

DETERMINACION DE RESISTENCIA TERMICA POR RADIACION DE MATERIALES REFLEJANTES EN TECHOS CON CAMARA DE AIRE

Vicente Leonardo Volantino, Edgar Jorge Cornejo

Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica, CECON, INTI

Casilla de correo 157 (1650) San Martín Prov. Buenos Aires ARGENTINA

Fax: 753-5784 - E-mail: yvolanti@inti.gov.ar, edcorne@inti.gov.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta un procedimiento para determinar indirectamente la contribución por radiación a la transmisión de calor de una cámara de aire que posee una superficie reflejante en la cara inferior de la misma, para distintos espesores. Para tal fin se utilizó un equipo de medición de la transmisión de calor en régimen permanente basado en el método del medidor del flujo de calor.

Se fijaron ciertas condiciones de temperatura sobre ambas superficies enfrentadas de la cámara de aire, se midió la cantidad de calor que la atravesaba y se determinó la resistencia térmica para cada caso.

Mediante la aplicación de expresiones definidas por ASHRAE, se pudo determinar la componente de conducción - convección y la de radiación. Con la suma de estas, se halló la cantidad de calor total y se la comparó con la procedente de la medición, para verificar la validez del método.

INTRODUCCION

La transferencia de calor a través de un espacio de aire está afectada por la naturaleza de las superficies límites tanto como el aire interviniente, la orientación de tal espacio de aire, la distancia entre dichas superficies y la dirección del flujo de calor.

Dicha transferencia contiene la suma de dos componentes, una debido a la radiación y la otra, al efecto combinado de conducción y convección.

$$Q = Q_{cc} + Q_r = \epsilon_{ef} \times \sigma \times [(T_1 + 273)^4 - (T_2 + 273)^4] + h_{cc} \times (T_1 - T_2) \quad (1)$$

donde, σ es la constante de Stefan-Boltzmann; ϵ_{ef} es la emitancia efectiva de la cámara de aire; T_1 y T_2 , las temperaturas de las superficies enfrentadas de la cámara de aire y h_{cc} el coeficiente de conducción - convección.

Linealizando la expresión anterior en función de la temperatura media del sistema, resulta:

$$Q = \left\{ \epsilon_{ef} \times 0,227 \times \left(\frac{(\bar{T} + 273)}{100} \right)^3 + h_{cc} \right\} \times (T_1 - T_2) \quad (2)$$

o bien:

$$Q = (\epsilon_{ef} \times hr + h_{cc}) \times (T_1 - T_2) \quad (3)$$

donde, hr está definida por la expresión:

$$hr = 0,227 \times \left(\frac{(\bar{T} + 273)}{100} \right)^3 \quad (4)$$

En la (2), lo encerrado entre llaves representa la conductancia térmica de la cámara de aire, considerada entre las dos superficies límites y su recíproca es la resistencia térmica.

La emitancia efectiva ϵ_{ef} se define como:

$$\epsilon_{ef} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (5)$$

donde ϵ_1 , es la emisividad de la superficie 1 y ϵ_2 la de la superficie 2.

Por ejemplo, el valor de emisividad de un aluminio pulido es de 0,05 (considerado como reflejante), mientras que la mayoría de los materiales de construcción están comprendidos entre 0,9 y 0,95 (no reflejantes).

Por lo tanto, si se hallan enfrentados dos materiales reflejantes, su emitancia efectiva es de 0,025; pero si se encuentran enfrentados dos materiales no reflejantes, la misma se eleva a 0,82.

Para el caso, de una cámara de aire con una superficie reflejante y la otra no, ϵ_{ef} es de aproximadamente 0,05, lo que nos lleva a definir que el intercambio de calor por radiación es de ~6% respecto del caso en que las dos superficies están construida con materiales comunes.

En lo que respecta a hcc, ASHRAE [1] sólo lo define para espesores e de cámara de aire menores a 0,013m.

$$hcc = \frac{0,0218 \times (1 + 0,0274 \times \bar{T})}{e} \quad (6)$$

Por otra parte, Robinson et al [2], define para espesores mayores de 0,013m, según la ecuación:

$$hcc_{\bar{T}} = hcc_{10^{\circ}C} [1 - 0,001 \times (\bar{T} - 10)] \quad (7)$$

donde $hcc_{10^{\circ}C}$, es el coeficiente de conducción - convección definido para una temperatura media de referencia (10°C) y se determina a través de gráficos, según la orientación de la cámara de aire, la dirección del flujo de calor y la diferencia de temperatura. Para el propósito de este trabajo, se analizó el caso de transmisión de calor descendente sobre una cámara de aire dispuesta horizontalmente, ya que el caso de un techo en condiciones de verano es el que presenta mayores valores de resistencia térmica. El hecho de orientar el sistema en posición horizontal y no con una pendiente determinada, es además de la consideración anterior, debido a la configuración que ofrece el equipo de medición disponible.

METODO DE MEDICION

La determinación de las propiedades relacionadas con la transmisión del calor, se realizó mediante la utilización del denominado “Aparato medidor del flujo de calor”, que sigue los lineamientos estipulados en las normas ISO 8301 y ASTM C 518 [3]. Dicho aparato basa su funcionamiento en el establecimiento de un flujo de calor unidireccional, bajo un régimen estacionario, a través de un espécimen contenido entre dos placas planas y paralelas que se hallan a diferentes temperaturas, pero constantes.

El equipo está compuesto por dos placas isotérmicas, un transductor de flujo de calor, dispositivos para medir y controlar la temperatura, el espesor entre placas y la señal de salida del transductor de flujo de calor.

Las dos placas poseen superficies isotérmicas en contacto con ambas caras de la muestra y consisten de fuentes generadoras de calor, cuyas superficies poseen alta conductividad. Un transductor de flujo de calor está ubicado arriba de la placa inferior, cuyas dimensiones definen la llamada área de medición, constituyendo el resto de la placa el área de guarda.

Previamente se debe calibrar adecuadamente el transductor de flujo de calor en las mismas condiciones de temperatura que las que serán utilizadas para la muestra a ensayar.

La distancia entre placas puede ser ajustada mediante un dispositivo externo, lo que permite definir con precisión el espesor que se persigue.

Debido a la disposición del equipo, los ensayos sólo pueden realizarse con flujo de calor descendente.

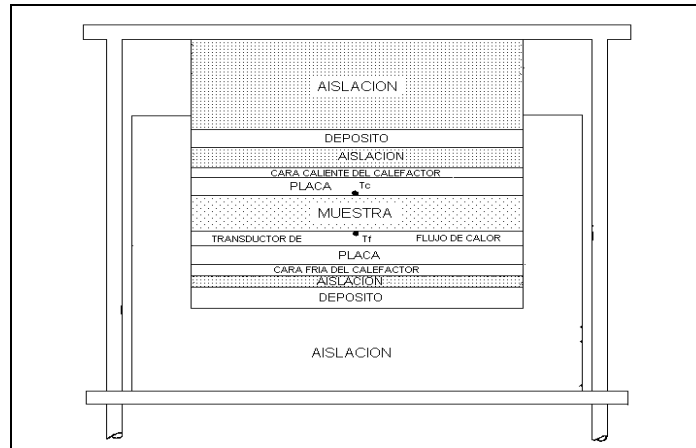


Figura1 : Esquema del aparato medidor del flujo de calor

DETERMINACIONES REALIZADAS

Se efectuaron ensayos sobre distintos espesores de cámara de aire, manteniendo constante tanto la diferencia de temperaturas entre placas como la temperatura media del espacio entre ellas. Estos valores se fijaron en 5,6°C y 32,2°C, respectivamente, de manera de poder comparar los resultados obtenidos, con los valores de resistencias térmica de espacios de aire planos especificados en el ASHRAE, Handbook of Fundamentals, Chapter 24, Table 3 [1].

Para cada caso ensayado, se obtuvo como resultado de las mediciones, los valores de temperatura en cada superficie (T_c de la placa caliente y T_f de la fría) y el flujo de calor, en W/m^2 . Utilizando la diferencia de temperatura y el flujo de calor, se determinó la resistencia total del conjunto. Los datos correspondientes se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Mediciones de temperatura y flujo de calor para cada espesor de cámara de aire.

e (m)	T_c (°C)	T_f (°C)	Q (W/m²)	R_T (m².K/W)
0,013	35,2	29,4	11,76	0,49
0,020	35,2	29,6	8,52	0,65
0,030	35,1	29,3	7,20	0,80
0,040	35,1	29,0	6,20	0,99
0,060	35,0	28,9	5,72	1,08

ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES

En primer lugar, se hallaron los valores de temperatura media y diferencia de temperatura en la cámara de aire y con ésta última y el flujo de calor, se obtuvo la resistencia térmica R_{ca} correspondiente. Luego, se compararon los valores de resistencia térmica obtenidos con los tabulados en el ASHRAE, habiéndose efectuado previamente las correcciones por diferencias existentes con éste, tanto con la temperatura media, como con el gradiente de temperatura. Una vez definidos los nuevos valores, se determinó por interpolación lineal, la emitancia efectiva de la cámara de aire para el tipo de material reflejante utilizado.

Con el objeto de verificar la validez de las determinaciones halladas, se procedió a un análisis basado en mediciones de temperaturas. Con estos datos, se calculó la componente debido a conducción – convección de la conductancia (h_{cc_T}) y la correspondiente contribución a la cantidad de calor Q_{cc} . Para ello, se utilizó en primer lugar la expresión (7). En la misma, aparece $h_{cc_{10^{\circ}C}}$, cuya determinación se realiza empleando el gráfico para calor descendente y espacio de horizontal, definido en la referencia [2] y que se puede observar en la Figura 2.

El valor de Q_{cc} , se obtiene como producto de h_{cc_T} por la diferencia de temperatura en la cámara de aire.

$$Q_{cc} = h_{cc_T} \times \Delta T \quad (8)$$

La componente debido a la radiación h_r , se determina por medio de la expresión (4), en función de la temperatura media. Por su parte, la contribución a la cantidad de calor Q_r , se obtiene en forma similar a Q_{cc} , haciendo el producto:

$$Q_r = h_r \times \epsilon_{ef} \times \Delta T \quad (9)$$

Finalmente, la cantidad total de calor se halla como suma de ambas contribuciones:

$$Q_T = Q_r + Q_{cc} \quad (10)$$

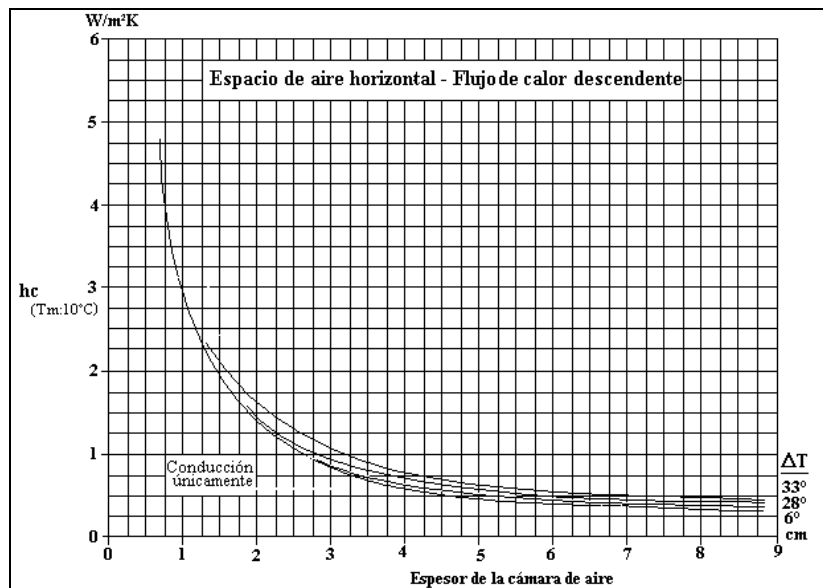


Figura 2: Determinación gráfica de $hcc_{10^{\circ}\text{C}}$

En la Tabla 2, se resumen los resultados obtenidos para cada espesor de cámara de aire.

Tabla 2: Determinación de las cantidades de calor por conducción - convección y por radiación.

e (m)	$\bar{T}_{ca}$ ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_{ca} ($^{\circ}\text{C}$)	R_{ca} ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)	$hcc_{10^{\circ}\text{C}}$ ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)	$hcc_{\bar{T}}$ ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)	h_r ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)	ϵ_{ef}	Q_{cc} (W/m^2)	Q_r (W/m^2)	Q_T (W/m^2)
0,013	32,91	4,59	0,39	1,98	1,94	6,50	0,082	8,89	2,39	11,27
0,020	32,81	4,70	0,55	1,31	1,27	6,49	0,080	6,00	2,44	8,44
0,030	32,58	5,07	0,70	0,91	0,89	6,48	0,077	4,50	2,63	7,13
0,040	32,39	5,45	0,90	0,62	0,61	6,47	0,074	3,32	2,82	6,14
0,060	32,24	5,58	0,98	0,51	0,50	6,46	0,090	2,78	2,88	5,66

CONCLUSIONES

Este método de medición y cálculo para determinar las componentes del flujo de calor, permite cuantificar la resistencia térmica por radiación, que posee una dada cámara de aire. Esta contribución es la que diferencia el comportamiento entre un material de baja emisividad (material reflejante) y el resto de los materiales de construcción, incluidos los aislantes térmicos convencionales que no posean tal característica superficial.

La componente debido a conducción – convección es común a todos los casos, cuando se consideran las mismas condiciones de temperatura e igual espesor de cámara de aire. Si bien los ensayos se efectuaron sobre espacios de aire estancos y horizontales, con calor descendente, su aplicación a condiciones reales de uso en los techos, se deberá considerar una componente de convección mayor.

REFERENCIAS

- [1] ASHRAE, Handbook of Fundamentals. (1997)
- [2] H.E. Robinson, F.J. Powlitch and R.S. Dill. The Thermal Insulation Value of Airspaces. Housing and Home Finance Agency, Housing Research. Paper N°32. (1954)
- [3] ISO 8301 Thermal insulation. Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Heat flow meter apparatus y ASTM C518 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by means of the Heat Flow Meter Apparatus
- [4] V. L. Volantino, E. J. Cornejo. Mediciones de Resistencia Térmica de Sistemas de Techo con Cámara de Aire. XXI Reunión de Trabajo de ASADES. Salta (1998)