

## DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LAS ADMITANCIAS TERMICAS DE MUROS

Gloria Plaza\* y Luis Saravia

IUNECO<sup>†</sup>, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

### Resumen

En el presente trabajo se describe un método experimental para la medida de la admitancia térmica de muros, la que permite caracterizar cuantitativamente las propiedades de inercia térmica de la envolvente de un edificio.

El aparato consiste en dos cajas aisladas que se adhieren al muro, una con calefactor y la otra con un serpentín para extracción de calor. Se impone una variación periódica diaria de la cantidad de calor y los parámetros medidos se analizan con el método de Fourier para obtener su variación sinusoidal, a partir de las cuales se calcula la admitancia.

Se describen las dificultades encontradas en el método, la puesta a punto del sistema y los resultados obtenidos para un muro de ladrillo.

### 1. Introducción

En los sistemas de aprovechamiento pasivo las propiedades térmicas de la envolvente de un edificio gravitan en las técnicas de acondicionamiento de los locales.

Entre estas propiedades se estudia la inercia térmica, que ha comenzado a ser considerada con atención en los últimos años por su conexión con el uso de sistemas solares.

Para caracterizar la inercia térmica de un muro se planteó en un trabajo anterior (1) el uso de las admitancias térmicas y se discutió su cálculo teórico.

La medida experimental resulta un complemento del cálculo teórico y es necesaria por las siguientes razones:

- permite determinar la admitancia de muros cuyos materiales no son bien conocidos térmicamente,
- permite el control constructivo del muro verificando que satisface los requerimientos pedidos,
- permite estudiar casas de geometría complicada.

El equipo de medida sugerido en (1) sobre la base de los equipos utilizados para las medidas estacionarias (2) y algunas modificaciones sugeridas por McCabe y otros (3) ha sido construido y ensayado después de sufrir varias modificaciones. Los resultados obtenidos se describen y discuten a continuación.

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Secretaría de Vivienda y Ordenamiento Ambiental de la Nación.

### 2. Construcción del equipo experimental

La idea básica del equipo experimental se muestra esquemáticamente en la Fig. 1. Los recintos acorralados en ambos lados del muro simulan respectivamente el aporte térmico solar y el ambiente interior del edificio. Las circulaciones de aire se dimensionan para simular las condiciones correspondientes en las superficies de la pared. Una cámara contiene la resistencia calefactora y en la otra se coloca un intercambiador de calor por el que circula agua con caudal constante desde un termostato de precisión que mantiene constante la temperatura.

Cada recinto tiene una dimensión externa de  $1,6 \times 1,6 \times 0,4 \text{ m}^3$  y sus paredes son de poliestireno expandido de 0,20m de espesor, lo que reduce la superficie medida a  $1,20 \times 1,20 \text{ m}^2$ .

Las medidas más importantes a realizar son: la potencia entregada por el calefactor, la temperatura del aire en la

\* Becaria del CONICET

<sup>†</sup> Instituto UNSa.-CONICET

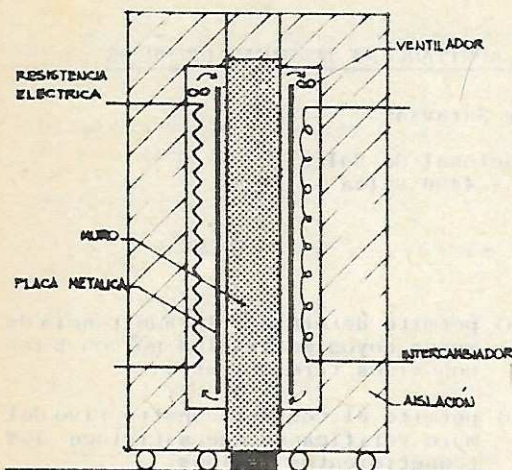


Fig.1 - Equipo original experimental

caja de calentamiento, la diferencia de temperatura entre la salida y la entrada del intercambiador y el caudal de agua que circula por el intercambiador. Ellas se estudian en función del tiempo. Estos datos así obtenidos son procesados mediante un análisis de Fourier para evaluar las admitancias buscadas. El ajuste por Fourier se realiza en computadora.

Las medidas de flujo de calor deben ser corregidas por las pérdidas a través de la aislación de la caja. A esos efectos se determinan las pérdidas por vía experimental uniendo las dos cajas sin pared intermedia y midiendo la potencia necesaria para llevar la temperatura del aire interno a un valor determinado.

Las dos admitancias que se miden  $A_{11}$  y  $A_{12}$  corresponden al lado caliente. Para determinarlas con precisión, se deben evitar variaciones sinusoidales en la caja fría. Esto se contrapone con el hecho que debe permitirse una pequeña variación para medir la cantidad de calor extraída por el intercambiador.

### 3. Corrección y puesta a punto

Las primeras determinaciones experimentales realizadas con un muro de aglomerado de 0.008 m de espesor condujeron a implementar modificaciones en el equipo original.

Las falencias se detectaron fundamentalmente en las cámaras con circulación de aire entre placa calefactora

muro, e intercambiador-muro, observándose además poca efectividad en el intercambiador y problemas de funcionamiento del termostato.

Si bien los recintos de aire permiten simular la circulación de aire sobre las paredes, en la práctica han resultado ser una fuente de problemas desde el punto de vista de la medida dada la imposibilidad práctica de obtener un flujo parejo de aire en toda la superficie. Por otro lado, la potencia térmica disipada por los ventiladores subía mucho la temperatura media de los recintos limitando los saltos de temperatura que se podían imponer en las cámaras.

En lo que se refiere al termostato, el calor extraído por el serpentín no podía ser adecuadamente disipado en el tanque del mismo, por lo que el agua aumentaba la temperatura y el control de temperatura dejaba de funcionar.

Para subsanar estos inconvenientes, se introducen las siguientes modificaciones:

- Excluir del equipo los ventiladores, rellenando con aislante las cavidades de aire.
- Introducir dos intercambiadores en paralelo aumentando la eficiencia del intercambio.
- Incluir un intercambiador auxiliar expuesto a temperatura externa a la salida del intercambiador del sistema asegurando así una buena operación del termostato.

El esquema del equipo modificado se muestra en la Fig. 2.

### 4. Balance térmico en el muro

Las admitancias  $A_{11}$  y  $A_{12}$  quedan determinadas mediante un balance térmico para ambas caras del muro, según se muestra en la Fig. 3.

$$\tilde{Q}_{ent} = \tilde{Q}_{p1} + \tilde{Q}_1$$

$$\tilde{Q}_{ext} + \tilde{Q}_{p2} = \tilde{Q}_2$$

donde

$\tilde{Q}_{ent}$  = calor entregado por la resistencia

$\tilde{Q}_{p1}$  = calor perdido por el aislante del lado caliente

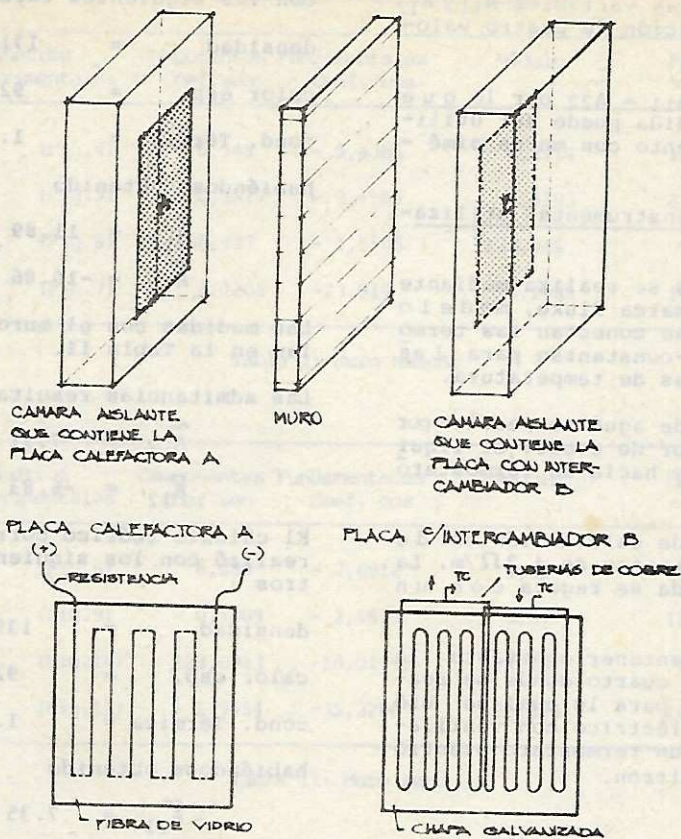
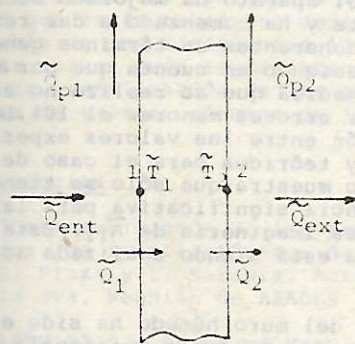


Fig. 2 - Equipo experimental



La cara en contacto con la fuente de calor  
La cara en contacto con el intercambiador

Fig. 3 - Esquema del muro mostrando los flujos calóricos considerados en el balance térmico.

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_1 &= \tilde{A}_{11}\tilde{T}_1 + \tilde{A}_{12}\tilde{T}_2 \\ \tilde{T}_1 &= \text{temperatura de la superficie calentada} \\ \tilde{T}_2 &= \text{temperatura de la superficie enfriada} \\ \tilde{Q}_{ext} &= \text{calor extraído por el intercambiador} \\ \tilde{Q}_{p2} &= \text{calor perdido por el aislante del lado enfriado} \\ \tilde{Q}_2 &= -\tilde{A}_{21}\tilde{T}_1 - \tilde{A}_{22}\tilde{T}_2 = \tilde{A}_{12}\tilde{T}_1 - \tilde{A}_{11}\tilde{T}_2 \end{aligned}$$

determinados  $\tilde{Q}_1$  y  $\tilde{Q}_2$  se tiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, cuya solución es:

$$(\tilde{A}_{11}, \tilde{A}_{12})$$

Debe hacerse notar que todos estos parámetros son complejos por lo que la de

terminación de las variables  $\tilde{A}_{11}$  y  $\tilde{A}_{12}$  implica la obtención de cuatro valores reales.

Se ha supuesto  $A_{11} = A_{22}$  por lo que el método de medida puede ser utilizado por el momento con muros simétricos.

##### 5. Detalle del instrumental utilizado

La toma de datos se realiza mediante un Data Logger marca Fluke, modelo 2.200B, al que se conectan las termocuplas de cobre-constantan para las distintas medidas de temperatura.

La circulación de agua se realiza por un intercambiador de cobre. El líquido fluye desde y hacia un termostato marca Haake.

La resistencia de calefacción es de alambre de constantan de  $4,2 \Omega/m$ . La tensión entregada se regula con un Variac.

Es importante mantener constante la temperatura del cuarto donde se realiza la medida, para lo cual se usó un calefactor eléctrico con ventilación forzada y un termostato electrónico marca Regultrón.

##### 5. Resultados experimentales

Se realizaron medidas en un muro de ladrillo de 0,15 m de espesor con revoque fino convencional en ambos lados. Las experiencias se llevaron a cabo en el muro húmedo, a los pocos días de construido; y una vez seco.

Para el primer caso los valores experimentales de temperatura de superficie calentada, temperatura de superficie enfriada, cantidad de calor entregada por la resistencia y cantidad de calor extraída por el intercambiador, se ajustan por Fourier y se obtienen consecuentemente sus componentes fundamentales, según se observan en la Tabla I.

Los valores obtenidos para las admitancias térmicas son:

$$\tilde{A}_{11} = 14.05 + j 6.787$$

$$\tilde{A}_{12} = -8.31 + j 3.83$$

Con el fin de analizar estos resultados se realizó un cálculo teórico utilizando un muro uniforme de 0.15 m

con las siguientes características:

$$\text{densidad} = 1710 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{calor esp.} = 920 \text{ j/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{cond. Térmica} = 1.7 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

habiéndose obtenido

$$\tilde{A}_{11} = 11.89 + j 5.64$$

$$\tilde{A}_{12} = -10.86 + j 2.78$$

Las medidas con el muro seco se tabulan en la Tabla II.

Las admitancias resultantes son:

$$\tilde{A}_{11} = 7.91 + j 4.57$$

$$\tilde{A}_{12} = -6.83 + j 2.23$$

El cálculo teórico correspondiente se realizó con los siguientes parámetros

$$\text{densidad} = 1395 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{calor esp.} = 920 \text{ j/kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{cond. Térmica} = 1.1 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

habiéndose obtenido

$$\tilde{A}_{11} = 7.35 + j 7.30$$

$$\tilde{A}_{12} = -6.10 + j 2.59$$

##### Conclusiones

Después de las modificaciones realizadas, el aparato ha mejorado sensiblemente y ha comenzado a dar resultados coherentes en términos generales, teniendo en cuenta que por el tipo de medida que se realiza no es de esperar errores menores al 10%. La comparación entre los valores experimentales y teóricos para el caso de muro seco muestra que sólo se tiene una diferencia significativa para las componentes imaginaria de  $\tilde{A}_{11}$ . Esta diferencia está siendo analizada actualmente.

El caso del muro húmedo ha sido estudiado aprovechando la existencia del muro recién construido y muestra errores algo más grandes en todas las componentes respecto a un muro teórico con conductividad mayor. En cierta forma esto es esperable dado que el fenómeno conductivo con humedad presentes bastante complicado dada la migración

Muro de ladrillo (espesor 0,15 m)

Parámetros Experimentales	Componentes Fundamentales	Módulo	Fase	
	Coef. sen	Coef. cos		
$\tilde{T}_1$ (Fig.4)	6,549	- 5,4365	8,5114	129,7
$\tilde{T}_2$ (Fig.5)	0,3827	- 3,4985	3,5193	173,76
$\tilde{Q}_{ent}$ (Fig.6)	138,937	- 1,5505	138,946	90,64
$\tilde{Q}_{ext}$ (Fig.7)	4,2206	-23,919	24,2885	169,09

Tabla I: Muro húmedo

Parámetros Experimentales	Componentes Fundamentales	Módulo	Fase	
	Coef. sen	Coef. cos		
$\tilde{T}_1$ (Fig.8)	6,088	- 7,6918	9,81	141,64
$\tilde{T}_2$ (Fig.9)	- 0,1409	- 2,6635	2,67	183,03
$\tilde{Q}_{ent}$ (Fig.10)	123,6963	-10,01736	124,101	94,63
$\tilde{Q}_{ext}$ (Fig.11)	- 1,9754	-35,3206	36,376	183,20

Tabla II: Muro seco

del vapor de agua y la estratificación del agua líquida. De cualquier manera se observa una influencia apreciable de la humedad en el valor de la admitancia.

Las experiencias realizadas muestran que es factible una medida razonable de las admitancias lo que resulta ser un paso importante en la tarea de normalización de las propiedades de inercia térmica de los muros.

Referencias

1. "Caracterización de las propiedades de inercia térmica de muros" G. Plaza y L. Saravia. Actas de la 8va. Reunión de ASADES ,pp.33.
2. ASTM C236 - Standard Method of test for Thermal Conductance and Transmittance of Built-Up Sections by Means of Guarded Hot Box, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA 19103.

3. Mc Cabe, M.; Mc Kinstry, M.; Wormser, P. "Methods of Testing Passive Storage Walls to Determine Thermal Performance of the 4th National Passive Solar Conference, Vol 4, 1979, American Section of ISES.