la unidad de vidrio aislante, incluyendo el tipo y la cantidad de desecante y de gas que debe ser conforme con la práctica en producción normal (excepto para la medida de la proporción de pérdida de aire, donde se permite el 100% de aire). Los paneles de la probeta deben ser planos cuando se sella la unidad. Durante el sellado, la temperatura  $T$ , en K, y la presión absoluta  $P$ , en hPa, deben ser medidas respectivamente lo más cerca posible a 1 K y a 3 hPa.

Las probetas deben ser fabricadas de tal forma que la concentración de gas sea igual a  $c_i = c_{i,o}$  (+10% -5% absolutos) para cada gas cuando se utilizan mezclas de gas.

En la fabricación de probetas, es obligatoria la aplicación de la Norma Europea EN 1279-6.

### 5.3.2 Número de Probetas

Se deben preparar al menos seis probetas, de las que al menos dos deben ser ensayadas como se describe en el apartado 5.4 tras el ensayo climático.

**NOTA 3** Se recomienda disponer de probetas suplementarias para ensayar el relleno de gas antes del ensayo climático. La fuga de gas puede ser medida sobre otras probetas antes del ensayo climático, como pronto cuatro semanas después de que hayan sido llenadas de gas y selladas. Esto conseguirá el objetivo de mantener los costes del ensayo y la escala de tiempo en un máximo aceptable.

### 5.3.3 Fabricación y aspecto

Las probetas deben ser examinadas visualmente según los puntos y/o defectos siguientes:

- a) fabricación de la unidad de vidrio aislante;
- b) bordes dañados;
- c) fisuras en los bordes;
- d) fracturas;
- e) manchas en la cámara;
- f) congruencia de los paneles;
- g) otros defectos visibles

## 5.4 Procedimiento

### 5.4.1 Determinación del volumen interno de la probeta

Se miden las distancias entre los espaciadores opuestos,  $s_1$  y  $s_2$ , lo más cercano a 1 mm por medio de un calibrador graduado en milímetros. Se determina la distancia entre las superficies del panel interior,  $s_3$ , midiendo la distancia entre las superficies del panel interior a media distancia en los cuatro bordes de la probeta, lo más cercano a 0,1 mm y se calcula la media. El volumen interno,  $V_{int}$  en  $\text{mm}^3$ , se obtiene como el producto de  $s_1$ ,  $s_2$  y  $s_3$

### 5.4.2 Ensayo climático

El ensayo climático como se especifica en el apartado 5.1 debe ser llevado a cabo sobre cuatro muestras de ensayo, no antes de una semana tras la fabricación de las probetas. Al final del ensayo climático las probetas se almacenan para estabilización, con libre circulación de aire alrededor de los bordes a  $(23 \pm 2)$  °C y a una humedad relativa del  $(50 \pm 5)\%$ , por al menos cuatro semanas y no más de siete semanas, antes de proceder a la medición de la tasa de fuga de gas, como se describe en el apartado 5.4.3.

**NOTA 4** Si las probetas están almacenadas verticalmente, la libre circulación de aire alrededor de los bordes puede llevarse a cabo utilizando dos bloques de al menos 20 mm de alto, cada uno cubriendo no más de 30 mm de la longitud del borde.

#### **5.4.3 Medición de la fuga de gas**

Se mide la fuga de gas sobre al menos dos probetas a  $(20 \pm 1)$  °C tras el ensayo climático, dejando la probeta en la cámara todo el tiempo que sea necesario para que la masa de gas que se escapa de la unidad de vidrio aislante sea determinada cuantitativamente, en  $\mu\text{g/h}$ , utilizando el equipo de análisis de gas descrito en el apartado 5.2.3.

La medición de pérdida de gas debe ser repetida hasta la obtención de valores suficientemente constantes. Se alcanza suficiente constancia cuando la desviación normal sobre las cuatro últimas mediciones, que en el caso de gases naturales tales como los componentes de aire se hacen con al menos un día entre ellos, es menor que  $0,25 \mu\text{g/h}$ , y con al menos una medición más alta que la que le precede inmediatamente (véase el anexo C).

#### **5.4.4 Análisis de gas**

Se determina el porcentaje por volumen de los constituyentes gaseosos esenciales para la función de aislamiento de la unidad de vidrio aislante, usando el equipo de análisis de gas descrito en el apartado 5.2.3.

Se toma para este análisis una muestra de gas de la cámara de la unidad de vidrio aislante tras la última medición de la tasa de fuga de gas.

#### **5.5 Cálculo**

Se calcula la tasa de fuga de gas,  $L_i$ , de acuerdo con el apartado 3.3.

### **6 PRECISION DEL MÉTODO DE ENSAYO**

En un ensayo interlaboratorios, interviniendo cuatro laboratorios, de cuatro a ocho unidades de vidrio aislante de una producción uniforme fueron expuestas a un ensayo climático de acuerdo con el apartado 5.1. Más tarde la tasa de fuga de gas fue determinada de acuerdo con el apartado 5.4.3 y el anexo C. La desviación normalizada de todos los valores individuales fue del 20%.

### **7 INFORME DE ENSAYO**

Se debe elaborar un informe contentivo de los siguientes datos

**7.1** Fecha de ensayo

**7.2** Identificación de la muestra

**7.3** Resultados Obtenidos

**7.4** Referencia a esta norma

**7.5** Nombre del Técnico Responsable de esta norma

### **BIBLIOGRAFÍA**

UNE-EN 1279-3:2006 Vidrio para la edificación. Unidades de vidrio aislante. Parte 3: Método de ensayo a largo plazo y requisitos en materia de fuga de gas y tolerancia de concentración de gas

**ANEXO A**  
**(Normativo)**  
**CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE OTROS GASES**

**A.1 Durabilidad del gas e interacción con los componentes de la unidad de vidrio aislante**

Si no es evidente que la durabilidad del gas es adecuada para las aplicaciones propuestas, debe ser asegurada mediante investigación. Lo mismo debe hacerse para las interacciones con los componentes del vidrio aislante.

**A.2 Efecto sobre la atenuación acústica y el aislamiento térmico**

Para la mayor parte de los tipos de unidades de vidrio aislante, debe ser determinada la transmitancia térmica, valor  $U$  y/o el índice medio de reducción acústica,  $R_w (C/C_{tr})$ , dependiendo de la concentración de gas.

De acuerdo con el objeto de esta norma, la transmitancia térmica y la atenuación acústica no deben cambiar de forma significativa a lo largo de la vida de la unidad de vidrio aislante. Esto significa que el incremento del valor  $U$  debe ser como máximo  $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  y el deterioro del  $R_w (C/C_{tr})$  debe ser como máximo 1 dB.

Estos requisitos se cumplen bajo una de las siguientes dos condiciones:

- 1) Cuando el gas de relleno mejora el valor  $U$  por un máximo de  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  y cuando el gas de relleno mejora el índice  $R_w (C/C_{tr})$  por un máximo de 5 dB.

El valor  $U$  y el valor  $R_w (C/C_{tr})$  para su publicación son:

$$U_p = U(c_{i,0}) \text{ y } R_w (C/C_{tr}) = R_w (C/C_{tr})c_{i,0}.$$

- 2) Cuando el gas de relleno mejora el valor  $U$  por más de  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  o cuando el gas de relleno mejora el índice  $R_w (C/C_{tr})$  por más de 5 dB, en tal caso debe controlarse que:

a)  $U(c_{i,f}) - U(c_{i,0}) \leq 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , y/o (A.1)

$R_w (C/C_{tr}) (c_{i,0}) - R_w (C/C_{tr}) (c_{i,f}) \leq 1 \text{ dB}$  (A.2)

El valor  $U$  y el valor  $R_w (C/C_{tr})$  para su publicación son:

$$U_p = U(c_{i,0}) \text{ y } R_w (C/C_{tr}) = R_w (C/C_{tr}) (c_{i,0}).$$

Y cuando a) no se cumple, debe ser llevado a cabo el siguiente cálculo:

b)  $U_p = U(c_{i,f}) - 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , y/o (A.3)

$R_{w,p}(C/C_{tr}) = R_w(C/C_{tr})(c_{i,f}) + 1 \text{ dB}$  (A.4)

con  $c_{i,f} = (c_{i,0} - 5) (1 - 0,22 \cdot L_{i,m})$  (A.5)

donde

$L_{i,m}$  es la máxima tasa de fuga de gas como porcentaje medido de acuerdo con esta norma, más 5% relativo.

En caso de mezclas de gas, sólo se deben tomar en consideración el(los) gas(es) con la influencia máxima sobre el valor  $U$  y/o el valor  $R_w (C/C_{tr})$

**A.3 Ejemplo de evaluación con gas kriptón de relleno**

Supuestos:

- unidad de vidrio aislante con una cámara de 8 mm de anchura, dos paneles de 4 mm, una capa con una emisividad

de:  $\varepsilon = 0,1$

- concentración de kriptón:  $c_{Kr,0} = 90 \%$

- tasa media de fuga de kriptón  $L_{Kr,m} = 0,5 \frac{\%}{año} (1,05 \cdot L_{Kr})$

- tasa demostrada de fuga de argón  $L_{Ar} < 1,0 \frac{\%}{año}$

Respuesta al apartado 4.1: las tasas de fuga de gas cumplen los requisitos.

Respuestas a los apartados 4.2, 4.3 y 4.4: en este ejemplo, se asume que serán cumplidos los requisitos.

Respuesta al capítulo A.1: el kriptón reacciona químicamente de forma similar al argón. No son necesarias investigaciones especiales.

Respuesta al capítulo A.2: el gas de relleno kriptón mejora el valor  $U$  en más de  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , no obstante, el valor  $R_w(C/C_{tr})$  mejora en menos de 5 dB.

De acuerdo con la condición 1) del capítulo A.2, el índice medido de atenuación acústica para publicación  $R_w(C/C_{tr})$  es igual a  $R_w(C/C_{tr})(c_{Kr,0})$ .

Para el valor  $U$ , se controla la condición 2) a) del capítulo A.2:

- concentración de gas:  $c_{Kr,f} = (90 - 5) (1 - 0,22 \times 0,5) = 75,65$

- incremento del valor  $U$  (cálculos de acuerdo con la NTF 3957):

$$U(c_{Kr,f}) - U(c_{Kr,0}) = 1,54 - 1,38 = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Este incremento es mayor que  $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , de tal forma que se cumpla la condición 2) b) del capítulo A.2.

- el valor  $U$  para publicación debe ser:

$$U_p = 1,54 - 0,1 = 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \text{ y redondeado a un decimal } U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

**ANEXO B**  
(Informativo)

**RELACIÓN ENTRE EL ENVEJECIMIENTO NATURAL Y ARTIFICIAL EN RELACIÓN CON EL AISLAMIENTO  
TÉRMICO Y LA ATENUACIÓN ACÚSTICA**

La tasa de fuga de gas de unidades de vidrio aislante que fueron instaladas en ventanas de edificios durante 10 años fue determinada. Los valores medidos fueron inferiores por un factor de 10 comparados con los valores medidos en unidades con la misma construcción que fueron sometidos a envejecimiento artificial de acuerdo con la Norma Alemana DIN 52293 (véase la bibliografía [1]). Una comparación de este envejecimiento artificial con el descrito en el apartado 5.4 mostró diferencias no significativas en cuanto a la tasa de fuga de gas.

Con esta experiencia, puede ser asumido que un tipo de unidad de vidrio aislante con una tasa de fuga de gas  $L_i$   $< 1,0 \frac{\%}{\text{año}}$  tras envejecimiento artificial conforme a esta norma europea, pierde menos de un 5% relativo de gas durante 25 años instalado en un edificio. En esta estimación, para estar del lado de la seguridad, se asumió que en los edificios la tasa de fuga de gas se duplicaba cada 10 años. En una unidad con un valor nominal tipo para la concentración de argón de  $c_{Ar,0} = 90\%$ , y con una concentración real posible del 85%, la concentración de gas tras 25 años es mayor del 80%. Asumiendo que la mejora del valor  $U$  con un 100% de relleno de gas argón es  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , esto implica un deterioro de

$$\Delta U < 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

a partir del valor calculado con  $c_{Ar,0} = 90\%$ . Para la evaluación final, el valor  $U$  se redondea hasta  $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Pueden tomarse consideraciones similares para la atenuación acústica. Puede esperarse que las unidades de vidrio aislante que cumplimentan los requisitos de esta norma no muestren cambios apreciables.

**ANEXO C**  
**(Informativo)**  
**DETERMINACIÓN DE LA TASA DE FUGA DE GAS POR CROMATOGRAFÍA DE GAS**

### **C.1 Principio del método**

El procedimiento de ensayo descrito a continuación es un método para medir la estanquidad del gas de acuerdo con el capítulo 5. Pueden adoptarse otros métodos.

Si se sigue este método, debe hacerse estrictamente para conseguir un resultado correcto.

El procedimiento de ensayo sólo es aplicable a unidades de vidrio aislante llenas de gas fabricadas con paneles de materiales inorgánicos. Se determinará la fuga de gas,  $m_i$ , en masa de gas por hora, para calcular la proporción de fuga de gas  $L_i$ , expresada como un porcentaje por volumen por año ( $\%/año$ ), de acuerdo con el capítulo 5.

Las probetas o sus bordes se encierran en una cámara cuyo volumen interno es justo un poco mayor que el volumen exterior de la unidad de vidrio aislante. La cantidad de gas que se escapa de la unidad de vidrio aislante en un tiempo dado es transportada por una corriente de helio hasta un cromatógrafo en fase gaseosa con una conductividad térmica o con un detector de captura de electrones. La masa de la fuga de gas se determina entonces.

### **C.2 Equipamiento**

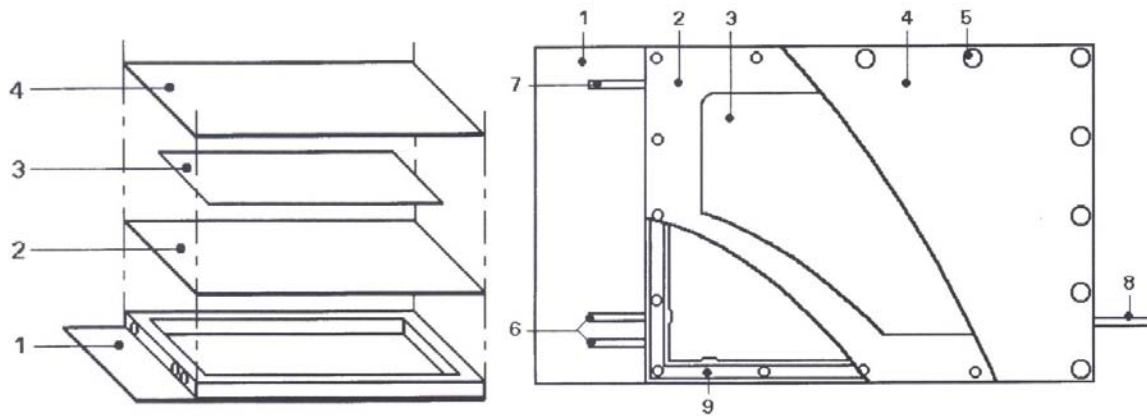
#### **C.2.1 Cámara completa**

La cámara de la figura C.1 incluye:

- 1) una parte inferior metálica;
- 2) una hoja de cobre;
- 3) una alfombrilla de espuma plástica, de 3 mm de espesor, cuyas dimensiones se adaptan a la probeta;
- 4) una cubierta metálica;
- 5) elementos para la estanquidad.

La parte inferior tiene una parte plana inferior de dimensiones aproximadas de 360 mm de anchura y 510 mm de longitud.

Las dimensiones de la cámara y de la probeta deben estar de acuerdo, de forma que tras la instalación de ésta, el volumen residual sea el menor posible. La altura interior de la parte inferior es de 22 mm. Las paredes pueden tener resaltes para fijar la probeta, pero no deben interrumpir el flujo de gas en los bordes de la probeta. Las paredes tendrán dos orificios para la tubería de suministro y la extracción del gas de purgado. La parte inferior puede tener una ranura circular en la que pueda circular una corriente protectora de gas.



Leyenda

- 1 Parte inferior
- 2 Lámina de metal
- 3 Alfombrilla

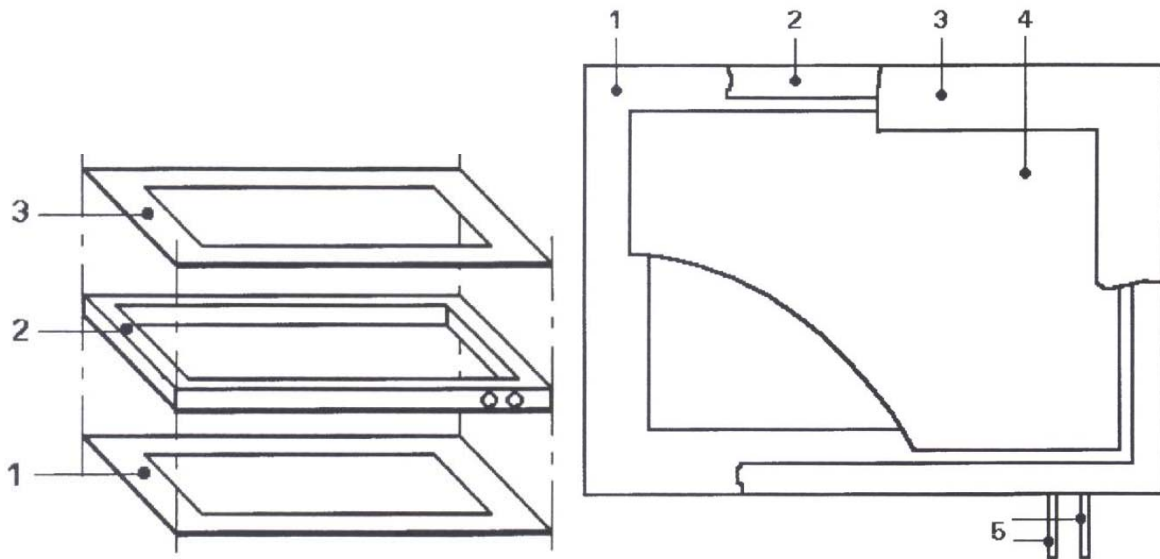
- 4 Cubierta
- 5 Tornillos
- 6 Entradas/salidas gas de purgado
- 7 Entrada gas protector

- 8 Salida gas protector
- 9 Ranura circular

**Fig. C.1 – Cámara completa**

**C.2.2 Cámara con marco**

La cámara con marco (véase la figura C.2) tiene un marco metálico y dos máscaras hechas con hojas metálicas autoadhesivas u hojas de metal recubiertas con un sellante. El marco tiene dos orificios uno para la tubería de suministro y el otro para la extracción del gas de purgado. Las dimensiones de la cámara con marco y de la probeta deben estar de acuerdo, de forma que tras la instalación de ésta, el volumen residual sea el menor posible.



Leyenda

- 1 Máscara inferior
- 2 Marco

- 3 Máscara superior
- 4 Probeta
- 5 Entrada y salida del gas purgado

**Fig. C.2 – Cámara con marco**

**C.2.3 Refrigerador**

El refrigerador está formado por un tubo metálico, lleno de absorbente y doblado, bien en forma de U o en espiral y dos cámaras intercambiables, una con nitrógeno líquido y otra con agua a  $(95 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . El absorbente se elige de tal forma que el gas a medir sea absorbido a la temperatura del nitrógeno líquido y liberado abruptamente a la temperatura del agua caliente.

**C.2.4 Cromatógrafo de gas**

Es necesario un cromatógrafo de gas (GC) comercial, con un detector de conductividad térmica o con captador de electrones, así como un integrador con grabadora. Un bucle de calibración de aproximadamente 1 ml se conecta con el cromatógrafo de gas. El gas transportador es helio.

**C.2.5 Piezas de conexión**

Las tuberías, válvulas y adaptadores, como se ilustra en la figura C.3, deben ser tan estancas que la proporción de pérdida durante el ensayo con helio no sea más de  $0,000 \text{ l.Pa.s}^{-1}$ .

**C.2.6 Disolventes**

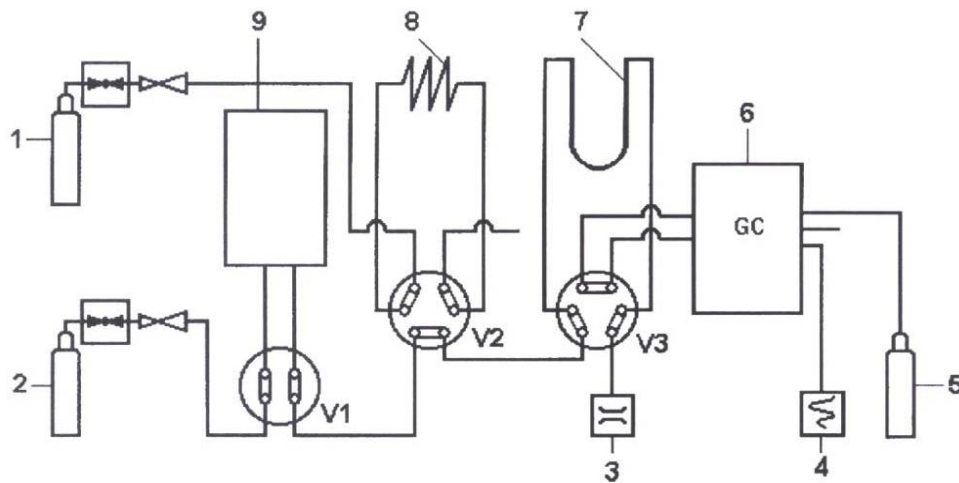
Para la limpieza de las superficies de la probeta se recomienda utilizar etanol e isopropanol.

**C.2.7 Gas de purgado y de transporte**

Helio con una pureza de al menos 99,999 6% partes por volumen.

**C.2.8 Gas de calibración**

Helio con un 1% en volumen de los gases relevantes, por ejemplo se recomiendan nitrógeno, oxígeno, argón y hexafluoruro de azufre, se recomienda si el circuito de calibración tiene un volumen de aproximadamente 1 ml.



- |                      |                        |  |
|----------------------|------------------------|--|
| <u>Leyenda</u>       | 4 Integrador           | 8 Bucle de calibración   |
| 1 Gas de calibración | 5 Gas transportador    | 9 Cámara   |
| 2 Gas de purgado     | 6 Cromatógrafo de gas  | V1, V2 y V3: válvulas. Para conocer las posiciones de las válvulas, véase la tabla C.1 |
| 3 Medidor de flujo   | 7 Trampa refrigeradora |  |

**Fig. C.3 Plano de tuberías de gas**

**Tabla C.1 Posiciones de las válvulas**

Posición de la válvula	Válvulas			Función
	V1	V2	V3	
a)				purgado libre
b)				relleno del bucle de calibración con gas de calibración
c)				concentración del gas de calibración por enfriamiento
d)				medición
e)				concentración de contaminantes por enfriamiento
f)				concentración de la muestra de gas por reposo
g)				concentración de la muestra de gas por enfriamiento

### C.3 Preparación de las probetas

Probetas de acuerdo con el apartado 5.3. Se eliminan los residuos de sellante, las etiquetas y otras contaminaciones que pueden influir sobre los intercambios gaseosos. Las superficies de la probeta se limpian con el solvente evitando todo contacto con el sellante.

### C.4 Procedimiento

#### C.4.1 Conexión de los aparatos

Los aparatos deben estar conectados como se indica en el plano de tuberías de gas (véase la figura C.3).

#### C.4.2 Instalación de la probeta

La probeta debe ser colocada de forma que la periferia sea totalmente purgada con la excepción de la interrupción entre los dos orificios de purgado. La corriente de gas se interrumpe entre los dos orificios de purgado por medio de un sellante adecuado, por ejemplo, butilo.

- a) Cámara completa: se engrasan las superficies de contacto de la parte inferior y la hoja metálica con una grasa de alto vacío. Se coloca una hoja metálica sin defectos entre la probeta y la cara del sellado. Se coloca la alfombrilla sobre la hoja metálica, en el centro, para que la hoja metálica sea aplanada por la cubierta durante el atornillamiento de la cámara completa, y el volumen residual será decrecido.

- b) Cámara con marco: cubrir el espacio entre la probeta y el marco con máscaras. El recubrimiento debe ser de al menos 15 mm. Presionar conjuntamente la máscara superior e inferior y el marco.

### C.4.3 Temperatura

Se mantiene la temperatura para la medición de la tasa de fuga de gas a  $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ , bien controlando la temperatura de la habitación o por almacenamiento de la cámara con la probeta en un baño de agua. Se almacena la cámara con marco en un baño de agua y cubrirla totalmente.

### C.4.4 Calibración

Se controla diariamente el tiempo de retención, el poder de separación y la sensibilidad del cromatógrafo de gas, para obtener resultados fiables cuantitativa y cualitativamente. Se dirige el gas de calibración al sistema de análisis con la ayuda de un bucle de calibración de un volumen definido, por ejemplo, 1 ml. La evaluación de las señales en el detector por el integrador requiere un poder suficiente de resolución de los picos.

Se ajustan los parámetros los cromatógrafo de gas de acuerdo con esta operación. El volumen de gas, por ejemplo, nitrógeno, oxígeno, argón y hexafluoruro de azufre en el gas de calibración es del mismo orden de magnitud que el volumen de gas a detectar, para que los parámetros puedan ser controlados durante la calibración.

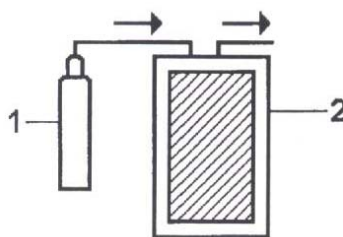
### C.4.5 Medición de la fuga de gas

La sensibilidad de un detector de conductividad térmica no es normalmente suficiente para analizar la muestra de gas cuantitativamente de una manera directa, de forma que deberían cumplimentarse las siguientes etapas para concentración:

- concentración en la cámara observando un tiempo de parada: interrupción del purgado y cierre de la cámara;
- concentración en el refrigerador por enfriamiento: absorción de la muestra de gas o el gas de purgado o contaminantes del gas de purgado con absorbentes adecuados a la temperatura del nitrógeno líquido.

La medición incluye seis etapas:

**Etapas 1:** Se purga (véase la figura C.4) el volumen entre la probeta y la cámara con gas de purgado.



#### Leyenda

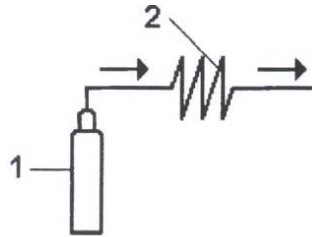
- 1 Gas de purgado (nº 2 en la figura C.3)  
2 Cámara con la muestra de ensayo (nº 9 en la figura C.3)

**Fig. C.4 – Purgado. Válvula en posición a) (véase la figura C.3 y la tabla C.1)**

**Etapas 2:** Se calibra el sistema detector con gas de calibración:

- se toma una cantidad definida, por ejemplo, 1 ml, de gas con la ayuda del bucle de calibración (véase la figura C.5);
- se vuelven las válvulas a posición (c) de la tabla C.1;

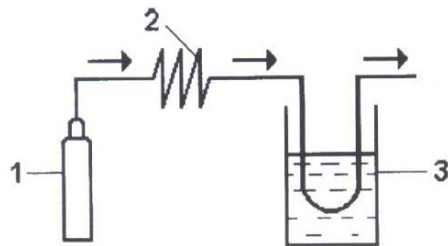
- se concentra el gas de purgado por enfriamiento (véase la figura C.6);
- se vuelven las válvulas a posición (d) de la tabla C.1;
- se arranca, se separa y se analiza el gas de calibración con la ayuda del gas transporte (véase la figura C.7);
- se controla el poder de resolución y la forma de los picos y se determina el factor de calibración para cada gas.



Leyenda

- 1 Gas de calibración (nº 1 en la figura C.3)
- 2 Bucle de calibración (nº 8 en la figura C.3)

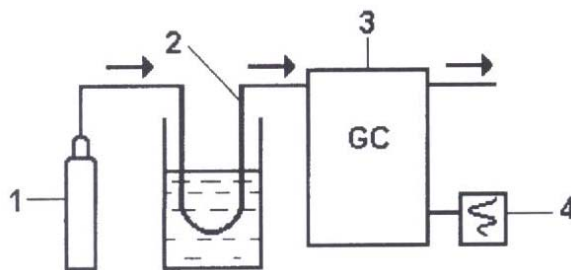
**Fig. C.5 – Llenado del bucle de calibración con gas de calibración. Válvula en posición b).** (véase la figura C.3 y tabla C.1)



Leyenda

- 1 Gas de purgado (nº 2 en la figura C.3)
- 2 Bucle de calibración (nº 8 en la figura C.3)
- 3 Planta de enfriamiento con nitrógeno líquido (nº 7 en la figura C.3)

**Fig. C.6 – Concentración del gas de calibración por enfriamiento Válvula en posición c).** (véase la figura C.3 y tabla C.1)

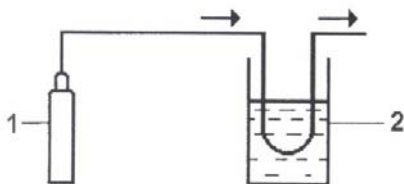


Leyenda

- 1 Gas de transporte (nº 5 en la figura C.3)
- 2 Planta de enfriamiento con agua a  $(95 \pm 5) ^\circ\text{C}$  (nº 7 en la figura C.3)
- 3 Cromatógrafo de gas (nº 6 en la figura C.3)
- 4 Integrador (nº 4 en la figura C.3)

**Fig. C.7 – Expulsión del gas absorbido, separación y detección Válvula en posición d).** (véase la figura C.3 y tabla C.1)

**Etapa 3:** Se inspecciona el gas de purgado y el sistema de tuberías por enfriamiento, concentración, expulsión, separación y detección de los contaminantes en el gas de purgado (véase la figura C.8). La duración del flujo de gas durante esta inspección es similar a la de medición de fuga de gas.

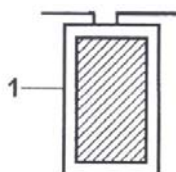


Leyenda

- 1 Gas de purgado (nº 2 en la figura C.3)
- 2 Planta de enfriamiento con nitrógeno líquido (nº 7 en la figura C.3)

**Fig. C.8 – Concentración de contaminantes por enfriamiento Válvula en posición e).** (véase la figura C.3 y la tabla C.1)

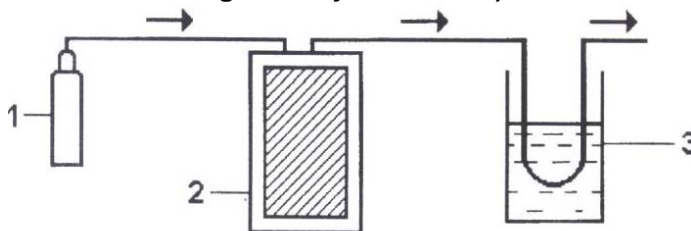
**Etapa 4:** Se concentra la muestra de gas observando un tiempo de parada (véase la figura C.9), se purga con el gas de purgado y se concentra por enfriamiento (véase la figura C.10), después se purga de nuevo (véase la figura C.4).



Leyenda

- 1 Cámara con probeta (nº 9 en la figura C.3)

**Fig. C.9 – Concentración de la muestra de gas por tiempo de parada Válvula en posición f).** (véase la figura C.3 y la tabla C.1)



Leyenda

- 1 Gas de purgado (nº 2 en la figura C.3)
- 2 Cámara con probeta (nº 9 en la figura C.3)
- 3 Planta de refrigeración con nitrógeno líquido (nº 7 en la figura C.3)

**Fig. C.10 – Concentración de la muestra de gas por enfriamiento Válvula en posición g).** (véase la figura C.3 y la tabla C.1)

**Etapa 5:** Se expulsa la muestra de gas por calentamiento del refrigerador, separación y detección (véase la figura C.7), evaluación cuantitativa de la tasa de fuga de gas siguiendo las etapas 2 y 3.

**Etapa 6:** Se repiten las etapas 4 y 5, hasta que se consiga una constancia suficiente de los valores. Además, se repiten las etapas 2 y 3 diariamente.

Esta constancia se alcanza cuando la desviación normal sobre las cuatro últimas mediciones, (que en el caso de gases naturales tales como los componentes de aire están realizadas con al menos un día entre los ensayos), es menor que 0,25 µg/h, y siendo al menos una de las medidas superior a la que le precede inmediatamente (véase la figura C.11).

Condiciones de medición de la tasa de la fuga de gas:

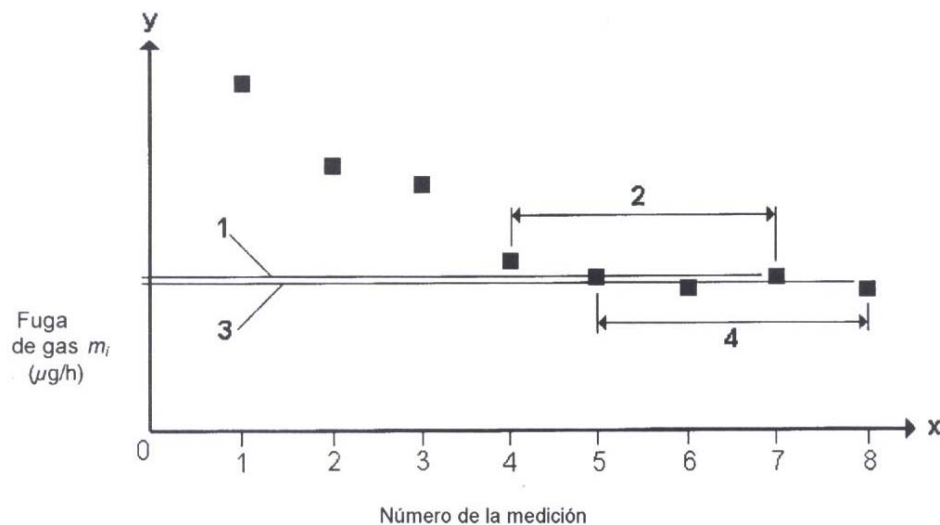
- tiempo de parada: hasta 20 h;
- tiempo de enfriamiento: 30 min;
- tiempo de purgado: 5 h hasta 3 días;
- flujo de gas de purgado: alrededor de 50 ml/min para purgado; 100 ml/min para concentración por enfriamiento.

#### C.4.6 Ensayo en blanco

Se controla periódicamente la estanquidad del sistema por un ensayo en blanco. Se instala en la cámara una hoja de vidrio de aproximadamente las mismas dimensiones que la probeta y se mide como se describe en el apartado C.4.5.

#### C.4.7 Resultado

Se evalúa la tasa de fuga de gas  $m_i$ , en  $\mu\text{g/h}$ , a partir del volumen medido, en  $\mu\text{l/h}$ , en relación a la temperatura y la presión.



#### Leyenda

- 1 Valor medio de las mediciones 4 a 7; desviación normal menor que  $0,5 \mu\text{g/h}$
- 2 Medición 4 a 7
- 3 Valor medio de las mediciones 5 a 8; desviación normal menor que  $0,5 \mu\text{g/h}$
- 4 Medición 5 a 8

**Fig. C.11 – Tanto las mediciones 4 a 7 y las mediciones 5 a 8 son aceptables**

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] DIN 52293 – Prüfung der Gasdichtigkeit von gasgefülltem Mehrscheiben-Isolierglas.

[2] prEN 13022 – Vidrio para la construcción. Acristalamiento estructural.

[3] ETAG 002 – Guía para las Aprobaciones Técnicas Europeas para sistemas de acristalamiento estructural.