

RESISTENCIA AL VAPOR DE AGUA EN MATERIALES DE ESPESOR DELGADO

Vicente Leonardo Volantino, Edgar Jorge Cornejo

División Habitabilidad Higrotérmica

Depto. de Construcciones, INTI

Av. Gral. Paz e/ Constituyentes y Albarellos

casilla de correo 157 (1650) San Martín

Tel.: 754-4141 al 44 int.500, Directo y FAX: 753-5784

RESUMEN

En este trabajo se presentan, los resultados obtenidos en la determinación de la permeancia de los materiales de pequeño espesor, a partir de la medición de la densidad de flujo de vapor de agua. Los ensayos correspondientes se efectuaron por el método de la taza (cup method), descrito en la normas ASTM E 96 e IRAM 1735. Los valores hallados para cada material, surgieron como consecuencia de efectuar el promedio de los valores obtenidos sobre las muestras ensayadas individualmente. Luego, se confeccionó una tabla, con el objeto de establecer un grado de comparación entre ellos, ya que estos materiales de construcción se utilizan habitualmente como freno o barrera de vapor.

Asimismo, se pudo establecer el valor mínimo de medición de la permeancia, en función de la precisión que posee el sistema de medición existente en nuestro laboratorio de ensayos, lo que permitió definir el límite de validez del método de determinación gravimétrico utilizado.

Adicionalmente, se realizaron ensayos sobre dos de los materiales considerados como "barrera de vapor efectiva", film de polietileno y foil de aluminio, sobre los que se practicaron orificios, con el objeto de determinar cual es su incidencia en la resistencia al pasaje del vapor de agua.

INTRODUCCION

Como es sabido, el ingreso descontrolado de agua dentro de un sistema constructivo que posee aislación térmica, es considerado el más serio factor que provoca el empeoramiento de su performance. La entrada de agua puede ser ocasionado por la difusión del vapor de agua, o por la infiltración de aire que transporta consecuentemente vapor de agua, o por la infiltración de agua que procede de la superficie exterior.

Las especificaciones referidas a los sistemas constructivos con aislación [1], que operan por debajo de la temperatura de rocío ambiente, establecen que los mismos deberían incluir una apropiada barrera de vapor. Esta puede estar separada y bien diferenciada del material aislante, o puede ser parte integrante de él. La función principal de un freno de vapor es controlar el movimiento del vapor de agua que se difunde dentro o a través de un sistema de aislación permeable. Es muy improbable que pueda utilizarse para prevenir la entrada de agua desde la superficie o las infiltraciones de aire, pero sí puede ser considerado para una segunda línea de defensa. La elección de los frenos de vapor estarán afectados por el espesor de los materiales retardantes, el substrato sobre el cual serán aplicados, la cantidad de uniones que existan, las dimensiones disponibles (largo y ancho) de los materiales en lámina, la vida útil del sistema y los procedimientos de inspección. Cada uno de

estos factores tendrán un efecto sobre la performance del sistema retardante y deberán ser considerados y evaluados por el diseñador.

Aunque ésta práctica pone convenientemente mayor énfasis en la selección del mejor freno de vapor, es reconocido que las técnicas de instalación defectuosas pueden empeorar la performance del mismo. La efectividad de la instalación o de las técnicas de aplicación en aquellos diseños que obtienen buena performance de la transmisión del vapor de agua, debe ser considerado prioritario en la selección de los materiales retardantes. De cualquier manera, resulta poco práctico establecer un valor mínimo de la transmisión del vapor de agua del material instalado, debido a que las dificultades presentadas en obra, impedirán frecuentemente alcanzar los valores inherentes al material retardante en cuestión. Esto significa que, cuando se consideran los problemas propios de instalación de los materiales retardantes en obra, existen una serie de factores que afectan su performance a la transmisión de vapor. Puede producirse algún daño cuando se hacen por ejemplo, perforaciones en ciertos puntos durante el armado del sistema constructivo. En el Handbook of Fundamentals de ASHRAE [2], se da un ejemplo del efecto que provoca la existencia de orificios en una lámina, donde la permeancia puede incrementarse del orden de ocho veces. También se menciona el efecto de las uniones en los sistemas de barrera de vapor, ya que en algunos casos puede quintuplicarse el valor de permeancia obtenido en el laboratorio, aún cuando se hayan sellado cuidadosamente las juntas. El caso extremo lo constituían las antiguas barreras de vapor que se unían mediante costura, que generaban juntas abiertas que incrementaban la permeancia efectiva total en un factor de 20.

No obstante, para determinar de manera aceptable en el laboratorio, la transmisión de vapor de agua de los materiales, es mediante la utilización del método descrito en las normas ASTM E 96 e IRAM 1735 [3]. Este ensayo provee condiciones isotérmicas sobre los materiales bajo prueba, empleando el método de la taza (cup method). En el método disecante o de campo seco (dry cup), la humedad relativa en el interior del portamuestra es de aproximadamente 0%, mientras, que en el método con agua o de campo húmedo (wet cup), la humedad relativa es de aproximadamente 100%. Tanto uno como otro método proveen resultados satisfactorios que permiten la selección de los materiales utilizados como barrera de vapor.

Uno de los proyectos de investigación del Departamento de Construcciones del INTI, es el denominado "Caracterización higrotérmica de los materiales de construcción", el que se está desarrollando a través de la División Habitabilidad. El mismo contempla la determinación de ciertas propiedades, tales como conductividad térmica, densidad aparente y transmisividad al vapor de agua de un mismo material. La determinación de la primera de las magnitudes nombradas, corresponde a una línea de trabajo con más de veinte años de trayectoria en el Instituto, para los que se cuenta con equipos de medición que responden a normas internacionales [4], [5]. La densidad aparente siempre se determinó como información complementaria de la conductividad térmica. Por su parte, los ensayos de transmisividad al vapor de agua, se comenzaron a realizar desde hace cuatro años, a partir de la instalación de un laboratorio "ad-hoc". En reuniones anteriores de ASADES, se presentaron trabajos sobre el método para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua, aplicado sobre ciertos materiales aislantes térmicos [6] y en materiales cerámicos [7]. En lo que atañe a barreras de vapor, se están realizando determinaciones sobre materiales de pequeño espesor, los que ofrecen una conveniente resistencia al pasaje de vapor de agua. Los resultados obtenidos de tales ensayos

constituyen uno de los objetivos de este trabajo. El restante se refiere a determinar la incidencia que produce la existencia de ciertos factores de instalación en obras que afectan al material retardante.

CONDICIONES DE ENSAYO

Las condiciones ambientales del laboratorio de ensayo requeridas por norma son: $(23.0 \pm 0,5)$ °C para la temperatura y $(50 \pm 2)\%$ para la humedad relativa. Para la determinación de la variación de peso de las probetas correspondientes a materiales retardantes, se requiere del concurso de una balanza de precisión que discrimine al menos ± 0.1 mg. El Laboratorio de Acondicionamiento Higrotérmico existente en la división, cumple con todos estos requisitos. El mismo posee además, un adquiredor de los datos que permite conocer la evolución de las variables ambientales durante todo el tiempo que necesita el ensayo. Se completa su instalación con un sector de acondicionamiento de las probetas y otro sector para la preparación y el montaje de las mismas.

PREPARACION

Los recipientes portamuestras utilizados son de forma cilíndrica con fondo ciego y solapa superior (Figura 1). Están contruidos mediante un matizado, de chapa de aluminio de una sola pieza; sus dimensiones son 130 mm. de diámetro interior y 9 mm. de altura, mientras que la solapa superior tiene un diámetro exterior de 140 mm. El sistema de montaje se completa con anillos circulares fabricados en chapa de aluminio de 4 mm. de espesor, siendo sus diámetros interior y exterior de 130 y 140 mm. respectivamente, de manera tal que coincidan perfectamente con las dimensiones del portamuestra.

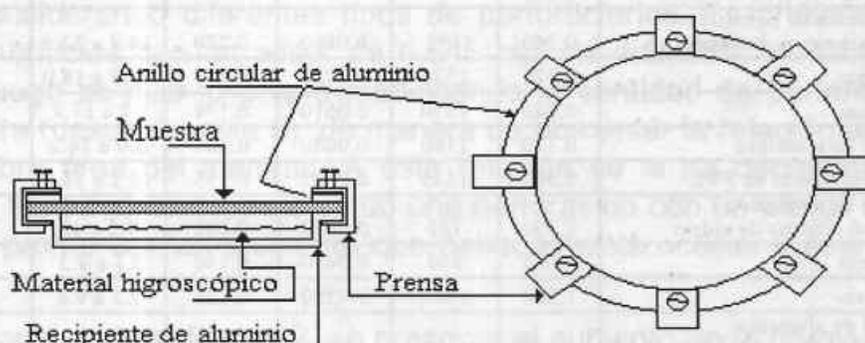


Figura 1. Corte transversal y vista superior del sistema bajo ensayo

El material higroscópico a utilizar es de una granulometría comprendida entre 2,36 mm y 600 μm y con capacidad de absorber vapor de agua, para lo cual debe ser acondicionado previamente a 90 °C durante 48 hs. Además, cuando el material higroscópico es de color azul, este tono deberá ser intenso para asegurar la capacidad de absorción requerida. Se deposita una cierta cantidad de material higroscópico en la parte inferior del recipiente, de manera tal que quede un espacio de aire de aproximadamente 5 mm entre la cara inferior de la muestra y la superficie libre del material higroscópico. Luego se monta la probeta sobre el portamuestra de manera tal de cubrir el material higroscópico y sobre la probeta se coloca el anillo circular de aluminio. Para asegurar la hermeticidad del sistema portamuestra-probeta-anillo, se utilizan ocho presas diminutas que se hallan distribuidas uniformemente sobre el diámetro medio del anillo. Finalmente, se sella con una cinta adhesiva de papel

aluminizado que permite reforzar el cierre lateral del conjunto. Esta operación se realiza para 5 (cinco) probetas similares simultáneamente.

MEDICION

Se efectuaron mediciones diarias, cada 24 horas y con una tolerancia de ± 15 minutos, debiéndose calibrar la balanza previo al pesaje del conjunto de probetas. En la Tabla 1 se muestran los valores correspondientes al pesaje diario de una de las probetas a título de ejemplo (corresponde a papel Kraft con film de aluminio y adhesivo acuoso).

Día	0	1	2	3	4	5
Peso (g)	124.2120	124.2485	124.2827	124.3188	124.3547	124.3901
Dif. peso(g)	0.0000	0.0365	0.0342	0.0361	0.0359	0.0354

Día	6	7	8	9	10
Peso (g)	124.4262	124.4616	124.4963	124.5309	124.5659
Dif. peso(g)	0.0361	0.0354	0.0347	0.0346	0.0350

Tabla 1

RESULTADOS

MATERIALES Y CARACTERISTICAS	e mm	ρ kg/m ³	G g/d	WVT g/m ² h	Δ (x 10 ⁻² , g/m ² hkPa)		error %
					Rango	Promedio	
Membrana no tejida de polietileno	0.117	494	44.920	29.320	2180 a 3120	2920	3.0
Pintura asfáltica en solución acuosa*	0.140	-	-	-	-	862	3.0
Cartón bituminoso	0.409	879	0.2300	0.714	41.7 a 56	50	2.7
Adhesivo vegetal de doble contacto*	0.090	-	-	-	-	38.2	2.7
Pintura asfáltica en solución solvente*	0.230	-	-	-	-	35.3	3.0
Papel Kraft c/película de polietileno y adhesivo bituminoso en bandas	0.246	752	0.0860	0.270	14.7 a 22.3	19	2.0
Polietileno 0.17mm	0.171	1325	0.0770	0.245	16.2 a 18.0	17.2	2.2
Polietileno 0.24mm	0.240	1350	0.0610	0.194	9.7 a 17.4	13.6	2.4
Papel Kraft c/foil de aluminio	0.140	1160	0.0480	0.154	8.0 a 14.2	11	3.7
Tejido poliéster, recubierto en PVC	0.500	1145	0.2323	0.155	10.2 a 11.9	10.7	3.9
Papel Kraft c/foil de aluminio y adhesivo acuoso c/fibras de vidrio	0.350	701	0.0440	0.143	7.5 a 13	10.2	3.7
Polietileno 0.08mm	0.083	990	0.0480	0.130	8.1 a 9.3	8.7	2.4
Membrana Plástica	1.300	1400	0.0390	0.124	7.5 a 9.8	8.5	5.3
Papel Kraft c/foil de aluminio y adhesivo acuoso	0.260	1058	0.0250	0.083	5.3 a 7.8	5.96	2.8
Polietileno expandido	2.000	43	0.0240	0.049	3.3 a 3.6	3.5	2.9
Papel Kraft c/foil de aluminio y adhesivo de contacto	0.300	1356	0.0150	0.048	2.4 a 4.2	3.4	2.2
Polietileno expandido	5.000	29	0.0250	0.052	3.0 a 4.5	3.3	3.3
Papel Kraft c/foil de aluminio y adhesivo bituminoso c/fibras de vidrio	0.620	836	0.0054	0.018	0.8 a 1.8	1.2	4.7
Membrana asfáltica con foil de aluminio transitable	3.500	1031	0.0031	0.010	0.3 a 1.4	0.7	4.9
Foil de aluminio	0.120	1835	0.0013	0.004	0.2 a 0.4	0.3	2.0

e =Espesor, G =Flujo de vapor medio, WVT =Densidad del flujo de vapor, (*) =Determinado por aplicación sobre un sustrato

Tabla 2

La elección de la balanza para la determinación de la variación de peso en materiales retardantes al vapor de agua, se basó en dos condiciones definidas, la capacidad, que debería ser la necesaria para cubrir el peso total del conjunto (portamuestra-material higroscópico-probeta-anillo-prensas de cierre-sellador) y la precisión mínima requerida. La capacidad requerida resultó ser de 200 gramos, por lo que la mínima precisión encontrada en las balanzas analíticas digital de este ran-

go fue de 0.1 mg. Este tipo de instrumental permite asegurar, de esta manera, una correcta apreciación de peso de ± 1 mg y por lo tanto, se puede definir como límite inferior para nuestro sistema de medición de la permeancia al vapor de agua a $0.22 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa}$. En las especificaciones prácticas para retardantes al vapor [1], son definidos como tales, a aquellos materiales o sistemas que retardan adecuadamente la transmisión al vapor de agua cuando se hallan bajo ciertas condiciones específicas; para los fines prácticos, se asume que la permeancia de un material retardante utilizado en edificios residenciales no debe exceder del valor de 1 perm (siendo 1 perm = 1grains/ft²·h·mmHg = 0.205 g/m²·h·kPa). Por su parte, la Norma IRAM 11625 [8], define como barrera de vapor a todo material cuya permeancia no supere un valor de 0.75 g/m²·h·kPa.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para cada tipo de variante ensayada, los que se han ordenado en sentido decreciente de la permeancia como puede observarse, no todos los materiales ensayados cumplen con los requisitos normativos.

FACTORES QUE AFECTAN LA PERMEANCIA EFECTIVA DE UN MATERIAL

Como se indicara precedentemente, uno de los factores que modifican el valor de permeancia de un material retardante "instalado", es el causado con posibles perforaciones efectuadas durante la operación de armado del sistema constructivo. Para poder determinar cual es el orden de incidencia que tal acción puede ejercer sobre tales materiales, se efectuaron ensayos sobre dos de ellos, foil de aluminio y film de polietileno, considerados en la práctica como "barreras de vapor efectivas".

Para el primero de los nombrados, se realizaron determinaciones de permeancia considerando diferentes tipos de perforaciones. En primera instancia se practicaron orificios con un alfiler de 0.645 mm de diámetro, a razón de uno por muestra. Luego se hizo lo propio modificando la cantidad de perforaciones sobre cada muestra (desde 2 hasta 5), de manera de aumentar la relación área de la perforación sobre área del material. A ésta relación se la ha denominado factor de perforación F_p . Finalmente, se efectuó una perforación con un clavo (diámetro de 4 mm.), para probar con un elemento que habitualmente ocasiona este tipo de daño en obra.

En el gráfico de la Figura 2, se presenta el aumento de la permeancia efectiva en función del incremento del factor de perforación. En el caso del orificio hecho con el clavo, la permeancia efectiva se modificó en 25 veces, pero cabe aclarar, que en una situación real este incremento va a ser menor, ya que la existencia de perforaciones en el material ocurren sobre distancias que determinan también un factor F_p muy inferior. Para tener noción de esto, si se estima un orificio efectuado cada 30 centímetros en una dirección y cada 60 centímetros en la otra, perpendicular a ella, en un metro cuadrado de material pueden existir alrededor de 8 orificios, correspondiéndole un factor F_p de aproximadamente 10×10^{-5} . Para este valor de F_p se obtiene de la Figura 2 una permeancia de 9.1×10^{-2} , es decir un aumento del 15 veces, respecto del material original.

PERMEANCIA VS. AREA DEL ORIFICIO

MATERIAL: FOIL DE ALUMINIO

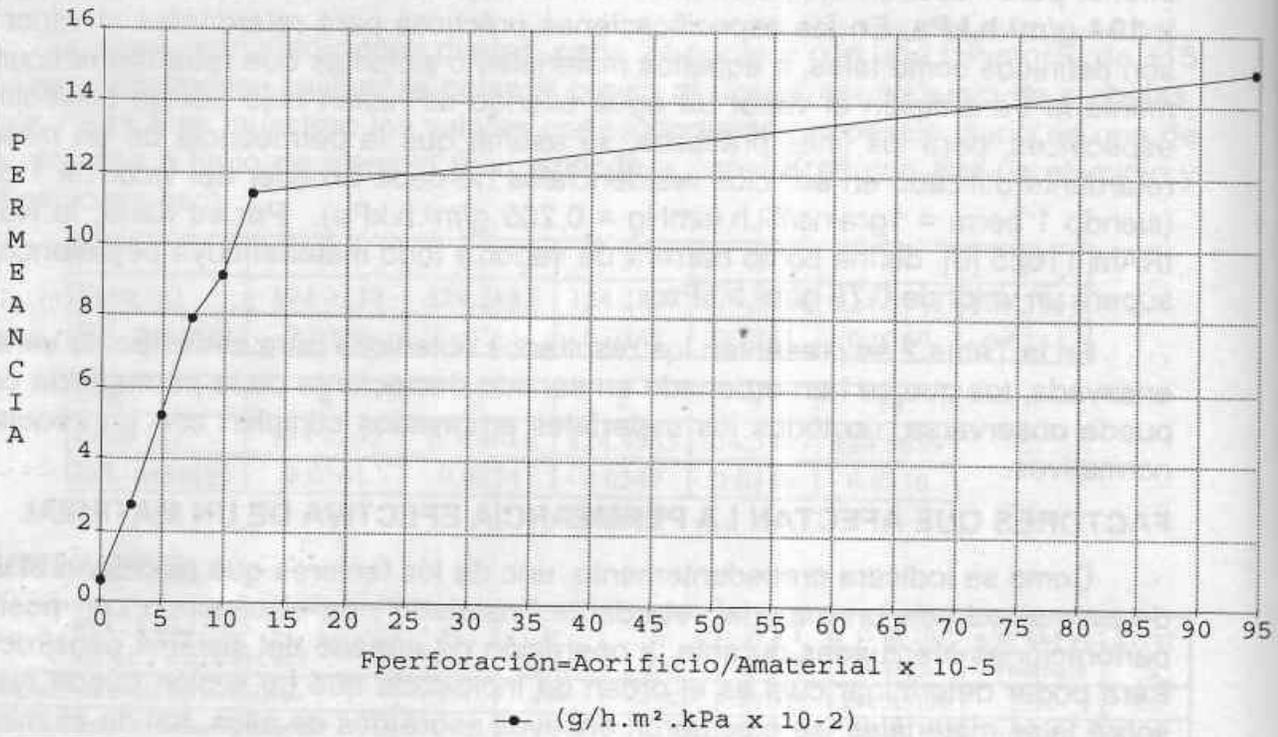


Figura 2

PERDIDA de RESISTENCIA al VAPOR de AGUA

MATERIAL: POLIETILENO PERFORADO

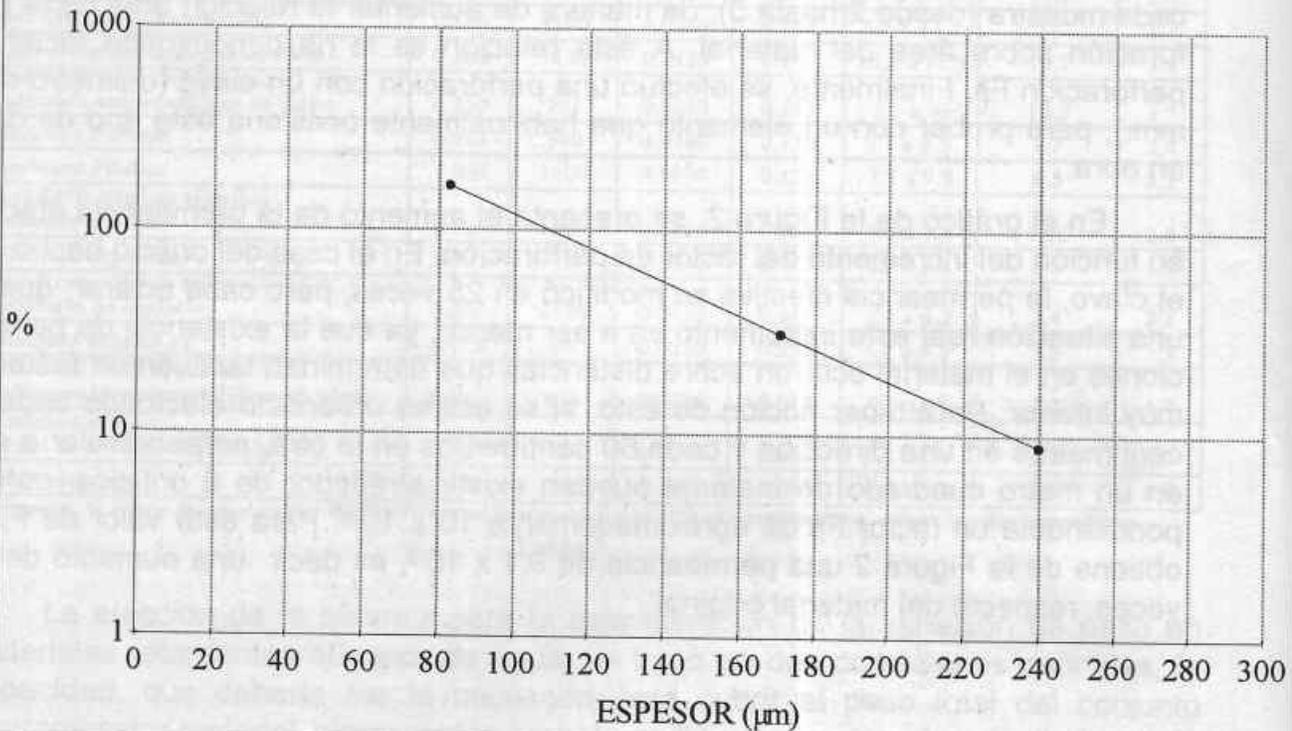


Figura 3

Para el caso del polietileno la experiencia que se realizó fue distinta. Se perforó con un mismo elemento, un clavo de 4 mm. de diámetro, a muestras de distinto espesor (83, 170 y 240 micrones). Para cada variante se determinó la pérdida porcentual que sufría la resistencia al vapor de agua. En la Figura 3 se representan los resultados obtenidos en la experiencia. Se observa que la incidencia de la perforación es más notoria para materiales de menor espesor, como intuitivamente podría suponerse. La caída de la resistencia varía en forma cuasi-exponencial con el aumento del espesor del film de polietileno.

Una tercera prueba efectuada, corresponde a la incidencia que provoca la existencia de uniones en un material utilizado como barrera de vapor. Para ello se experimentó con el foil de aluminio, ensayándose para los casos en que aparecen 1 y 2 uniones dentro del área de la probeta y se comparó con el material sin junta alguna.

Para el caso de 1 unión, la permeancia resultó ser 0.6×10^{-2} y para 2 uniones, 0.8×10^{-2} , mientras que para el foil de aluminio sin juntas la permeancia fue de $0.3 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa}$, lo que indica una mínima incidencia sobre este tipo de material.

Sin embargo, otro resultado se obtuvo para una membrana plástica, la que se ensayó entera y con una junta efectuada mediante una técnica de calentamiento. En este caso, la permeancia aumentó del orden del 50 %, desde un valor de 8.5×10^{-2} a otro de $12.8 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa}$, para una área de ensayo de 0.013 m^2 .

MATERIALES MULTICELULARES

Para los materiales de este tipo, debe hacerse una consideración extra, que surge como consecuencia de la conformación de su estructura interna. Este es el caso de la espuma de polietileno, que presenta una cantidad importante de celdas o intersticios de aire encerrados por una película muy fina del material (del orden de $10 \mu\text{m}$), mientras que la terminación en ambas caras es de una película algo mayor ($25 \mu\text{m}$).

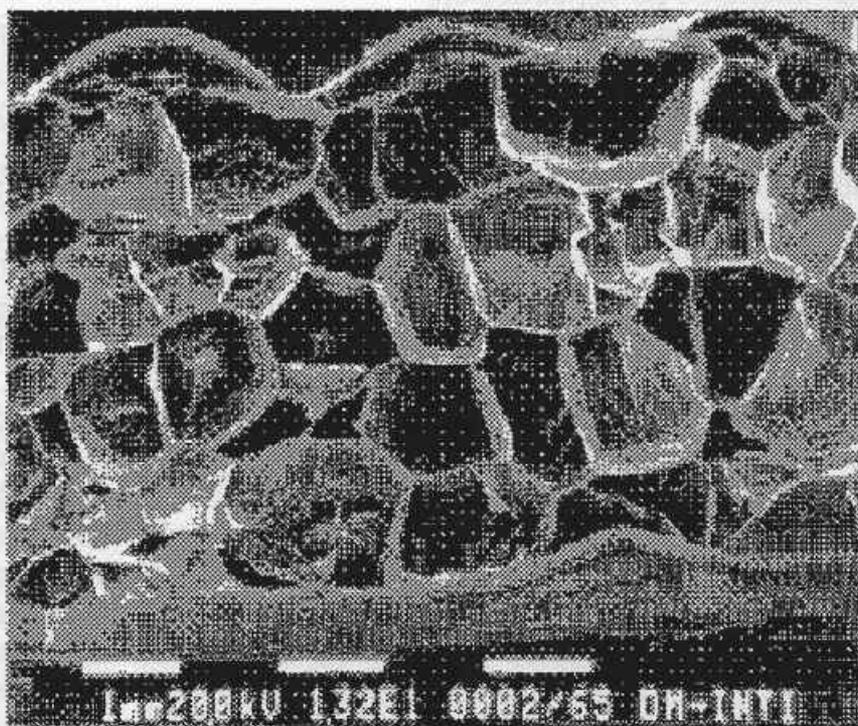


Foto 1 : Muestra observada con microscopio electrónico

En la Foto 1, se presenta el corte transversal de una muestra observado mediante un microscopio electrónico. Los datos que figuran al pie de la fotomicrografía indican la dimensión que representa el segmento blanco (escala), la tensión de trabajo para la exposición, la magnificación expresada en potencia de 10 y el número identificador.

Puede deducirse, viendo la Foto1, que la transmisión al vapor de agua de estos materiales, resulta un fenómeno complejo de evaluar teóricamente. Por lo tanto, para simplificar su resolución, se analizaron las dos situaciones extremas que se presentan. Una corresponde al camino del flujo de vapor que internamente recorre circulando por las distintas películas del material que encierran a las celdas; la otra, es la que atraviesa los distintos intersticios de aire ubicados entre las dos superficies. La primera ofrece la mayor resistencia y la segunda, la menor. Por analogía con un circuito eléctrico que posee dos resistencias en paralelo, la resistencia resultante será menor que la de menor valor. Es decir, que la permeancia resultante, será mayor que la permeancia parcial de mayor valor.

Para el primer camino analizado (trayectoria por polietileno), la permeancia estimada por cálculo es de 3.3×10^{-4} g/m².h.kPa; mientras que para el segundo camino (trayectoria que atraviesa 6 capas de polietileno y 5 celdas de aire), es de 2×10^{-2} g/m².h.kPa. La permeancia determinada mediante ensayo resultó ser 3.5×10^{-2} g/m².h.kPa, esto es, superior a la mayor calculada.

REFERENCIAS

- [1] ASTM C 755 / 90. "Standard Practice for Selection of Vapor Retarders for Thermal Insulation".
- [2] ASHRAE. Handbook of Fundamentals. Chapter 20 "Moisture in Building Construction".
- [3] ASTM E-96, "Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Thicks Materials" / Norma IRAM 1735. Método de ensayo de la permeabilidad al vapor de agua de materiales de construcción.
- [4] ISO 8302 Thermal insulation. Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Guarded hot plate apparatus. / ASTM C 177 - 85 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by means of the Guarded Hot Plate Apparatus. / IRAM 11559. Determinación de la resistencia térmica y propiedades conexas en régimen estacionario. Método de la placa caliente con guarda.
- [5] ISO 8301 Thermal insulation. Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Heat flow meter apparatus. /ASTM C 518 - 85 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- [6] Desarrollo e implementación de un sistema para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los materiales. V. Volantino, J. Cornejo, E. López, V. Moruga, L. Rayson, M. Messing. 15ta. R.T.ASADES, Catamarca 1992.
- [7] Medición del flujo al vapor de agua en materiales cerámicos. V. Volantino, J. Cornejo, E. López, V. Moruga, L. Rayson. 17ta. R.T.ASADES, Rosario 1994.
- [8] IRAM 11625. Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua, superficial e intersticial en muros y techos de edificios.