

MEDICION DEL FLUJO AL VAPOR DE AGUA EN MATERIALES CERAMICOS

Vicente L. Volantino, Jorge E. Cornejo.
Eduardo N. López, José V. Moruga, Luis O. Rayson

División Habitabilidad Higrotérmica
Depto de Construcciones, INTI
Av. Gral Paz e/ Constituyentes y Albarelos
casilla de correo 157 (1650) San Martín
Tel.: 754-4141 al 45 int. 500, Directo y Fax: 753-5784

1.- RESUMEN

El objetivo de este trabajo es tratar de determinar la permeabilidad al vapor de agua de materiales cerámicos, midiendo la densidad de flujo de vapor de agua. Considerando que son muy utilizados en la construcción y cual es la influencia de la cámara de aire en la permeancia del conjunto

2.- INTRODUCCION

Es sabido que resulta preocupante el tema relacionado con la condensación de humedad en viviendas y edificios.

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, una disminución no justificada técnicamente 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, 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.

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 [1] a partir de la aplicación de un método de determinación normalizado [2].

Es objeto de este trabajo presentar las mediciones en materiales cerámicos, adaptando la muestra procedente de un bloque hueco, donde fueron eliminados los nervios o separadores, y tomando la forma de una baldosa. Se experimentó con una cantidad de aproximadamente 40 muestras, las que posteriormente fueron utilizadas para analizar la incidencia de la cámara de aire en el proceso de transmisión de vapor.

3.-LABORATORIO DE ENSAYO

Las condiciones de ensayo requeridas por norma tanto en temperatura ($23\pm 0,5C$), como en humedad relativa ($50\%\pm 2\%$, para campo seco), se consiguen en el Laboratorio de Acondicionamiento Higrotérmico, existente en la división y que fuese oportunamente presentado en este ámbito [3]. 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.

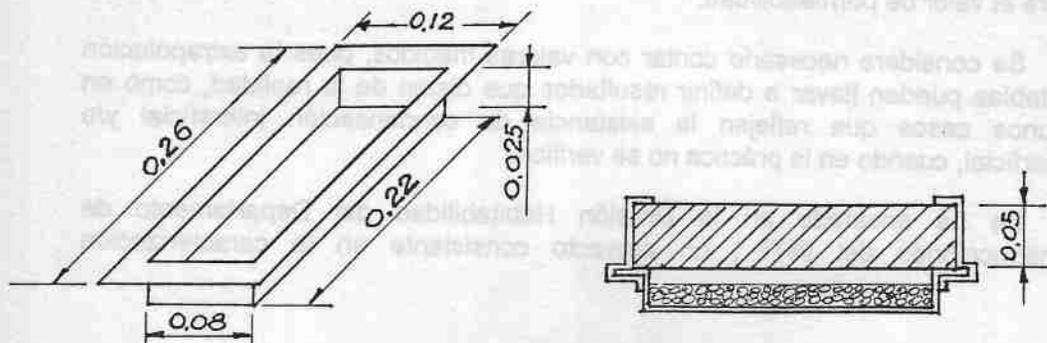
4.-MATERIALES ENSAYADOS

4.1.-LADRILLOS CERAMICOS MACIZOS:

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 un ladrillo macizo estándar.

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



MONTAJE:

El material higroscópico a utilizar debe tener 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.

Cuando se utiliza material higroscópico 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 0,01 m 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, luego se sella con una cinta adhesiva de papel aluminizado que permita fijar una superficie de penetración del flujo de vapor igual a la superficie libre del material higroscópico.

Esta operación se realiza para 5 (cinco) probetas similares simultáneamente

Se debe tener cuidado que las probetas no contengan ningún tipo de material que pueda desprenderse fácilmente, lo que provocaría un error en las mediciones posteriores.

Estas consideraciones son válidas para el montaje de las distintas probetas presentadas en este trabajo.

MEDICION:

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.

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

Tabla 1

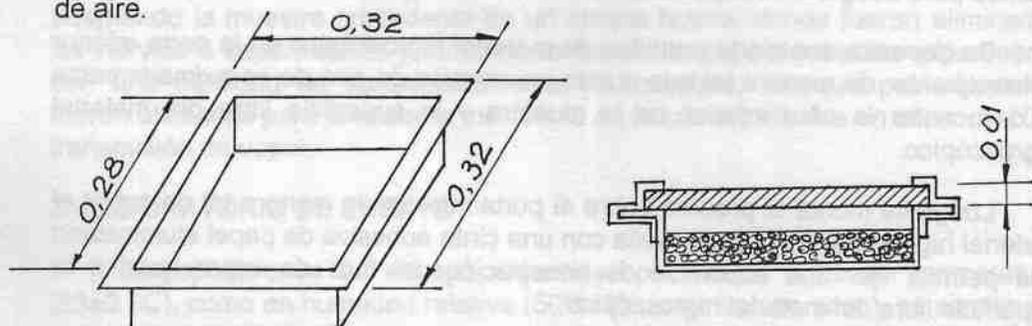
4.2.-MATERIAL PROCEDENTE DE BLOQUE CERAMICO HUECO

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 0,28 m por 0,28 m.

Con respecto a las probetas utilizadas para este caso, valen las mismas consideraciones mencionadas anteriormente, por lo tanto fue necesario realizar un alisado de las superficies de exposición, ya que el material presentaba una rugosidad considerable en los encuentros con los nervios divisorios de la cámara de aire.



Se pesaron las probetas y se midieron sus dimensiones para la determinación de la densidad.

MEDICION

El método utilizado es el mismo que el descrito para las mediciones anteriores y es válido para cualquier tipo de probeta a ensayar.

Se midieron 40 muestras para tener una validación estadística, que permitirá determinar un rango de valores de permeabilidad.

En la tabla 2 se muestran los valores correspondientes al pesaje diario de una de las probetas a título de ejemplo.

Día	0	1	2	3	4
Peso (g)	2432.8	2434.2	2436.0	2437.5	2439.4
Dif. peso (g)	0.0	1.4	1.8	1.5	1.9

Día	5	6	7	8	9	10
Peso (g)	2441.0	2442.5	2444.0	2445.5	2447.0	2448.5
Dif. peso (g)	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Tabla 2

4.3.-INFLUENCIA DE LA CAMARA DE AIRE

Si bien para el material descrito en 4.2., se midió el flujo al vapor de agua que presentaba individualmente, es obvio que por su procedencia (bloque cerámico hueco) el mismo forma parte de un elemento compuesto también por huecos.

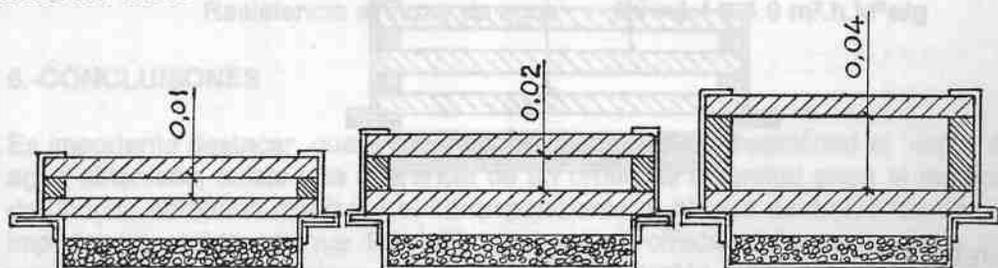
Con el objeto de conocer la incidencia que presentan la existencia de dichos huecos, se prepararon probetas constituidas por una y dos cámaras de aire.

4.3.1.-PROBETAS DE ENSAYO (una cámara de aire)

Se reagruparon de a pares las probetas mencionadas en 4.2., de manera tal que posean densidades lo más parecido posible

MONTAJE

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 4 cm.) para los distintos espesores de cámara de aire propuestos. Luego se coloca la 2° muestra conformando la cámara de aire y se termina sellando con cinta de papel aluminizado como en todos los casos



MEDICION

Se conformaron conjuntos de 10 probetas con cámara de aire de 1 cm., de 5 probetas con cámara de aire de 2 cm. y de 5 probetas con cámara de aire de 4 cm.

En la tabla 3 se muestra los valores correspondientes al pesaje diario de cada una de las variantes.

Espesor (m)	Probeta	Día						
		0	1	2	3	4	5	6
0.01	U0703	4632.1	4632.9	4633.7	4634.6	4635.7	4637.2	4638.0
0.02	D1314	5195.0	5195.4	5196.4	5197.2	5198.0	5199.0	5199.7
0.04	C0703	5903.6	5904.1	5905.0	5905.5	5906.6	5907.3	5908.0

Espesor (m)	Probeta	Día						
		7	8	9	10	11	12	13
0.01	U0703	4638.7	4639.5	4640.3	4641.3	4642.0	4642.9	4643.6
0.02	D1314	5200.6	5201.8	5202.2	5203.2	5203.9	5204.6	5205.5
0.04	C0703	5908.9	5909.7	5910.3	5911.5	5911.8	5912.7	5913.6

Espesor (m)	Probeta	Día						
		14	15	16	17	18	19	20
0.01	U0703	4644.6	4645.1	4645.7	4646.5	4647.2	4647.8	4648.7
0.02	D1314	5206.1	5207.1	5207.6	5208.3	5209.0	5209.7	5210.5
0.04	C0703	5914.0	5914.8	5915.6	5916.3	5916.5	5917.5	5918.2

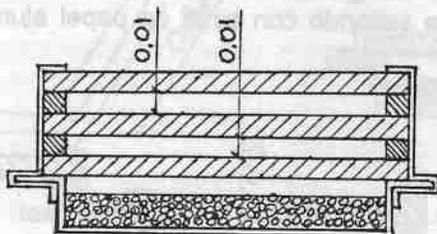
Tabla 3

4.3.2. PROBETAS DE ENSAYO (dos cámaras de aire)

Se reagruparon en ternas las probetas ensayadas en 4.2., de manera tal que tengan densidades lo más parecido posible

MONTAJE

El montaje de la probeta es similar al descrito anteriormente, en una primera parte, es decir, una vez montada la segunda probeta se coloca en la parte superior otro juego de separadores de aluminio en la parte perimetral de 1cm. de altura. Luego se coloca la 3ª muestra conformando la segunda cámara de aire y se termina sellando con cinta de papel aluminizado como en todos los casos



MEDICION

Se conformó un conjunto de 5 probetas con cámaras de aire de 1 cm.

En la tabla 4 se muestran los valores correspondientes al pesaje diario de una de las probetas a título de ejemplo.

Probeta U31-24-22

Día	0	1	2	3	4	5
Peso (g)	6792.1	6792.6	6792.8	6793.3	6794.0	6794.5
Dif. peso (g)	0.0	0.5	0.2	0.5	0.7	0.5

Día	6	7	8	9	10	11	12
Peso (g)	6795.2	6795.7	6796.3	6796.8	6797.4	6797.9	6798.5
Dif. peso (g)	0.7	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6

Tabla 4

5.-RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada tipo de variante ensayada.

Ladrillo cerámico macizo (densidad promedio 1400 kg/m³):

Permeabilidad al vapor de agua $\delta = 7.7 \times 10^{-2}$ g/h.m.kPa

Material procedente de bloque cerámico hueco (densidad promedio 1700 kg/m³):

Permeabilidad al vapor de agua $\delta = 6.2$ a 8.8×10^{-3} g/h.m.kPa

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

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

Tabla 5

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

$$\begin{array}{ll} \text{Permeancia al vapor de agua} & \Delta = 2.5 \text{ a } 3.0 \times 10^{-1} \text{ g/m}^2.\text{h.kPa} \\ \text{Resistencia al vapor de agua} & R_v = 3.4 \text{ a } 4.0 \text{ m}^2.\text{h.kPa/g} \end{array}$$

6.-CONCLUSIONES

Es importante destacar, que a partir de los valores de permeabilidad al vapor de agua obtenidos, existe una diferencia de un orden de magnitud entre el material del ladrillo cerámico macizo y el correspondiente al bloque cerámico hueco. La importancia reside en que las tablas existentes ofrecen información sólo del primero de ellos, utilizándose este dato por extrapolación al caso de emplearse el bloque hueco en un sistema constructivo, generándose como consecuencia, un error en el cálculo de la verificación de riesgos de condensación que lo perjudica.

Cabe aclarar, que las determinaciones se efectuaron sobre un tipo definido de material cerámico, y que los resultados no pueden generalizarse para cualquier otro, ya que para ello es necesario que exista además, una semejanza en otras características, como la porosidad, la absorción al agua y la densidad aparente.

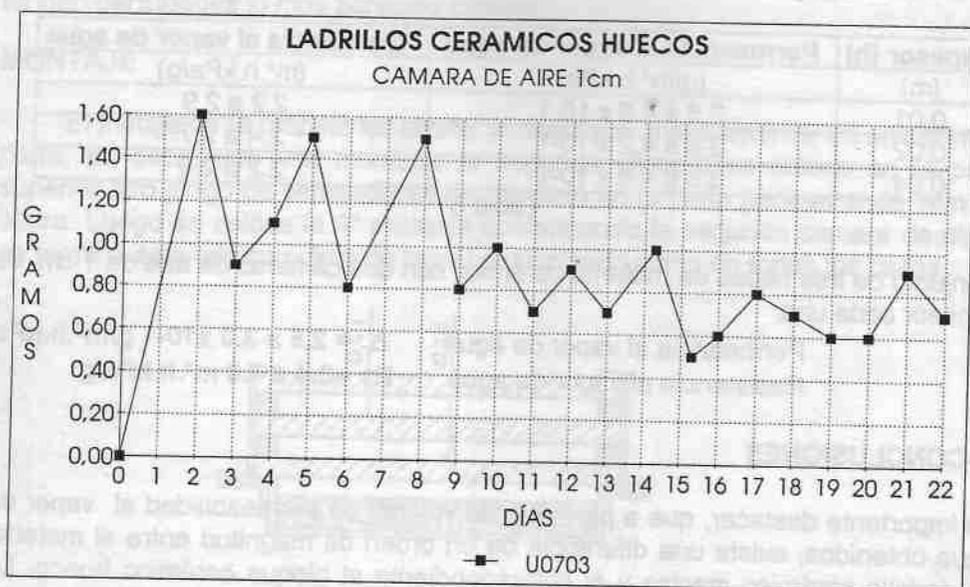
Con respecto a las muestras ensayadas, compuestas por dos capas de cerámico y una cámara de aire, los valores de permeancia y resistencia al vapor de agua obtenidos, dieron resultados con rangos similares, independientemente del espesor de la cámara de aire utilizada. Esto se debe, a que ésta última aporta con una resistencia al vapor de agua del orden de cien veces menor que la correspondiente al material cerámico y por lo tanto, su incidencia en el valor de ensayo determinado pierde relevancia.

Para poder determinar la pequeña diferencia existente, como producto de la utilización de distintos espesores de espacio de aire, se debería emplear una balanza de menor discriminación que la utilizada en este trabajo, lo que permitiría detectar una menor variación en el flujo de vapor diario absorbido.

Lo que se observó durante los ensayos de las probetas con cámara de aire, fue un efecto de tipo "pulmón", consistente en una oscilación en la medición de la variación de peso diario, durante los primeros días, es decir, que alternativamente aumentaba y disminuía cíclicamente dicha diferencia de peso, hasta que se alcanzaba el estado de equilibrio dinámico, que permitía efectuar la determinación buscada.

Esto se explica diciendo, que al principio el espacio de aire se iba llenando del vapor de agua hasta que se colmara su capacidad, luego el vapor pasaba hacia la otra capa sólida mientras que el aire se iba vaciando y estaba otra vez en

condiciones de poder albergar una nueva masa de vapor, y así sucesivamente hasta entrar en régimen.



Para el caso del conjunto con dos cámaras de aire, se observó, como era previsible, una disminución en la transmisión del vapor de agua diario (por ende, un aumento en la resistencia), con respecto al correspondiente a una sola cámara de aire. Sin embargo, el rango de valores de resistencia obtenido, resultó menor que el estimado "a priori".

Si bien, en este trabajo se presentan resultados inéditos, es intención de los autores, continuar con la investigación y las mediciones, hasta alcanzar como objetivo final, la implementación y determinación del fenómeno de transmisividad al vapor de agua de un elemento de la construcción heterogéneo, como en el caso de los bloques huecos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la firma Cerámica Stefani, y en particular, al Ing. Gregorio Pytlowany, por el importante aporte hecho con la entrega de los materiales para realizar los ensayos, sin el cual no se hubiera podido llevar adelante este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] 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.
- [2] Norma IRAM 1735. Método de ensayo de la permeabilidad al vapor de agua de materiales de construcción.
- [3] Proyecto y ejecución de un laboratorio de acondicionamiento higrotérmico. V. Volantino, J. Cornejo, E. López, V. Moruga, L. Rayson, M. Messing. 15ta. R.T. ASADES, Catamarca, 1992.