

**NORMA TÉCNICA FONDONORMA
VIDRIO PARA LA EDIFICACIÓN. UNIDADES DE VIDRIO
AISLANTE. PARTE 2: MÉTODO DE ENSAYO A LARGO PLAZO Y
REQUISITOS EN MATERIA DE PENETRACIÓN DE HUMEDAD.**

**ANPROYECTO 1
NTF 29:3-015/2**

1 OBJETO

Esta norma técnica especifica los requisitos en materia de penetración de humedad y el método de ensayo a largo plazo para unidades de vidrio aislante y asegura por medio de una adecuada evaluación de conformidad con esta norma que en el tiempo:

- 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 marcado.

Para productos vítreos con conductores eléctricos o conexiones para, por ejemplo, alarmas o propósitos de calefacción, esta norma cubre solamente los conductores sujetos a una diferencia de potencial respecto a tierra menor que 50 V a.c. o menor de 75 V d.c.

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 1 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.

NOTA 2 Las unidades de vidrio aislante que tienen sólo naturaleza artística no forman parte de esta norma.

Esta parte de la norma técnica, que es inseparable de las otras partes de la norma, cubre la penetración de humedad por ensayo 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 29:3-015/1 Vidrio para la edificación. Productos básicos de vidrio. Vidrio de silicato sodocálcico. Parte 3: Vidrio armado pulido

2.2 Otras Normas

EN 1279-3 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 de tolerancia de concentración de gas.

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

ISO 760 Agentes de superficie. Determinación de agua por el método de Karl Fisher. Procedimiento por disolución única.

3 DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

3.1 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma técnica se aplican las siguientes definiciones:

3.1.1 capacidad normalizada de absorción de humedad

Capacidad de un material desecante para absorber una cantidad de humedad en las condiciones límites del entorno.

3.1.2 índice de penetración de humedad

Cantidad de capacidad de secado consumida tras las condiciones normalizadas de envejecimiento.

3.2 Abreviaturas

r.h.: humedad relativa

3.3 Símbolos

- I Índice de penetración de humedad (puede ser expresado en decimal o en términos de porcentaje).
- I_{av} Valor medio de índices de penetración de humedad I , obtenido sobre cinco mediciones.
- m_o Masa de la cápsula vacía, limpia y seca.
- m_c Masa de la cápsula, del desecante, del agua absorbida por el aire con una humedad relativa de 32%.
- m_f Masa de la cápsula, del desecante, del agua inicialmente absorbida y del agua absorbida en las condiciones climáticas del entorno.
- m_i Masa de la cápsula, del desecante y del agua inicialmente absorbida.
- m_r Masa de la cápsula, del desecante y del agua absorbida en equilibrio con un nivel de referencia predefinido de humedad relativa del aire o masa de la cápsula y del desecante seco a alta temperatura.
- M_m Masa del desecante en mezclas con un producto no desecante.
- M_t Masa total del desecante cuando, por las necesidades del ensayo, en una mezcla con un producto no desecante, el producto no desecante es reemplazado por el mismo volumen de producto desecante.
- R Proporción entre las masas M_m y M_t del desecante.
- T_c Capacidad normalizada de absorción de humedad del desecante.
- $T_{c,av}$ Capacidad normalizada media de absorción de humedad T_c del desecante, obtenida por dos mediciones.
- T_f Contenido final de humedad del desecante.
- $T_{f,u}$ Contenido final no corregido de humedad del desecante.
- T_i Contenido inicial de humedad del desecante.

- $T_{i,av}$ Contenido inicial medio del desecante T_i , obtenido por cuatro mediciones.
- $T_{i,u}$ Contenido inicial no corregido de humedad del desecante.
- θ Temperatura de las probetas en el recinto de ensayo.
- θ_c Temperatura de la probeta central en el recinto de ensayo durante la fase de temperatura constante.
- θ_h Temperatura máxima de la probeta central en el recinto de ensayo durante la fase del ciclo de humedad y temperatura elevadas.
- θ_l Temperatura mínima de la probeta central en el recinto de ensayo durante la fase del ciclo de humedad y temperatura elevadas.
- θ_s Temperatura de la probeta central en el recinto de ensayo cuando el ciclo pasa de la temperatura máxima a la temperatura mínima y viceversa.

4 CONDICIONES DE ENSAYO

4.1 Índice de penetración de humedad

Las unidades de vidrio aislante deben asegurar sus funciones a lo largo de una duración de vida de servicio razonable desde el punto de vista económico. Por tanto, los siguientes valores han sido verificados en probetas que han sido sometidas al ensayo climático descrito en esta parte de la norma.

El índice medio de penetración de humedad I_{av} sobre las cinco probetas no debe exceder de 0,20.

Aunque la rotura de un vidrio no constituye un fallo, el índice medio de penetración de humedad I_{av} debe representar la media de cinco probetas, ni más ni menos. Las probetas rotas deben ser reemplazadas por probetas de reserva.

La unidad con el índice más elevado de penetración de humedad, no debe ser mayor que 0,25.

4.2 Resistencia del sellado de borde

Para los requisitos referentes a la resistencia del sellado de borde, véase la Norma Europea EN 1279-4.

4.3 Tasa de fuga de gas

Cuando la descripción del sistema incluye unidades de vidrio aislante llenas de gas, véase la Norma Europea EN 1279-3 para los ensayos y requisitos adicionales sobre la proporción de fuga de gas.

5 MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Principio

Conjuntos de unidades de vidrio aislante se exponen a un ensayo climático. El punto de rocío inicial y final y el contenido inicial y final de humedad se miden, según los casos y se calcula el índice de penetración de humedad.

5.2 Condiciones normalizadas de laboratorio

Una temperatura ambiente de (23 ± 2) °C y una humedad relativa de (50 ± 5) %.

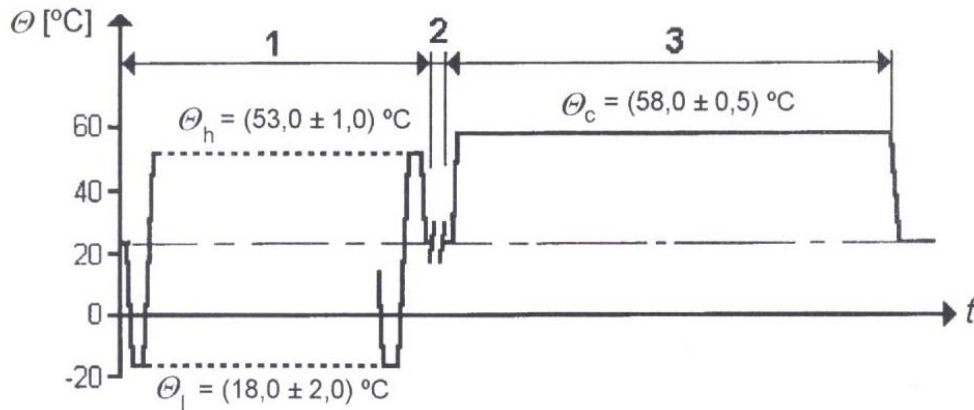
5.3 Condiciones ambientales límites controladas

Una temperatura ambiente de 10 °C con un punto de rocío de – 5 °C, dando una humedad relativa de 32,8%.

5.4 Condiciones climáticas en la cabina

El procedimiento de ensayo de humedad y temperatura elevadas consiste en dos partes. En lo que se refiere a las condiciones climáticas en la cabina, la primera parte comporta 56 ciclos de temperatura de 12 h entre -18 °C y +53 °C con variaciones de 14 °C/h, seguida de una segunda parte a una temperatura constante de +58 °C durante siete semanas. La alta humedad debe ser como se describe.

Las especificaciones exactas de temperatura, humedad y duración así como las tolerancias correspondientes se indican en las figuras 1 y 2.



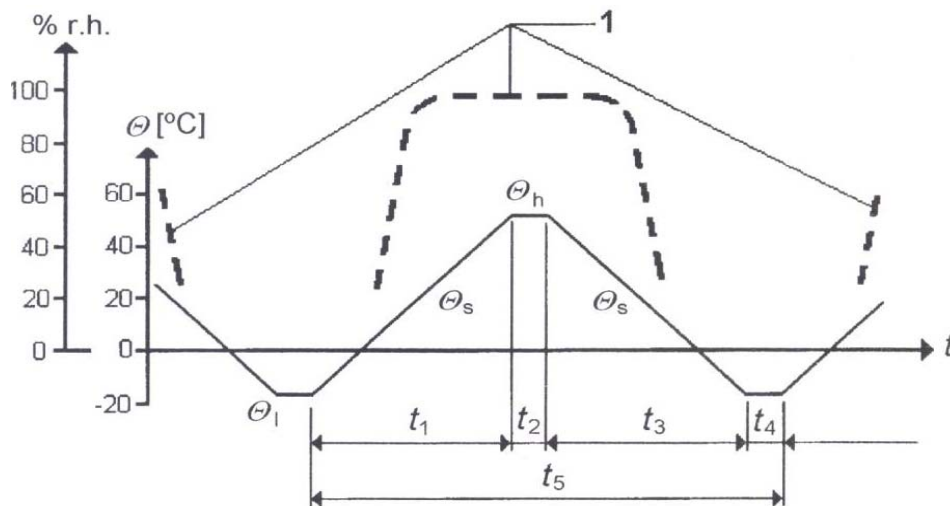
Leyenda

1 Corresponde a los 56 ciclos de temperaturas entre -18 y 53°C por 12 h (durante cuatro semanas)

2 Corresponde al intervalo de 2 h a 4 h para mover las probetas de una cabina a una segunda cabina cuando se emplean dos cabinas

3 Corresponde a la temperatura constante (1176 ± 4) h (siete semanas) y a una humedad relativa de r.h. ≥ 95%. Se permite la condensación en la probeta

Fig. 1 - Vista de conjunto de las condiciones climáticas en la cabina.
 θ corresponde a la temperatura del vidrio de la probeta central.
 Los ciclos de temperatura comienzan con la fase de enfriamiento



Leyenda

1 Corresponde a la humedad relativa durante el ciclo de temperatura. Valor máximo de r.h. $\geq 95\%$. Durante la etapa de enfriamiento del ciclo, la alta humedad se interrumpe. Se admite una eventual condensación en la probeta.

- Intervalos de tiempo: $t_1 = 5$ h, $t_2 = 1$ h, $t_3 = 5$ h, $t_4 = 1$ h, $t_5 =$ duración total del ciclo 12 h

- Tolerancia en los intervalos de tiempo: menos de 1 min

- Temperaturas de la probeta colocada en el centro a lo largo del ciclo:

- $\theta_h = (53,0 \pm 1,0)$ °C (alta temperatura)

- $\theta_l = (- 18,0 \pm 2,0)$ °C (baja temperatura)

- $\theta_s = (14 \pm 2)$ °C/h (incremento)

Fig. 2 – Relaciones temperatura /tiempo y humedad/tiempo a lo largo del ciclo

NOTA Las dos partes del proceso pueden ser llevadas a cabo en una misma cabina o en dos cabinas diferentes. En caso de utilización de dos cabinas, prever hasta 4 h para mover las probetas de una cabina a la otra para un segundo periodo.

Las temperaturas y las tolerancias indicadas en las figuras 1 y 2 se aplican en cada caso al vidrio de la probeta situada en el centro de la cabina (s). La temperatura de esta probeta central debe ser registrada continuamente. Además, la humedad relativa y la temperatura del aire, medidas en el entorno más apropiado de la o de las cabinas, deben ser registradas continuamente. Cualquier cambio de temperatura o de humedad relativa debe ser consignado en el informe de ensayo

Las temperaturas del vidrio de las otras probetas en la cabina deben ser:

- durante el ciclo: - alta temperatura $\theta = (\theta_h \pm 1,0)$ °C

 - baja temperatura $\theta = (\theta_l \pm 2,0)$ °C

 - inclinación $\theta = (\theta_s \pm 2,0)$ °C/h

- durante temperatura constante: $\theta = (\theta_c \pm 0,5)$ °C

Para obtener condiciones climáticas lo más homogéneas posible en las cabinas, la distancia entre las probetas centrales dispuestas verticalmente no debe ser inferior a 15 mm.

5.5 Número, descripción y selección de las probetas

Un juego de unidades de vidrio aislante se compone de 15 probetas. Las probetas deben ser representativas del sistema descrito (véase la **NTF 29:3-015/1**) y deben consistir en dos hojas de vidrio transparente de un espesor de 4 mm, de acuerdo con las NTF 3936-1 y 3936-2. La longitud debe ser de (502 ± 2) mm y la anchura de (352 ± 2) mm. La holgura debe estar lo más próxima posible a 12 mm. La cámara se llena preferentemente con aire pero también pueden utilizarse otros gases. Los detalles de fabricación de los bordes y de las esquinas deben corresponder a los detalles de bordes y esquinas de unidades de acristalamientos suministrados en el mercado.

Cuando la descripción del sistema incluye unidades de vidrio aislante curvadas con un radio de curvatura igual o menor que 1 m, las probetas se deben curvar como se describe en la **NTF 29:3-015/1**. Cuando el sistema prevé una mezcla de un desecante con un producto no desecante, incapaz de resistir 1 000 °C, debe utilizarse el método Karl Fischer para determinar el contenido de humedad. (Véase Anexo C) (después de haber verificado si este método es aplicable), o bien el producto no desecante debe ser reemplazado por un volumen igual de desecante.

Cuando el sistema prevé una mezcla de un desecante con un producto no desecante, incapaz de resistir 220 °C, el material no desecante debe ser reemplazado por el mismo volumen de desecante.

Tras la recepción, acondicionar 15 probetas durante al menos 2 semanas en las condiciones normales de laboratorio. Las temperaturas iniciales del punto de rocío de las probetas, medidas de acuerdo con el apartado 6.1, deben estar dentro de un rango de 10 K a partir de la temperatura máxima del punto de rocío como se ha

establecido o deducida de informes que figuran en la descripción tipo del producto suministrada por el fabricante. Las temperaturas del punto de rocío inferiores a -60 °C deberían ser consideradas como -60 °C.

Se clasifican las probetas siguiendo el orden de valores del punto de rocío, dando el número 1 al valor más elevado y el número 15 al valor más bajo. Se numeran aleatoriamente las unidades de vidrio aislante que presentan un valor del punto de rocío inferior a -60 °C. Se eligen las probetas de la forma indicada en la tabla 1.

Tabla 1
Designación de las unidades de vidrio aislante para los ensayos climáticos

Número de la unidad	Unidades designadas para:
7, 8, 9 y 10	Medición del contenido inicial de humedad del desecante (T_i)
4, 5, 6, 11 y 12	Ensayo climático y medición del contenido final de humedad del desecante (T_f)
2, 3, 13 y 14	Probetas de reserva, para reemplazar las probetas rotas para la medición del contenido final de humedad del desecante (T_f) (tras los ensayos climáticos)
1 y 15	Rechazo o medición de la capacidad normalizada de absorción de humedad del desecante (T_c), como se requiera

5.6 Procedimiento

Antes de comenzar el ensayo climático, se mide el contenido inicial de humedad (T_i) del desecante (si lo hay) sobre las cuatro probetas elegidas, (véase tabla 1) de acuerdo con el apartado 6.2. Se someten las cinco probetas elegidas a las condiciones climáticas, (véase tabla 1) de acuerdo con el apartado 5.2. Para las unidades de vidrio aislante sin desecante, se mide la temperatura inicial del punto de rocío de las probetas de acuerdo al apartado 6.1. Esta temperatura del punto de rocío permite calcular un valor equivalente de (T_i) de acuerdo con el apartado 6.2.3.

NOTA 1 Por razones de tiempo y para reducir el coste de este ensayo, el fabricante o su representante puede decidir someter las probetas de reserva a las condiciones climáticas desde el principio, o solamente en caso de rotura de una probeta sometida ya a las condiciones climáticas.

NOTA 2 Con el fin de determinar los requisitos para el ensayo periódico de penetración de humedad, se recomienda que se lleve a cabo en paralelo el ensayo periódico de penetración de humedad conforme con la Norma Europea EN 1279-6.

Se almacenan las probetas durante al menos dos semanas en las condiciones normales del laboratorio.

Se mide el contenido final de humedad (T_f) del desecante (si es el caso) de cinco probetas de acuerdo con el apartado 6.2. Cuando la cantidad de desecante en la probeta difiera en relación a las unidades puestas en el mercado, el contenido final de humedad (T_f) debe ser corregido por el factor:

$$K = \frac{Q_{\text{sistema}}}{Q_{\text{probeta}}} \quad (1)$$

Donde

Q es la cantidad de desecante en peso o por volumen

NOTA 3 Cuando existan razones técnicas que indiquen que la cantidad de desecante en las probetas no puede ser representativa de la descripción del sistema, el ensayo puede ser llevado a cabo con una cantidad diferente, no obstante, los resultados del ensayo deberán ser corregidos para obtener un verdadero valor l .

Para las unidades de vidrio aislante sin desecante, se mide la temperatura final del punto de rocío de las probetas de acuerdo con el apartado 6.1. Esta temperatura del punto de rocío permite calcular un valor equivalente de (T_f) de acuerdo con el apartado 6.2.4.

Se establece la capacidad normalizada de absorción de humedad (T_c) según el anexo D. Si es necesario, se mide la capacidad normalizada de absorción de humedad del desecante sobre las probetas rechazadas de acuerdo al apartado 6.2. En el caso de unidades de vidrio aislante sin desecante, se calcula T_c según el apartado 6.2.4.

Se calcula el contenido medio inicial de humedad del desecante a partir de la siguiente ecuación:

$$T_{l,av} = \sum_{n=1}^4 \frac{T_{i,n}}{4} \quad (2)$$

Si es el caso, se calcula la capacidad normalizada media de absorción de humedad del desecante a partir de la siguiente ecuación:

$$T_{c,av} = \sum_{n=1}^2 \frac{T_{c,n}}{2} \quad (3)$$

Se calcula el índice de penetración de humedad, en forma decimal o en porcentaje, de cada una de las cinco probetas elegidas o designadas sometidas a las condiciones climáticas, a partir de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{T_f - T_{i,av}}{T_{c,av} - T_{i,av}} \quad \text{o} \quad I = 100 \frac{T_f - T_{i,av}}{T_{c,av} - T_{i,av}} \quad \text{en \%} \quad (4)$$

Se calcula el índice medio de penetración de humedad a partir de la siguiente ecuación:

$$I_{av} = \sum_{n=1}^5 \frac{I_n}{5} \quad (5)$$

Los fabricantes de unidades de vidrio aislante deberían conocer la precisión del ensayo, demostrada por los resultados de ensayos de cualificación. Un ensayo de cualificación en el que han participado 10 laboratorios, empleando el método descrito en esta norma, ha demostrado la posibilidad de obtener una precisión, tal como se define en el apartado 3.1.4, superior a $\pm 0,10$ cuando el índice de penetración de humedad I se expresa en forma decimal, o $\pm 10\%$ en valor absoluto cuando se expresa en porcentaje.

6 METODOS DE MEDICIÓN

6.1 Medición de la temperatura del punto de rocío

Cualquier método es aplicable, a condición de ser controlado por referencia al método del anexo A.

6.2 Medición del contenido de humedad

6.2.1 Generalidades

Los valores del contenido de humedad obtenidos por diferentes métodos no deben ser mezclados.

NOTA Existen tres métodos para medir el contenido de humedad (T_h , T_{fy} , T_c):

- el método de secado a 950 °C: aplicable al desecante a granel;
- el método de Karl Fischer: aplicable al desecante incorporado en el sellante orgánico de sellado;
- el método de presión parcial: aplicable a unidades de vidrio aislante sin desecante.

Contrariamente al resultado final, el índice de penetración de humedad I , es independiente del método utilizado, los valores del contenido de humedad no lo son.

6.2.2 Contenido de humedad del desecante a granel

Se pesa una cápsula vacía. Se prepara y se recoge desecante de cada unidad designada:

- para el contenido inicial de humedad T_i , según el capítulo B.3;
- para el contenido final de humedad T_f , según el capítulo B.3
- para la capacidad normalizada de absorción de humedad T_c , según el capítulo B.4

Se pesa la cápsula y el desecante. Se seca el desecante de acuerdo con los capítulos B.2 y B.3. Tras la refrigeración, se pesa la cápsula y el desecante. Se calcula el contenido de humedad:

- contenido inicial de humedad: según la ecuación (B.1);
- contenido final de humedad: según la ecuación (B.2) y el valor corregido eventual según la ecuación B.4;
- la capacidad normalizada de absorción de humedad: según la ecuación (B.5).

6.2.3 Contenido de humedad del desecante incorporado en el espaciador

Se preparan y se recogen cuatro muestras de espaciador orgánico conteniendo desecante, según el capítulo C.3, una sobre cada lado de cada unidad de vidrio aislante designado:

- para el contenido inicial de humedad T_i , según el capítulo C.3;
- para el contenido final de humedad T_f , según el capítulo C.3;
- para la capacidad normalizada de absorción de humedad T_c , según el capítulo C.4.

Se pesan las muestras. Se determina el contenido de humedad aplicando el método Karl Fischer según el anexo C.

NOTA Este método da directamente el contenido de humedad T_i , T_f o T_c .

6.2.4 Contenido de humedad de unidades de vidrio aislante sin desecante.

Cuando la temperatura del punto de rocío se mide de acuerdo con el apartado 6.1, se busca en la tabla 2 la presión parcial de vapor de agua correspondiente. El valor obtenido se designa T_i para el contenido inicial de humedad o T_f para el contenido final de humedad.

El valor de la presión parcial de vapor de agua obtenida en las condiciones límites del entorno definidas en el apartado 3.1.3 se designa T_c y es igual a 402 Pa (punto de rocío de -5 °C).

Tabla 2 Presión parcial del vapor de agua en función de la temperatura

Punto de rocío °C	Presión parcial del vapor de agua Pa	Punto de rocío °C	Presión parcial del vapor de agua Pa	Punto de rocío °C	Presión parcial del vapor de agua Pa	Punto de rocío °C	Presión parcial del vapor de agua Pa
20	2 335	-1	563	-21	94	-41	11,5
19	2 201	-2	518	-22	85	-42	10,3
18	2 055	-3	476	-23	77	-43	9,12

Punto de rocío °C	Presión parcial del vapor de agua Pa	Punto de rocío °C	Presión parcial del vapor de agua Pa	Punto de rocío °C	Presión parcial del vapor de agua Pa	Punto de rocío °C	Presión parcial del vapor de agua Pa
17	1 935	-4	438	-24	70	-44	8,13
16	1 814	-5	402	-25	64	-45	7,21
15	1 694	-6	369	-26	57,4	-46	6,40
14	1 601	-7	343	-27	51,9	-47	5,68
13	1 494	-8	310	-28	46,8	-48	5,04
12	1 401	-9	284	-29	42,3	-49	4,46
11	1 307	-10	260	-30	38,1	-50	3,94
10	1 227	-11	238	-31	34,3	-51	3,48
9	1 147	-12	218	-32	30,9	-52	3,07
8	1 067	-13	199	-33	27,8	-53	2,70
7	1 001	-14	182	-34	25,0	-54	2,37
6	934	-15	166	-35	22,4	-55	2,09
5	876	-16	151	-36	20,1	-56	1,84
4	814	-17	138	-37	18,0	-57	1,61
3	760	-18	125	-38	16,1	-58	1,41
2	707	-19	114	-39	14,4	-59	1,24
1	656	-20	104	-40	12,9	-60	1,08
0	610						

6.3 Precisión

La precisión de este método de ensayo debe darse en un nivel de fiabilidad dentro de los límites del 99%.

7 INFORME DE ENSAYO

Se debe elaborar un informe contentivo de los siguientes datos:

- a) Fecha del ensayo
- b) Identificación de la muestra
- c) Contenido de humedad del desecante a granel
- d) Contenido de humedad del desecante incorporado en el espaciador
- e) Resultados obtenidos
- f) Referencia a esta norma
- g) Nombre del técnico responsable del ensayo

BIBLIOGRAFÍA

UNE-EN 1279-2:2006 Vidrio para la edificación. Unidades de vidrio aislante. Parte 2: Método de ensayo a largo plazo y requisitos en materia de penetración de humedad.

ANEXO A
(Normativo)
MÉTODO DE REFERENCIA PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL PUNTO DE ROCÍO

A.1 Generalidades

Este método sirve de referencia a los utilizados normalmente por los laboratorios de ensayo. Los métodos son comparables tomando muestras como se indica en el apartado 5.3 y deben ser colocados verticalmente sobre el borde más corto.

El método aquí descrito no pretende dar una medida exacta del punto de rocío. De hecho, la desviación por referencia a la temperatura exacta de punto de rocío no se conoce con precisión; no obstante, la desviación máxima se estima en 5 °C. Sin embargo, el método se adopta en razón de su fiabilidad, de su reproductibilidad y de su simplicidad.

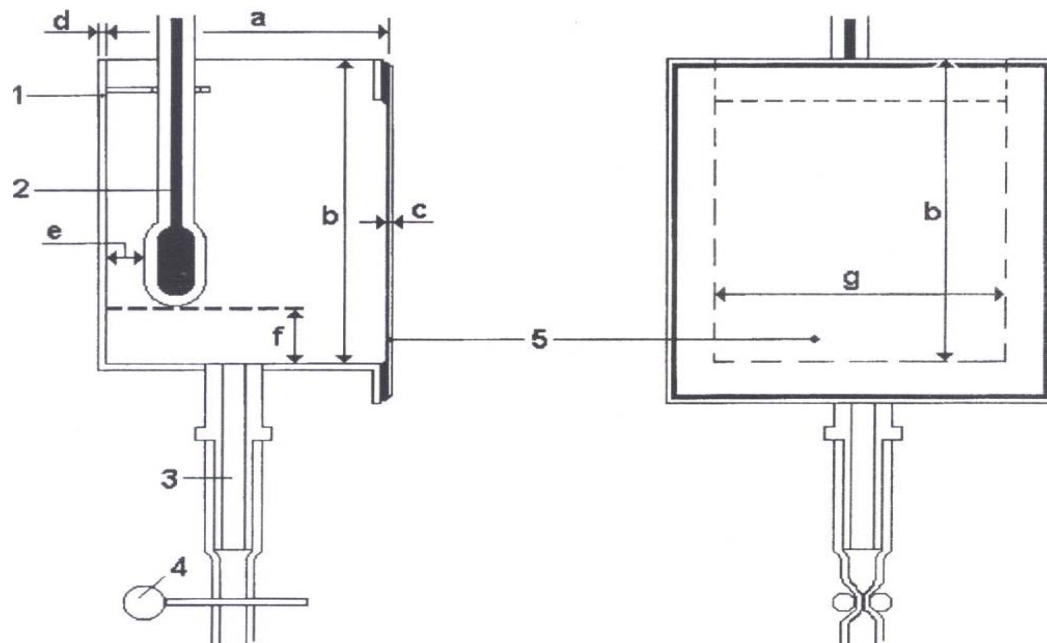
El punto de rocío se caracteriza por la aparición de un sedimento de agua sobre el vidrio. Durante la medición de la temperatura del punto de rocío, la humedad condensada sobre la superficie del vidrio, necesaria para la observación, se sustrae de la humedad libre; la temperatura medida del punto de rocío es, en consecuencia, inferior al valor real. Cuanto más reducidas son las dimensiones de la unidad de vidrio aislante y el punto de rocío es más bajo, es menor la cantidad de humedad y consecuentemente la temperatura medida del punto de rocío se desvía más de la temperatura real. Para las unidades de vidrio aislante de dimensiones normales, las temperaturas del punto de rocío inferiores a -60 °C se desvían demasiado, pero siendo muy débil la cantidad de humedad en el espacio aislante, se puede considerar que estas temperaturas del punto de rocío son iguales a -60 °C.

A.2 Equipamiento y materiales

- Célula de refrigeración de acuerdo con la figura A.1.
- Etanol para la refrigeración.
- Dióxido de carbono sólido triturado para la refrigeración.
- Termómetro de alcohol con un intervalo de al menos +30 °C a -70 °C y una precisión de ± 1 °C.

A.3 Procedimiento

Se efectúa la medición en las condiciones normales de laboratorio según el apartado 3.1.1. Se apoya la célula de refrigeración sobre la superficie limpia del vidrio, en el centro de la unidad, posando algunas gotas de etanol entre el vidrio y las superficies del espejo para obtener una conductividad óptima. Se coloca el termómetro en la célula de refrigeración. Se llena la célula de refrigeración de etanol hasta una altura de 30 a 35 mm. Se introduce lentamente el dióxido de carbono sólido triturado en el etanol. A partir de un valor de alrededor de 20 K por encima del punto de rocío, la velocidad de enfriamiento no debe sobrepasar 2 K/min. Se vigila permanentemente la superficie interna del vidrio justo delante del espejo. Tan pronto como aparezca condensación, se anota la temperatura del líquido de enfriamiento indicada por el termómetro. Esta temperatura corresponde a la temperatura del punto de rocío.



Leyenda

1 Acero inoxidable

2 Termómetro de alcohol ± 1 °C

3 Desagüe

4 Muelle o tornillo, clip o tapa

5 Espejo de vidrio, recubierto de plata y pintura protectora en la cara posterior

$a = (40 \pm 2)$ mm

$b = (60 \pm 1)$ mm

c es el espacio máximo de 2 mm incluyendo la pintura

$d = (2 \pm 0,1)$ mm

$e = (10 \pm 2)$ mm

$f = (10 \pm 2)$ mm

$g = (50 \pm 1)$ mm

Fig. A.1 Célula de enfriamiento y termómetro para la medición del punto de rocío

ANEXO B
(Normativo)
MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE ACUERDO CON EL MÉTODO DE SECADO A 950 °C

B.1 Aplicabilidad

Este método de medición se aplica al desecante a granel.

B.2 Equipamiento, materiales y trabajos preparatorios

B.2.1 Las condiciones ambientales deben ser las normalizadas de acuerdo al apartado 3.1.1. Deben tomarse precauciones para minimizar la suciedad al máximo. Conviene cerrar el acceso del local.

B.2.2 La balanza debe tener una precisión de al menos $\pm 0,001$ g.

B.2.3 Cápsula y tapa recomendadas: de porcelana como se representa en la figura B.1

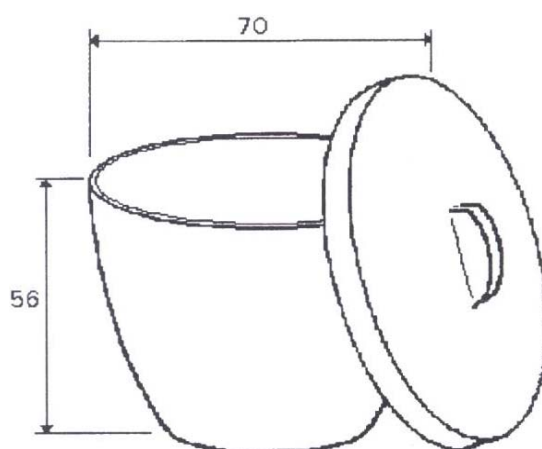


Fig. B.1 – Representación de una cápsula con tapa – Dimensiones en mm

B.2.4 Se limpia y se seca la cápsula y la tapa lavándolas en agua destilada y secándolas hasta una masa constante, por calentamiento en una estufa a 120 °C. Se enfría hasta la temperatura ambiente antes de pesar. Se pesa la cápsula sin la tapa. Se designa como m_0 el valor obtenido. Se procede de la misma forma con todas las cápsulas al comienzo de todas las series de pesaje.

B.3 Contenido inicial y final de humedad

B.3.1 Se quita el desecante por el método a) o b) de la siguiente manera:

a) Procedimiento recomendado para quitar el desecante, primera alternativa:

- 1) se corta el sellante con la ayuda de un cuchillo afilado;
- 2) se retira un panel del vidrio. Se procede de igual forma para retirar el segundo panel del vidrio;
- 3) se separan si es posible los espaciadores;
- 4) se parten los espaciadores en dos cortándolos por el centro;
- 5) se doblan los espaciadores con la mano por encima de la cápsula y se derrama el desecante en ella;
- 6) se conserva de 20 a 30 g de la cantidad total obtenida cuando es posible, tras haberla mezclado si es necesario;
- 7) se evita que entren fragmentos del espaciador en el desecante;

8) se coloca la tapa sobre la cápsula. Se lleva al local de pesaje;

9) se pesa la cápsula con el desecante pero sin la tapa (m_i para la determinación de T_i , m_f para la determinación de T_f).

Conviene llevar a cabo las operaciones 1) a 3) en 5 min.

Conviene llevar a cabo las operaciones 4) a 9) en 3 min.

b) Procedimiento recomendado para quitar el desecante, segunda alternativa:

1) se quita el sellante sobre un número suficiente de milímetros para permitir la colocación de una plantilla a una distancia de alrededor de 60 mm de la esquina.

2) se coloca la plantilla que lleva un perforado de 10 mm de diámetro sobre el borde de la unidad de vidrio aislante.

3) se taladra un orificio del mismo diámetro que el de la plantilla en la parte trasera del espaciador. Asegurarse que la punta del tornillo está adaptada para prevenir su deformación. Se evita atravesar la cara interior del espaciador y se penetra en la unidad de vidrio aislante.

4) se vierte el desecante en la cápsula. Se desechan los primeros 3 g a 5 g de desecante para evitar la contaminación por otros materiales.

5) se conserva de 20 g a 30 g de la cantidad total obtenida cuando es posible, tras haberla mezclado si es necesario;

6) se evita que entren fragmentos del espaciador en el desecante;

7) se coloca la tapa sobre la cápsula. Se lleva al local de pesaje;

8) se pesa la cápsula con el desecante pero sin la tapa (m_i para la determinación de T_i , m_f para la determinación de T_f).

Conviene llevar a cabo las operaciones 1) a 3) en 5 min.

Conviene llevar a cabo las operaciones 4) a 8) en 3 min.

B.3.2 Se coloca la tapa sobre la cápsula y se pone en el horno. Asegurarse que suciedad adicional no entre en la cápsula y que ningún desecante se escape.

B.3.3 Se retira la tapa y se coloca la cápsula que contiene el desecante en el horno. Se calienta el horno desde la temperatura ambiente hasta 950 °C en (60 ± 20 min). Se mantiene una temperatura de (950 ± 50) °C durante (120 ± 5) min suplementarios.

NOTA 1 La temperatura de 950 °C se aplica a los zeolitos, geles de sílice y mezclas. La ventaja de esta temperatura es que tras el secado, el desecante no permanece activo, lo que reduce los riesgos de error.

B.3.4 Se saca la cápsula que contiene el desecante, se coloca la tapa y se coloca la cápsula en un desecador para el enfriamiento a la temperatura ambiente. Se pesan la cápsula y el desecante sin la tapa (m_r).

B.3.5 Se calcula el contenido de humedad bien en forma decimal o como porcentaje:

– contenido inicial en humedad:

$$T_i = \frac{m_i - m_r}{m_r - m_0} \quad \text{o} \quad T_i = 100 \frac{m_i - m_r}{m_r - m_0} \quad \text{en \%} \quad (\text{B.1})$$

- contenido final de humedad:

$$T_f = \frac{m_f - m_r}{m_r - m_0} \quad \text{o} \quad T_f = 100 \frac{m_i - m_r}{m_r - m_0} \quad \text{en \%} \quad (\text{B.2})$$

B.3.6 En el caso de una mezcla de desecante y de producto no desecante, donde el producto no desecante ha sido reemplazado por desecante, se calcula la relación R entre:

- la masa de desecante de la mezcla (M_m) y;

- la masa total de desecante una vez que el producto no desecante ha sido reemplazado por el mismo volumen de desecante (M_t).

Esta relación es:

$$R = \frac{M_m}{M_t} \quad (\text{B.3})$$

Los valores obtenidos por las ecuaciones B.1 y B.2 se designan $T_{i,u}$ y $T_{f,u}$. Se calculan los contenidos inicial y final corregidos (T_i y T_f) multiplicando $T_{i,u}$ y $T_{f,u}$ con la relación R :

$$T_i = RT_{i,u} \quad (\text{B.4})$$

$$T_f = RT_{f,u} \quad (\text{B.5})$$

B.4 Capacidad normalizada de absorción de humedad

B.4.1 Se quitan de 20 g a 30 g de desecante de las probetas rechazadas de acuerdo con el apartado B.2.4. No se pesa la cápsula en este momento. Si el desecante se toma de un tambor, se coloca en una cápsula preparada de acuerdo con el apartado B.2.4.

B.4.2 Se prepara y se conserva una humedad relativa de 32% en un desecador por medio de:

- se prepara una solución salina saturada de cristales de cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) en agua a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ añadiendo los cristales hasta que ellos no se disuelvan más;
- se verifica que al menos un cristal se mantiene no disuelto en la solución durante toda la duración del ensayo;
- se coloca la solución saturada en el fondo de un desecador y se cierra. Se deja durante 24 h para alcanzar el equilibrio.

NOTA - El ambiente creado por la solución de cloruro de calcio simula las condiciones límites del ambiente definido en el apartado 3.1.3.

B.4.3 Se humidifica el desecante hasta la absorción de equilibrio en las condiciones límites del ambiente:

- se coloca la cápsula que contiene el desecante, con la tapa retirada, alrededor de 20 mm por encima de la solución, sostenida de manera que permita la libre circulación del aire tratado, estando la cápsula fijada fuertemente y no pudiendo entrar en contacto con la solución;
- se vuelve a cerrar el conjunto y se deja durante 4 semanas. Se efectúan frecuentes controles durante el ensayo para asegurarse que al menos un cristal permanece no disuelto;

– después de cuatro semanas, se pesa la cápsula con el desecante en menos de 30 s. Se vuelve a poner en el desecador y se deja todavía una semana;

– se vuelve a pesar rápidamente la cápsula con el desecante. Si los dos valores sucesivos obtenidos difieren en más de 0,005 g, se vuelve a colocar la cápsula y el desecante en el desecador, por encima de la solución saturada de cloruro de calcio, durante periodos suplementarios de una semana hasta obtener una masa constante.

B.4.4 Se designa el valor de la masa constante por m_c .

B.4.5 Se coloca la tapa sobre la cápsula y se pone en el horno. Asegurarse que no entra suciedad adicional en la cápsula y que ningún desecante se escapa.

B.4.6 Se quita la tapa y se coloca la cápsula que contiene el desecante en el horno. Se calienta el horno desde la temperatura ambiente hasta 950 °C en (60 ± 20) min. Se mantiene una temperatura de (950 ± 50) °C durante (120 ± 5) °C.

B.4.7 Se retira la cápsula que contiene el desecante, se pone la tapa sobre la cápsula y se deja enfriar en un desecador hasta que se alcance la temperatura ambiente. Se pesa la cápsula y el desecante sin la tapa (m_r).

B.4.8 Se calcula la capacidad normalizada de absorción de humedad bajo la forma decimal o en porcentaje:

$$T_c \frac{m_c - m_r}{m_r - m_0} \quad \text{o} \quad T_c = 100 \frac{m_c - m_r}{m_r - m_0} \quad \text{en \%} \quad (\text{B.6})$$

ANEXO C
(Normativo)
MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN EL MÉTODO DE KARL FISCHER

C.1 Aplicabilidad

Este método está basado en la Norma Internacional ISO 760. El método es aplicable al desecante incorporado en el sellante orgánico.

Un ensayo de calificación en el que han participado tres laboratorios, con zeolito a granel y zeolito incorporado en poliisobutileno y/o en butilo, utilizando el método detallado a continuación, ha demostrado que puede alcanzarse una precisión comparable con la obtenida por el método de secado a 950 °C del anexo B.

Para otros tipos de desecante u otros tipos de matrices que contengan desecante, debe verificarse si este método es aplicable.

C.2 Equipamiento, materiales y trabajos preparatorios

C.2.1 Las condiciones ambientales deben ser conformes con las normalizadas del apartado 3.1.1. Deben tomarse precauciones para reducir al mínimo la suciedad. El acceso al local debe estar cerrado para evitar el tráfico por el local.

C.2.2 La balanza debe tener una precisión de al menos $\pm 0,0001$ g.

C.2.3 El método de medición necesita el siguiente equipamiento Karl Fischer y los siguientes materiales KF:

- Valorímetro
- Reactivo KF
- Disolvente KF
- Bureta KF
- Horno tubular KF
- Calculador KF

Y, adicionalmente, nitrógeno ($N_2 + Ar > 99,995\%$, $H_2O < 5 \times 10^{-6}$ por volumen, $O_2 < 2 \times 10^{-6}$ por volumen) y tartrato de sodio ($[CHOHCOONa]_2 \cdot 2H_2O$) o citrato de sodio ($C_6H_5K_3O_7 \cdot H_2O$).

NOTA 1 - La longitud de la conexión entre el horno tubular KF y el valorímetro KF debe ser igual o menor que 200 mm.

NOTA 2 - Pueden utilizarse las siguientes combinaciones de reactivo y de disolvente:

- reactivo KF nº 34 805 con disolvente KF nº 34 914
- reactivo KF nº 34 801 con disolvente KF nº 34 800

C.2.4 Antes de colocar las probetas en el horno tubular KF, se llevan a cabo los siguientes trabajos preparatorios:

a) Se calienta el horno tubular KF hasta una temperatura de (200 ± 5) °C. Se mantiene un flujo de nitrógeno de (200 ± 20) ml/min durante (60 ± 1) min.

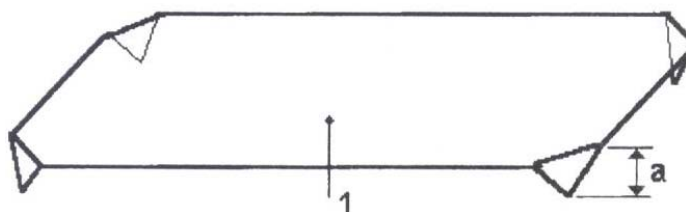
b) Se mide la desviación (provocada por conexiones que no son perfectamente estancas). Se mantiene el flujo de nitrógeno de (200 ± 20) ml/min y la temperatura del horno tubular KF a (200 ± 5) °C. Se registra la curva de secado durante 10 min con 1 min de intervalo.

c) Se colocan $(0,2 \pm 0,02)$ g de tartrato de sodio o $(0,5 \pm 0,05)$ g de citrato de sodio en el horno tubular KF. Se mantiene el flujo de nitrógeno de (200 ± 20) ml/min y la temperatura del horno tubular KF a (150 ± 5) °C. Se registra la curva de secado durante 60 min con 5 min de intervalo.

d) Se calibra sobre la base de los resultados obtenidos en b) y c).

C.3 Contenido inicial y final de humedad

C.3.1 Se preparan redes de acuerdo con la figura C.1. Se pesan las redes. Se designan el valor de la masa obtenida, m_0 .



Leyenda

1 Red con esquinas replegadas

a Aproximadamente 3 mm

Fig. C.1 – Ejemplo de red

C.3.2 Se abre la unidad de vidrio aislante y se elige, en el centro de cada sección lateral secciones de aproximadamente 0,5 g de sellante que contiene desecante, de acuerdo con las figuras C.2 y C.3.

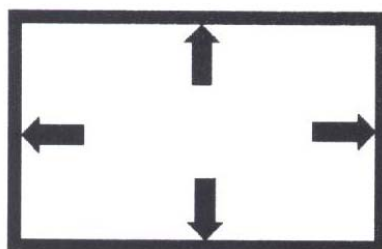
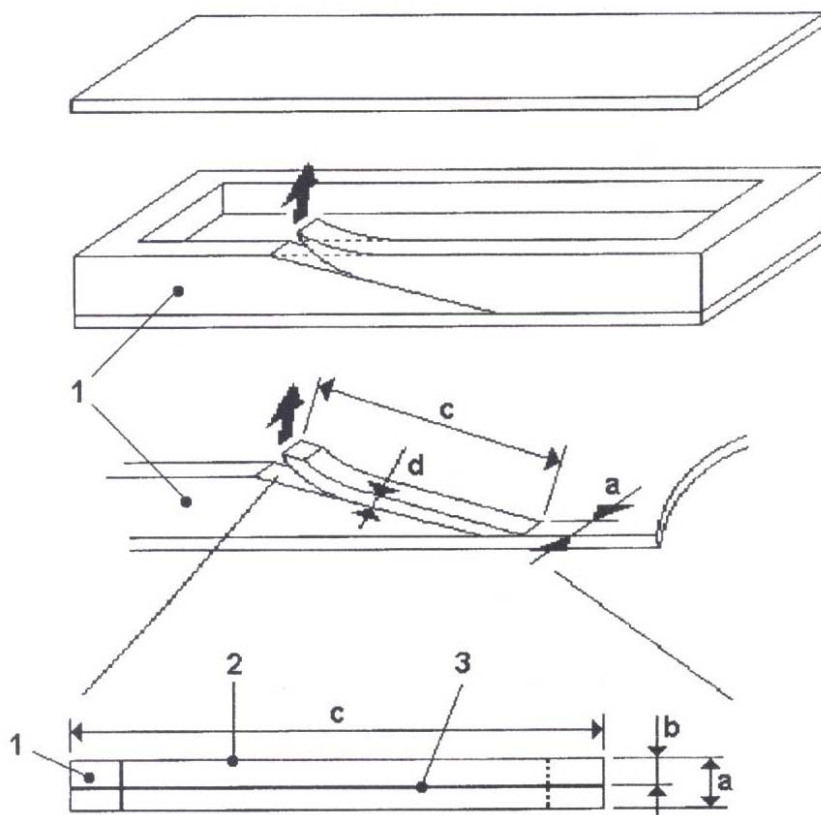


Fig. C.2 – Representación de una unidad de vidrio aislante que indica los lugares donde es necesario tomar las muestras del material orgánico que contiene el desecante



Leyenda

1 Desecante incorporado en el sellante

2 Sellante mirando a la cámara de la unidad de vidrio aislante

3 Corte separador de la parte interna del sellante sobre la longitud c completa

b La mitad del ancho $a \pm 0,5$ mm con un máximo de $(3,5 \pm 0,5)$ mm

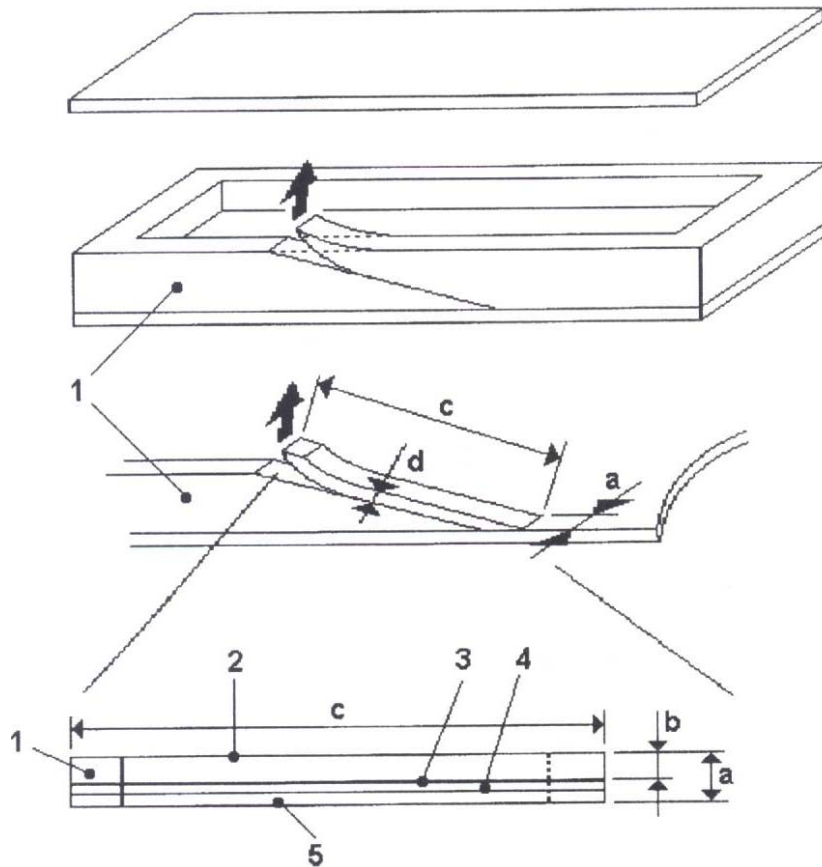
Fig. C.3 – Representación de cómo tomar las muestras del material orgánico conteniendo desecante

La cantidad $(b \cdot c \cdot d)$ debe ser aproximadamente $0,5 \text{ cm}^3$, para obtener una masa de aproximadamente $0,5 \text{ g}$.

En el caso de unidades de vidrio aislante en las que el sellante conteniendo desecante supone una barrera contra la infiltración de humedad, las muestras pueden ser tomadas como se indica en las figuras C.2 y C.4.

Se evitan materiales distintos que el sellante que contiene desecante. Se colocan todas las probetas que deben ser mezcladas sobre una red como se indica en la figura C.5. Se pesan las redes con las probetas. Se designan los valores obtenidos m_i cuando se mide el contenido inicial de humedad y m_f cuando se mide el contenido final de humedad. Se coloca la red con el material orgánico en una lanzadera. Se coloca la lanzadera dentro del horno tubular KF que está estabilizado a $(200 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$. Se dejan como máximo 15 min desde la elección de las probetas y la colocación de la lanzadera con la primera probeta en el horno tubular KF. Se almacenan las otras probetas en pequeños contenedores estancos y secos.

NOTA – Todas las mediciones deberían ser efectuadas en un plazo de cuatro días.



Leyenda

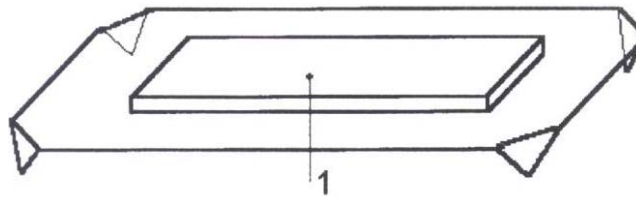
- 1 Desecante incorporado en el sellante
- 2 Sellante mirando a la cámara de la unidad de vidrio aislante
- 3 Separación de la parte interna del sellante de la barrera de vapor
- 4 Barrera impermeable a la penetración de vapor de agua
- 5 Sellante con o sin desecante
- c Longitud del material eliminado del ancho completo de la cámara

Fig. C.4 – Representación de cómo tomar las muestras del material orgánico con una barrera impermeable a la penetración de agua

La cantidad $(b \cdot c \cdot d)$ debe ser aproximadamente $0,5 \text{ cm}^3$ para obtener una masa de aproximadamente $0,5 \text{ g}$

C.3.3 Se mantiene el flujo de nitrógeno de $(200 \pm 20) \text{ ml/min}$ y la temperatura del horno tubular KF a $(200 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ durante $(150 \pm 1) \text{ min}$. Se registra la curva de secado con intervalos de 15 min .

C.3.4 Se introduce el valor apropiado $(m_i - m_o)$ o $(m_f - m_o)$ en el calculador KF. Se lee el contenido de humedad T_i o T_f en el calculador.



Leyenda

- 1 Desecante en matriz orgánica, prensado en una película aproximadamente de 1 mm de espesor

De la película, se corta una banda de 40 mm × 10 mm.

Fig. C.5 – Ejemplo de probeta de desecante colocada en la red

C.4 Capacidad normalizada de absorción de humedad

C.4.1 Se toma una cantidad de sellante conteniendo desecante de un tambor o tomarlo de una unidad de vidrio aislante como se indica en el apartado C.3.2. Se preparan cuatro probetas, pesando cada una aproximadamente 2 g y se colocan sobre las redes que tienen una masa $m_{o,m}$.

C.4.2 Se prepara y se mantiene una humedad relativa de 31% a 55 °C en una cabina de la siguiente manera:

- se prepara una solución salina saturada de cristales de cloruro de magnesio ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) en agua a (55 ± 1) °C;
- se verifica que al menos un cristal se mantiene no disuelto en la solución durante toda la duración del ensayo;
- se coloca la solución saturada en el fondo de la cabina y se cierra. Se espera al menos 24 h para conseguir el equilibrio.

NOTA – El entorno creado por la solución de cloruro de magnesio simula las condiciones límites del entorno definidas en el apartado 3.1.3.

C.4.3 Se humidifican las probetas hasta la tasa normalizada máxima de absorción de la siguiente manera:

- se colocan las redes con la probeta aproximadamente a 20 mm por encima de la solución, mantenidas de forma que permita la libre circulación del aire tratado. Se evita cualquier contacto entre la red que contiene la muestra y la solución;
- se mantiene la exposición durante 21 semanas;
- se llevan a cabo frecuentes controles durante el ensayo para asegurarse que al menos un cristal permanece no disuelto. Se mantiene una temperatura de (55 ± 1) °C;
- se pesan las probetas cada tres semanas;
- se trazan las masas medidas en función de la duración de exposición;
- se observa el momento de nivelación de las curvas, momento en el que la condición de equilibrio de absorción se ha conseguido. Se designan los valores de equilibrio $m_{c,m}$;
- si el equilibrio no se constata después de una exposición de 21 semanas, se continua el proceso. Se repiten los pesajes en tres intervalos semanales suplementarios hasta que dos valores sucesivos sean inferiores a 0,000 2 g.

C.4.4 Se coloca la red con el material orgánico en una lanzadera. Se coloca la lanzadera dentro del horno tubular KF que está estabilizado a (200 ± 5) °C, no tomando más de 3 min.

C.4.5 Se mantiene el flujo de nitrógeno de (200 ± 20) ml/min y la temperatura del horno tubular KF a (200 ± 5) °C durante (150 ± 1) min. Se registra la curva de secado cada 15 min.

C.4.6 Se introduce el valor apropiado $(m_{c,m} - m_{o,m})$ en el calculador KF. Se lee el contenido de humedad $T_{c,m}$ en el calculador.

C.4.7 Se calcula el contenido de humedad, T_c , de la unidad de vidrio aislante de acuerdo con la siguiente ecuación:

ANEXO D
(Normativo)
ESTABLECIMIENTO DE LA CAPACIDAD NORMALIZADA DE ABSORCIÓN DE LOS DESECANTES

D.1 Generalidades

Están disponibles dos métodos para medir la capacidad normalizada de absorción de humedad.

- el método de secado a 950 °C, conveniente para el desecante a granel, con las mediciones efectuadas según el anexo B.4;
- el método Karl Fischer, conveniente para desecante incorporado en un sellante orgánico, con las mediciones efectuadas según el anexo C.4.

Cuando la capacidad normalizada de absorción de humedad está publicada o registrada de acuerdo con el capítulo D.2, puede ser utilizada en lugar de mediciones repetidas.

Los valores generalmente aceptados para desecante a granel de acuerdo con el capítulo D.3 pueden también ser utilizados en lugar de mediciones repetidas a condición de que el índice medio de infiltración de humedad I_{av} sea menor de 0,16 cuando se expresa en forma decimal o menor del 16% cuando se expresa en porcentaje.

NOTA Cuando $0,16 \leq I_{av} \leq 0,24$ ($16\% \leq I_{av} \leq 24\%$), y cuando no hay publicación o registro de acuerdo con el capítulo D.2 sobre el desecante en cuestión, se recomienda encargar a un laboratorio independiente llevar a cabo la medición de la capacidad normalizada de absorción de humedad.

Cuando el valor generalmente aceptado de acuerdo con el capítulo D.3 no está disponible o es inaplicable y cuando no existe informe o publicación alguna de acuerdo con el capítulo D.2, la capacidad normalizada de absorción de humedad debe ser medida cuando la unidad de vidrio aislante se somete al ensayo climático.

NOTA Se recomienda que un laboratorio independiente de la producción lleve a cabo la medición.

D.2 Información apropiada

Una publicación o un informe con una antigüedad no superior a nueve meses cuando:

- el fabricante del desecante declara aplicar un control de producción.

NOTA - Se recomienda que el informe sea proporcionado por un laboratorio independiente de la producción.

Una publicación o un informe con una antigüedad no superior a 30 meses cuando:

- el fabricante utiliza un sistema de control por terceros, de acuerdo a un sistema de aseguramiento de la calidad Norma Europea EN ISO 9001 (véase bibliografía [1] y [2]) y;
- los procedimientos de calidad hacen referencia a los capítulos aplicables de esta norma.

NOTA - Se recomienda que el informe sea proporcionado por un laboratorio independiente de la producción.

Una publicación o un informe emitido por el fabricante del desecante con una antigüedad no superior a 30 meses cuando:

- el fabricante utiliza un sistema de control por terceros, de acuerdo a un sistema de aseguramiento de la calidad Norma Europea EN ISO 9001, sistema de aseguramiento de la calidad y;
- los procedimientos de calidad hacen referencia a los capítulos aplicables de esta norma;
- el método de medición está verificado.

NOTA - Se recomienda que el informe sea proporcionado por un laboratorio independiente de la producción del desecante.

D.3 Valores generalmente aceptados para desecante a granel

En lugar de mediciones repetidas de la capacidad normalizada de absorción de humedad, pueden utilizarse los valores generalmente aceptados de la tabla D.1.

Tabla D.1
Valores generalmente aceptados para la capacidad normalizada de absorción de vapor de agua T_c

Desecante a granel	T_c para la aplicación del método de secado a 950 °C
Zeolito 3 A	0,20 o 20%
Zeolito 4 A	0,20 o 20%
Zeolito 10 A	0,20 o 20%
Gel de silicio microporoso	0,25 o 25%
Gel de silicio macroporoso	0,12 o 12%

D.4 Fabricación del desecante

Para los propósitos de esta parte de la norma, se permite que el fabricante del desecante determine la cantidad de desecante para los controles en su fábrica, a condición de que haya establecido una relación entre este método y los requisitos de esta norma.