



**III ENCONTRO NACIONAL
I ENCONTRO LATINO-AMERICANO**

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

**DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA
DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION**

Vicente L. Volantino, E. Jorge Cornejo.

División Habitabilidad Higrotérmica, Depto de Construcciones, INTI
Casilla de correo 157 (1650) San Martín Prov. Buenos Aires ARGENTINA
Tel.: 754-4141 al 45 int. 500, Directo y Fax: 753-5784

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar los valores de permeabilidad al vapor de agua de algunos materiales de construcción, que han sido determinados en laboratorios propios y que responden a la metodología de ensayo establecida en normas internacionales (ASTM, UNI, DIN). En base a estos antecedentes y a la experiencia efectuada en el laboratorio, se participó activamente en el organismo de normalización argentino, lo que posibilitó la confección de una norma IRAM específica del método de ensayo. Los materiales que se han ensayado son principalmente aislantes térmicos, ladrillos cerámicos, revoque aislante y pinturas asfálticas.

ABSTRACT

The objective of this paper is to introduce information about water vapour permeability values of some construction materials. They have been determined in our laboratories and correspond to the methodology of testing established in international standards (ASTM, UNI, DIN). In order to these precedings and the experience obtained in laboratories, we have actively participated in the argentine standard institution. It has made possible the preparation of a IRAM specific test method standard. Most of the materials which have been testing are thermal insulating, brick, lightweight plaster and asphalt paint.

PALABRAS-LLAVE

Condensación; vapor de agua; permeabilidad; ensayos.

INTRODUCCION

Es sabido que resulta preocupante el tema relacionado con la condensación de humedad en viviendas y edificios. En la República Argentina existe una gran extensión (más del 50% de su superficie) en la que se presentan características de climas fríos, siendo esta patología, la que más habitualmente se manifiesta en la construcción para estas zonas.

Los motivos que la originan se pueden considerar provenientes de algunas de las causas que se mencionan precedentemente o una combinación de las mismas, como por ejemplo, inexistencia ó disminución no justificada técnicamente de la aislación térmica en el espesor de las paredes, la incorporación de nuevos materiales de los que no se poseen datos o la información no ha sido verificada experimentalmente, la utilización de ciertos tipos de calefacción inapropiadas, la falta de ventilación, etc.

En lo que atañe a los materiales empleados en la industria de la construcción se deben conocer sus propiedades higrotérmicas con precisión, para poder efectuar en la etapa de diseño los cálculos de riesgos de condensación con cierto margen de confiabilidad.

Existen tablas de permeabilidad al vapor de agua de materiales de construcción donde en la mayoría de los casos se establece un rango bastante amplio, no especificándose algunos parámetros físicos asociados con el material como ser la porosidad, la densidad y la absorción, que influyen sustancialmente sobre el valor de permeabilidad.

Se considera necesario contar con valores medidos, pues la extrapolación de tablas pueden llevar a definir resultados que distan de la realidad, como en algunos casos que reflejen la existencia de condensación intersticial y/o superficial, cuando en la práctica no se verifica o viceversa.

Se ha encarado en la División Habitabilidad del Departamento de Construcciones del INTI , un proyecto consistente en la caracterización higrotérmica de los materiales de construcción , con el objeto de tener un panorama más amplio sobre la permeabilidad al vapor de agua.

En una primera etapa, se midieron los materiales aislantes térmicos más utilizados a partir de la aplicación de un método de determinación normalizado. Posteriormente se hicieron determinaciones sobre materiales cerámicos y se analizó la incidencia de la cámara de aire en el fenómeno de transmisión de vapor.

METODO DE ENSAYO

Descripción. El mismo consiste en colocar la probeta (placa plana) del material a ensayar sobre un recipiente que contiene una sustancia higroscópica o una solución acuosa de una superficie química adecuada. La acción de esta en el recipiente, mantiene constante en el tiempo la presión parcial de vapor de agua.

Se coloca el conjunto en un ambiente donde tanto la temperatura como la presión parcial de vapor de agua se mantienen controladas y constantes en el tiempo. El recipiente se encuentra en un ambiente donde la humedad relativa es constante y diferente de la existente en su interior, con el objeto de provocar un flujo de vapor de agua que atraviese perpendicularmente a la superficie de la probeta.

Se efectúan pesadas periódicas del conjunto (el recipiente, la sustancia contenida en él y la probeta bajo estudio) con el fin de determinar la masa de vapor que ha atravesado la probeta en régimen estacionario. Esta cantidad de vapor corresponde a una variación constante de la masa por unidad de tiempo de todo el sistema.

La permeancia del vapor de agua se determina a partir de la relación entre la densidad de flujo de vapor a través de la probeta y la diferencia de presiones parciales de vapor de agua en ambas superficies de la probeta, sin dejar de considerar la resistencia a la difusión que presenta

el aire en reposo en el interior del recipiente. La permeabilidad al vapor de agua se obtiene como el producto de la permeancia por el espesor medio de la probeta.

Laboratorio de ensayo. Las condiciones de ensayo requeridas por norma tanto en temperatura ($23^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), como en humedad relativa ($50\%\pm 2\%$, para campo seco), se consiguen en el Laboratorio de Acondicionamiento Higrotérmico existente en la división. El mismo consta de un sector de pesaje, con distintos tipos de capacidad de balanzas, un sector de acondicionamiento de las probetas bajo ensayo y un sector de preparación de probetas.

Para el análisis posterior de los resultados, se cuenta con un adquisidor de los datos ambientales, que permite conocer la evolución de los mismos durante todo el proceso.

Probeta de ensayo. El recipiente de ensayo está construido de chapa de hierro galvanizado, con soldadura de estaño de manera que sea resistente a la corrosión e impermeable al vapor de agua y de tales dimensiones que pueda contener una probeta de 0.28m por 0.28m.

Las probetas deben presentar las caras lo más planas y paralelas posibles a fin de minimizar el error en la determinación del espesor. Posteriormente se efectuó la pesada correspondiente para la determinación de su densidad.

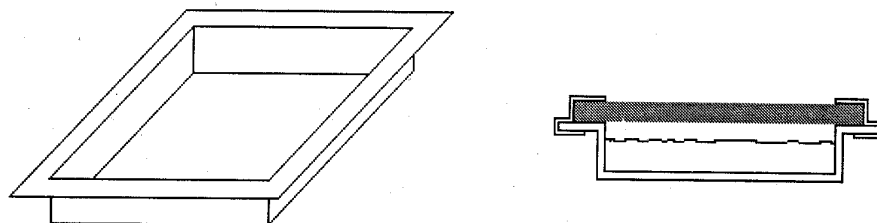


Figura 1. Recipiente de ensayo y montaje de probeta.

ANALISIS TEORICO

Se efectuaron mediciones diarias (cada 24 hs.) 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.

Tabla 1.

| | | | | | | | |
|---------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Día | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Peso (g) | 1929.6 | 1930.8 | 1932.3 | 1933.8 | 1935.2 | 1936.4 | 1937.5 |
| Dif. peso(g) | 0.0 | 1.2 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 |
| Día | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Peso (g) | 1938.6 | 1939.7 | 1940.8 | 1941.8 | 1942.9 | 1944.0 | 1945.1 |
| Dif. peso(g) | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |

El flujo de vapor que atraviesa la probeta en régimen estacionario se determina por interpolación gráfica y numérica. Mediante la interpolación gráfica se obtiene la variación de la masa en función del tiempo. Cuando se puede interpolar adecuadamente una recta, sobre los puntos determinados experimentalmente, se admite que el proceso de difusión de vapor alcanzó el régimen estacionario y la pendiente de esa recta representa el flujo de vapor. La

densidad de flujo de vapor g se calcula mediante la relación entre el flujo de vapor (gramos por segundo) por la superficie libre de ensayo en metros cuadrados.

$$g = \frac{G}{A} \quad (1)$$

La permeancia al vapor de agua se calcula mediante la siguiente expresión

$$\Delta = \frac{l}{\left(\frac{P_{vs} * (U_1 - U_2)}{g} - \frac{h_a}{\delta_a} \right)} \quad (2)$$

Donde:

Δ : es la permeancia al vapor de agua, en $g/m^2 \cdot h \cdot kPa$

P_{vs} : la presión de saturación del vapor a la temperatura de ensayo [kPa]

U_1 y U_2 : las humedades relativas a ambos lados de la probetas de ensayo en %

h_a : la distancia media, dentro del recipiente de ensayo entre la probeta y la superficie superior de la sustancia higroscópica

δ_a : la permeabilidad del vapor de agua del aire en reposo que se determina según :

$$\delta_a = \frac{10^6 * D}{R_d * T} \quad (3)$$

siendo:

R_d : la constante característica del vapor (igual a 462 Nm/kg.K)

T : la temperatura absoluta del sistema (K)

D : el coeficiente del vapor de agua en el aire en reposo (m^2/h), el que se calcula a través de:

$$D = 0.083 * \frac{P_o}{P} * \left(\frac{T}{273} \right)^{1.81} \quad (4)$$

con P_o presión atmosférica normal y P presión del aire en [hPa]

Finalmente la permeabilidad al vapor de agua se determina como:

$$\delta = \Delta * e \quad (5)$$

donde e es el espesor medio en metros

RESULTADOS

Materiales de construcción. Los resultados promedios obtenidos para cada material ensayado son los que se muestran en la Tabla 2. Los valores de la conductividad térmica se obtuvieron utilizando equipos que responden a métodos de ensayo normalizados, mediante el de placa caliente con guarda (ASTM C177) o el medidor de flujo de calor (ASTM C518), según el tipo de material ensayado.

Tabla 2

| MATERIALES Y CARACTERISTICAS | Densidad kg/m ³ | Conductividad Térmica W/m.K | Flujo de vapor Medio g/d | Permeancia g/m ² hkPa | Permeabilidad al vapor de agua g/mhkPa |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Poliestireno expandido | 17.6 | 0.036 | 1.760 | 0.750 | 1.50E-02 |
| Poliuretano rigido | 36.4 | 0.018 | 0.690 | 0.318 | 6.37E-03 |
| Poliestireno espumado | 41.9 | 0.033 | 0.590 | 0.286 | 7.45E-03 |
| Lana de vidrio | 141.7 | 0.033 | 15.650 | 8.625 | 1.72E-01 |
| Lana de vidrio c/foil aluminio | 96.0 | 0.033 | 0.030 | 0.072 | 1.80E-03 |
| Lana mineral | 309.8 | 0.042 | 24.300 | 15.179 | 3.79E-01 |
| Aglomerado Ureico | 656.0 | 0.110 | 2.630 | 1.190 | 2.38E-02 |
| Espuma de polietileno | 29.0 | 0.048 | 0.020 | 0.033 | 1.80E-04 |
| Revoque de perlita | 598.0 | 0.100 | 0.610 | 0.270 | 5.20E-03 |
| Ladrillo ceramico macizo | 1400.0 | - | 1.040 | 1.740 | 7.70E-02 |
| Cerámico proc. ladr. hueco | 1700.0 | - | 1.340 | 0.630 | 7.30E-03 |
| Lona plástica | 1145.0 | - | 0.260 | 0.107 | 5.36E-05 |
| Guata | 10.0 | 0.055 | 18.200 | 13.740 | 4.10E-01 |

Elementos huecos. Para analizar como se comporta un espacio de aire al fenómeno de transferencia de vapor de agua, se utilizaron probetas de material cerámico procedentes de bloques huecos, seleccionándose a aquellas que presentaban densidades similares.

El montaje de la probeta es similar al descrito anteriormente, en una primera parte, es decir, una vez montada la primera probeta se coloca en la parte superior unos separadores de aluminio en la parte perimetral cuyas dimensiones delimitan una superficie libre igual a la superficie expuesta de la probeta, habiéndose utilizado de diferentes alturas (1, 2 y 4cm.) para los distintos espesores de cámara de aire propuestos. Luego se coloca la 2^o muestra conformando la cámara de aire y se termina sellando con cinta de papel aluminizado como en todos los casos. También se ensayaron probetas con dos cámaras de aire de 1cm. cada una.

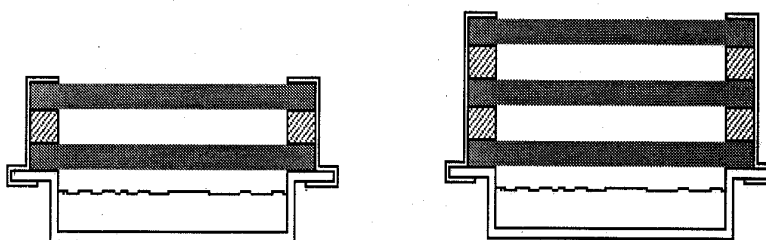


Figura 2. Montaje de probetas compuestas.

Los resultados que se obtuvieron para estos casos son los siguientes:

Conjunto de dos capas de material cerámico separadas por una cámara de aire de distintos espesores (h) :

Tabla 3

| Espesor (h) (m) | Permeancia al vapor de agua (g/m ² .h.kPa) | Resistencia al vapor de agua (m ² .h.kPa/g) |
|--------------------|--|---|
| 0.01 | 3.5 a 4.6 x 10 ⁻¹ | 2.2 a 2.9 |
| 0.02 | 3.8 a 4.2 x 10 ⁻¹ | 2.4 a 2.7 |
| 0.04 | 3.5 a 4.6 x 10 ⁻¹ | 2.2 a 2.9 |

Conjunto de tres capas de material cerámico con dos cámaras de aire de 1cm. de espesor cada una:

Permeancia al vapor de agua= 2.5 a 3.0 x10⁻¹ g/m²hkPa Resistencia =3.4 a 4.0m².h.kPa/g

Pinturas. Como trabajo adicional, se presenta una experiencia realizada sobre dos tipos de pintura asfáltica aplicadas sobre un sustrato de poliestireno expandido, con el fin de obtener comparativamente sus comportamientos al pasaje del vapor de agua.

Para ello, se hicieron las mismas determinaciones que las explicadas precedentemente, sobre el material base (poliestireno expandido) y sobre los dos conjuntos, el primero constituido por una capa de pintura asfáltica disuelta en agua aplicada sobre el sustrato y el segundo, por una capa de pintura asfáltica disuelta en solvente también aplicada sobre el mismo sustrato. Una vez que se hallaron los valores de permeabilidad al vapor de agua de cada conjunto y del sustrato, se obtuvo analíticamente los valores correspondientes de cada pintura, siguiendo las pautas establecidas en la normativa, mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$R_{vt} = \frac{e_1 + e_2}{\delta_{12}} = \frac{e_1}{\delta_1} + \frac{e_2}{\delta_2} \quad (6)$$

donde R_{vt} es la resistencia total al vapor de agua del conjunto, δ_1 , δ_2 y δ_{12} las permeabilidades al vapor de agua de la pintura, del sustrato y del conjunto, respectivamente, mientras que e_1 y e_2 son los espesores correspondientes a los dos primeros.

Los espesores se pudieron determinar utilizando un microscopio óptico Leitz que posee hasta 1000 aumentos.

De esta manera, se obtuvieron los siguientes resultados para las pinturas asfálticas: 1.3E-3g/m.h.kPa para la disuelta en agua y 8E-5g/m.h.kPa para la disuelta en solvente.

REFERENCIAS

1. ASTM C177 e ISO 8302. Thermal insulation. Determination of steady-state and thermal resistance and related properties. Guarded hot plate apparatus.
2. ASTM C518 e ISO 8301. Thermal insulation. Determination of steady-state and thermal resistance and related properties. Heat flow meter apparatus.
3. ASTM E96. Standard test methods for water vapour transmission of materials.
4. DIN 52615. Testing of thermal insulating materials. Determination of water vapour permeability of construction and insulating materials.
5. Norma IRAM 1735. Método de ensayo de la permeabilidad al vapor de agua de materiales de construcción.
6. UNI 9233. Determinazione della proprietà di trasmissione del vapore acqueo di materiali da costruzione ad isolanti termici.
7. VOLANTINO, V., CORNEJO, J., LOPEZ, E., MORUGA, V., MESSING, M., Proyecto y ejecución de un laboratorio de acondicionamiento higrotérmico. *Actas de 15ta. R.T. ASADES*, Catamarca, 1992. p 191-194
8. VOLANTINO, V., CORNEJO, J., LOPEZ, E., MORUGA, V., RAYSON, L., Desarrollo e implementación de un sistema para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los materiales. *Actas de 15ta. R.T. ASADES*, Catamarca, 1992. p.201-208
9. VOLANTINO, V., CORNEJO, J., LOPEZ, E., MORUGA, V., RAYSON, L., Medición del flujo al vapor de agua en materiales cerámicos. *Actas de 17ta. R.T. ASADES*, Rosario, 1994.(en impresión).