

COMPORTAMIENTO TERMICO DE CUBIERTAS

Luis Giobergia*, Alicia Maronna*, Vicente Volantino*

INTRODUCCION

Para realizar el análisis de la envolvente de una vivienda o edificios en general, necesario para el cálculo del consumo energético, o bien para la definición de niveles de confort térmico aceptables, es imprescindible conocer el comportamiento higrotérmico de todos los elementos constructivos existentes.

La División Habitabilidad Higrotérmica del Departamento de Construcciones del INTI confeccionó oportunamente una "Tabla de Transmitancias Térmicas de Elementos de Cerramiento Verticales" (1), quedando pendiente un trabajo similar referido a cubiertas.

La tarea de analizar el comportamiento térmico de cubiertas se encaró con el fin de incorporar su resultado a las Normas Mínimas de Habitabilidad Higrotérmica. Se estima que con esta documentación se completaría un caudal de información tal que cubriría las necesidades del usuario del área.

DESCRIPCION DEL TRABAJO:

La realización de este trabajo, se comenzó efectuando una recopilación, evaluación y selección de la información sobre sistemas de cubiertas que se presentan más frecuentemente en la construcción de viviendas en el país.

Esto implica el estudio de cubiertas de las siguientes características: espesor constante y espesor variable, con ático frío y caliente, construcción industrializada o tradicional.

El análisis de cada caso presentado se hizo utilizando programas de computación desarrollados e implementados en el Departamento de Construcciones (2), (3). Con los mismos se realiza un estudio basado en la resolución de la ecuación de Fourier de transferencia de energía en forma de calor, en geometría bidimensional de múltiples materiales, obteniéndose numéricamente el valor del coeficiente de transmitancia térmica.

* Investigador asociado (por orden alfabético).

Div. Habitabilidad Higrotérmica - Depto. de Construcciones
INTI - C.C. 157 - 1650 - San Martín - Prov. Bs. As.

En primer lugar, se trató de estudiar la variación de la temperatura del ático en función de la velocidad del aire a través de la sección de reja. Se pudo establecer que para una misma sección de reja, variando la velocidad desde 1/60 m/seg hasta un valor igual a la mitad de la velocidad de viento media para la zona en estudio, la temperatura del ático se modifica en el orden de décimas de Celsius.

Para analizar este efecto, se realizó el estudio de un caso en otra localidad (Ushuaia) con distintos valores de velocidad de viento y mayor diferencia de temperatura exterior - interior, comparando los resultados con los del mismo caso en las condiciones de Buenos Aires.

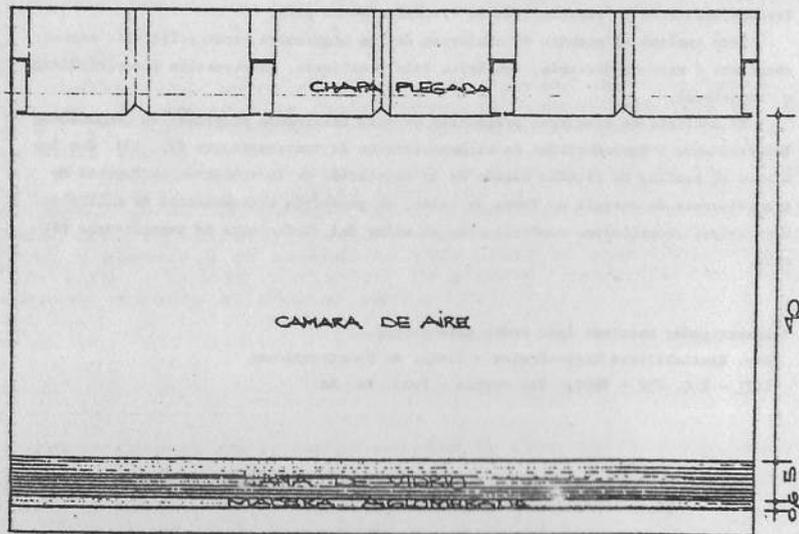
Así, para Ushuaia (condición más desfavorable) se adoptó una velocidad de aire de 2,8 m/s obteniéndose una temperatura de ático de -3,4 C, mientras que para una velocidad mínima (1/60 m/s) el valor hallado fue de -3,1 C. Ambos resultados se obtuvieron considerando una sección de reja de 0,025 m².

Esto indica que a pesar de haberse incrementado la velocidad de aire 166 veces, la variación de temperatura observada es de solamente 0,3 C.

De manera que a partir de esta información el estudio se hizo en función de la variación de la sección de reja.

La misma se fue variando desde 0 hasta 0,3 m², para un área de cielorraso de 8,5 m x 8,5 m (72,25 m²), cubriendo de esta manera los tres niveles de ventilación. La altura máxima del ático era de 1 m, dando como resultante una superficie de la hoja exterior de 74,22 m².

La variación de la temperatura de ático y de la transmitancia térmica total de la cubierta en función de la sección de la reja obtenidas, son las que se muestran en las figuras siguientes como así también la configuración de la cubierta:



Los referidos programas se alimentan con los datos de los parámetros físicos provenientes de tablas que se elaboraron a partir de literatura y de mediciones obtenidas en el laboratorio (4).

CONDICIONES DE CALCULO

Todos los casos se resolvieron en condiciones de invierno y tomando como ubicación física la ciudad de Buenos Aires, adoptándose por lo tanto una temperatura exterior de 2 C, según lo establecido en la Norma IRAM 11603 como temperatura mínima de diseño.

La temperatura interior se fijó en 18 C.

Bajo estas condiciones, se utilizó el programa Puentes (3), que genera un circuito eléctrico análogo a partir de la configuración geométrica del problema. Dicho circuito eléctrico es resuelto por la rutina TAP (2), que emplea un método de relajación en tres niveles, es decir conserva los valores correspondientes a dos iteraciones anteriores, para obtener la solución en régimen permanente.

También, por imposiciones del mencionado programa, se considera que los bordes que interrumpen las configuraciones son adiabáticos. Esto es admisible, siempre que dichos bordes se ubiquen lo suficientemente alejados de los puentes térmicos (de manera que permita suponer que la componente del flujo de calor en dirección perpendicular a los bordes es nula), o bien sobre un eje de simetría del ejemplo analizado.

En aquellos ejemplos en los que el problema presentaba características geométricas no rectangulares, se modificó la forma original (debido a limitaciones en la capacidad de simulación), aunque manteniendo constante la longitud de la superficie de intercambio.

En las interfaces existentes entre los ambientes exterior e interior de los sistemas analizados, se adoptaron valores de resistencias superficiales constantes, de acuerdo a lo que puede hallarse en la bibliografía específica, incluyendo la Norma IRAM 11601.

En el caso particular de cubiertas de espesor variable con ático frío, la Norma Española NBE-CT-79, (5), define tres niveles de ventilación, de acuerdo a la relación S/A_{CR} , donde S es la sección de la reja expresada en cm² y A_{CR} la superficie del cielorraso expresada en m².

NIVELES	$\frac{S}{A_{CR}}$ ($\frac{cm^2}{m^2}$)	K
Débilmente ventilada	< 3	$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{CR}} + \frac{A_{CR}}{\Sigma(K_e \times A_e)}$
Medianamente ventilada	$3 < \frac{S}{A_{CR}} < 30$	$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{CR}} + \frac{1}{\alpha + \Sigma(K_e \times A_e) / A_{CR}}$
Muy ventilada	≥ 30	$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{K_{CR}}$

siendo: K_{CR} = el valor de transmitancia térmica del cielorraso;

K_e y A_e = el coeficiente K y la superficie correspondientes a la hoja exterior de la cubierta;

α = coeficiente de ventilación igual a $5 W/m^2 C$

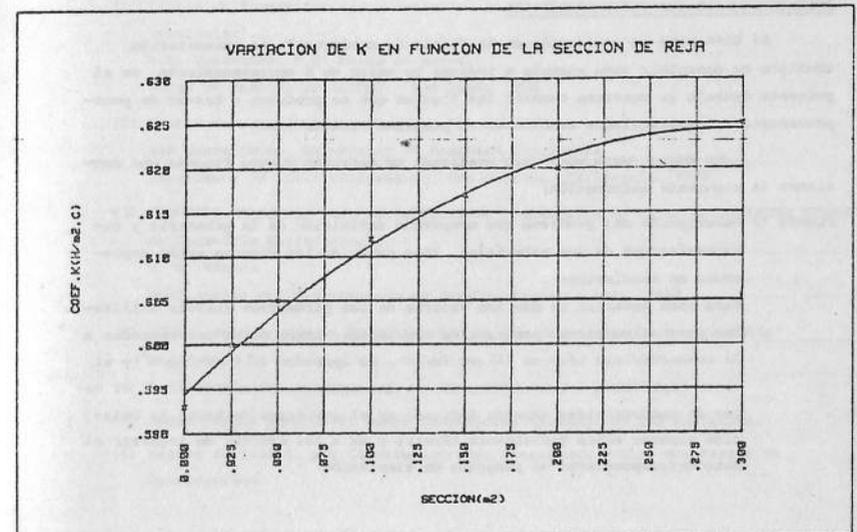
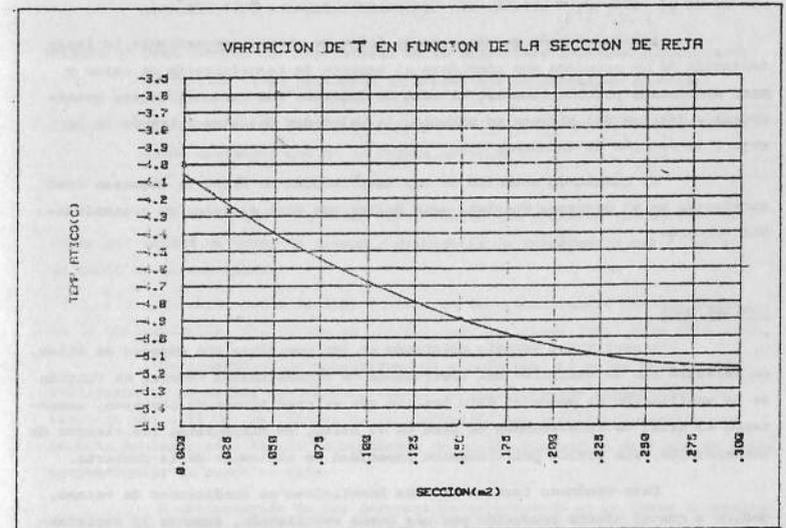
De lo que se desprende, que se obtiene un valor constante de K para cualquier caso que se analice.

Por otra parte, al consultar la norma francesa específica (6) la misma no hace referencia al cálculo de áticos fríos ya que no se mencionan valores experimentales del factor α .

En este trabajo, se presenta un estudio realizado a fin de cuantificar la variación del coeficiente de transmitancia térmica K, en función de la ventilación. Para ello se efectuó un balance de transferencia de calor y masa, considerando tanto el flujo de calor que atraviesa el cielorraso, como el que lo hace a través de la hoja exterior de la cubierta y la cantidad de calor extraído por el caudal másico de aire. (Ver Apéndice).

Una vez definidas las características geométricas y físicas de la cubierta, el valor de K resultante dependerá entonces del caudal másico. Esto implica que será función de la sección de la reja y de la velocidad del aire a través de la misma.

Luego, para un área de cielorraso definido, se fueron considerando distintos valores de sección de la reja, tales que la relación S/A_{CR} se mantuviera dentro del nivel de "medianamente ventilada" (ya que para los otros dos niveles no aparece la ventilación como factor en las expresiones de K).



Para el mismo ejemplo y aplicando la expresión indicada en la Norma NBE-CT-79 el valor de K resulta ser constante e igual a $0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Los valores de temperatura de ático se obtuvieron mediante la implementación de un programa que considera el balance de transferencia de calor y masa mencionado precedentemente, al cual se ingresan las características geométricas y físicas del sistema en estudio, la velocidad del aire a través de la reja y la sección de la misma.

El resultado obtenido de las temperaturas de ático se ingresan como constantes en el programa Puentes, para hallar con éste el valor de transmitancia térmica.

CONCLUSIONES

A partir del estudio efectuado en las cubiertas con espacio de ático, se verificó que la variación del coeficiente de transmitancia térmica en función de la ventilación es pequeña. Esto implica que en condiciones de invierno, aumentando el nivel de renovaciones de aire en el ático, se minimizarán los riesgos de condensación, sin perder prácticamente capacidad de aislación de la cubierta.

Este fenómeno también resulta beneficioso en condiciones de verano, debido a que el efecto producido por una buena ventilación, aumenta la resistencia térmica del ático y por lo tanto disminuye el valor de transmitancia térmica global de la cubierta.

PRESENTACION DE LOS CASOS ANALIZADOS

Si bien para la confección de la "tabla de cubiertas", la presentación consiste en describir cada ejemplo e indicar su valor de K correspondiente, en el presente trabajo se muestran también las figuras que se producen a través de post-procesadores, desarrollados también en el programa Puentes (3).

-Es decir, para cada caso analizado se muestran cuatro figuras que contienen la siguiente información:

Figura 1) Descripción del problema que comprende definición de la geometría y características de los materiales. (Las cotas de las figuras están expresadas en centímetros).

Para cada material se dan los valores de los parámetros físicos utilizados para alimentar el programa de simulación. Estos datos corresponden a la conductividad térmica (λ) en (W/mC) , la densidad (ρ) en (Kg/m^3) y el calor específico (c) en (Wh/kg.C) . En los casos de cámara de aire, el valor de conductividad térmica indicado es el que surge de hacer la relación espesor sobre resistencia térmica y es a los efectos de ingresar el dato correspondiente al programa de simulación.

Figura 2) Planos de isoterma para las condiciones ambientales impuestas (T. exterior: 2 C , T. interior: 18 C).

Figura 3) Distribución de temperaturas en la superficie interior (cielorraso) en función de la distancia al borde (eje de simetría) inferior.

Figura 4) Distribución de la transmitancia térmica local (K) en función de la misma distancia que en la figura anterior.

Es decir que se grafica la variación que presenta la cantidad de calor por unidad de área, de tiempo y diferencia de temperatura que fluye en un punto de la superficie.

El valor medio de esta función es la transmitancia térmica media de la configuración (\bar{K}), la que se incluye como resultado final para cada caso.

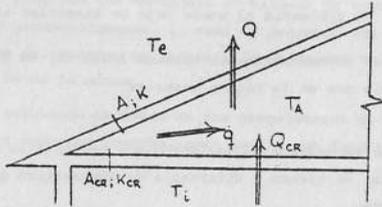
De acuerdo a las condiciones de simulación, el valor de \bar{K} puede utilizarse en promedios ponderados, cuando la configuración representada se extiende más allá de los límites de la simulación con otra configuración que permita mantener como válida la hipótesis de que la componente de flujo de calor perpendicular al borde es nulo.

A continuación de las Referencias se presenta en la forma descripta el contenido de este trabajo.

REFERENCIAS:

- (1) "Tabla de Transmitancias y Resistencias Térmicas de Elementos de Cerramiento Verticales".
V.L. Volantino, M.E. Prada de Merediz
Actas 9^a Reunión de ASADES - San Juan. 1984.
- (2) "TAP 6 Thermal Analyzer Computer Program".
SAP Users Group, University of Southern California
Department of Civil Engineering, Los Angeles, California. 1979.
- (3) "PUENTES. Programa para el Análisis de Transmisión de Calor en Sistemas Planos de Geometría Rectangular".
R. R. Rébora
Publicación del Departamento de Construcciones - INTI. 1983.
- (4) "Tabla de Propiedades Higrotérmicas de los Materiales de Construcción".
M.E. Prada de Merediz, V.L. Volantino
Publicación del Departamento de Construcciones - INTI. 1982.
- (5) Norma Básica NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.
- (6) Regles de Calcul. des Caracteristiques Thermiques Utiles des Parois de Construction.

APENDICE



En la figura precedente se esquematiza una cubierta con espacio de ático, donde se pueden observar los diferentes factores que intervienen en el balance térmico.

Q_{CR} : representa el aporte de energía calórica que pasa a través del cielorraso al espacio de ático.

Q : representa el aporte de energía calórica que atraviesa la hoja exterior de la cubierta.

\dot{q} : representa la cantidad de calor que intercambia el aire exterior con el del espacio de ático a través de la ventilación.

La ecuación de balance es:

$$Q_{CR} = Q + \dot{q} \quad (1)$$

donde:

$$Q_{CR} = A_{CR} \times K_{CR} \times (T_i - T_A) \quad (2)$$

$$Q = A \times K \times (T_A - T_e) \quad (3)$$

$$\dot{q} + \dot{m} \times C \times (T_A - T_e) \quad (4)$$

siendo A_{CR} y K_{CR} : el área y el coeficiente de transmitancia térmica del cielorraso.

A y K : el área y el coeficiente de transmitancia térmica de la hoja exterior de la cubierta.

\dot{m} : caudal másico del aire igual a $\dot{m} = v \cdot S \cdot \rho$.

C : calor específico del aire.

v : velocidad del aire a través de la reja de ventilación.

S : sección de la reja de ventilación.

T_i , T_e y T_A : temperaturas de aire interior, exterior y de ático, respectivamente.

Reemplazando (2), (3) y (4) en (1) y despejando T_A se obtiene:

$$T_A = \frac{A_{CR} \times K_{CR} \times T_i + T_e (C \times \dot{m} + K \times S)}{C \times \dot{m} + A_{CR} \times K_{CR} + A \times K}$$

1. Canalón autoportante de chapa de acero
 $\lambda = 58$ $\rho = 7800$ $C = 0,123$
2. Cámara de aire (sin ventilar)
Chica:
 $\lambda = 1,06$ $\rho = 1,29$ $C = 0,28$
Grande:
 $\lambda = 2,56$ $\rho = 1,29$ $C = 0,28$
3. Poliestireno expandido
 $\lambda = 0,031$ $\rho = 30$ $C = 0,38$
4. Cielorraso de placas de yeso
 $\lambda = 0,44$ $\rho = 1000$ $C = 0,30$

CASO N° 1
 $\bar{K} = 0,95 \text{ W/m}^2 \text{ C}$

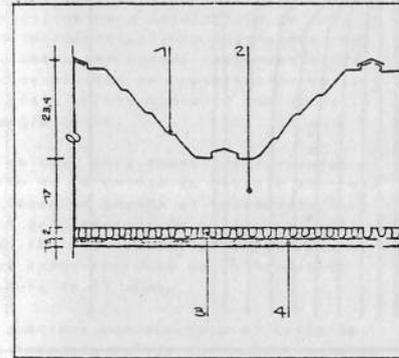


FIGURA N° 1.1

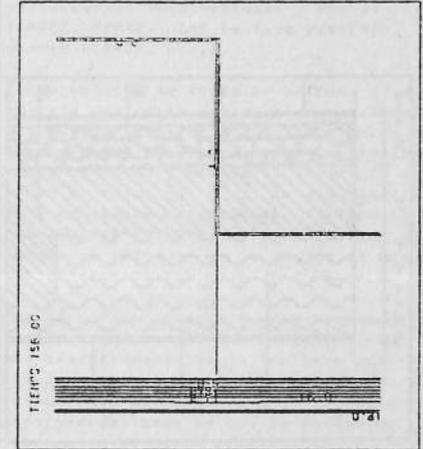


FIGURA N° 1.2

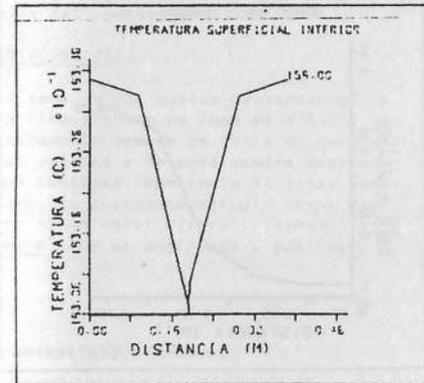


FIGURA N° 1.3

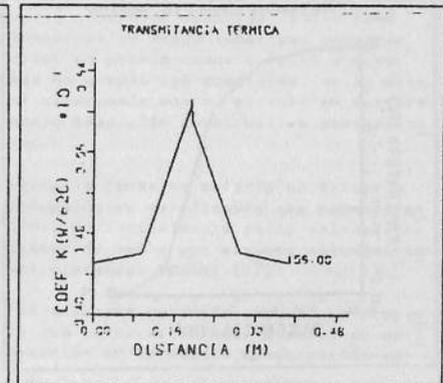


FIGURA N° 1.4

1. Bitumen asfáltico
 $\lambda = 0,16$ $\rho = 1050$ $C = 0,256$
2. Alisado de cemento
 $\lambda = 1,13$ $\rho = 2000$ $C = 0,24$
3. Contrapiso con granulado volcánico
 $\lambda = 0,70$ $\rho = 1600$ $C = 0,24$
4. Hormigón armado con arcilla expandida
 $\lambda = 0,97$ $\rho = 1680$ $C = 0,24$
5. Poliestireno expandido
 $\lambda = 0,037$ $\rho = 25$ $C = 0,38$
6. Mortero a la cal y cemento
 $\lambda = 0,93$ $\rho = 1900$ $C = 0,22$
7. Revoque fino a la cal
 $\lambda = 0,70$ $\rho = 1400$ $C = 0,27$

C A S O N° 22

$K = 0,29 \text{ W/m}^2\text{C}$

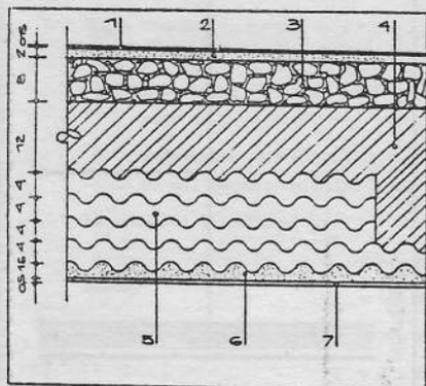


FIGURA N° 22.1

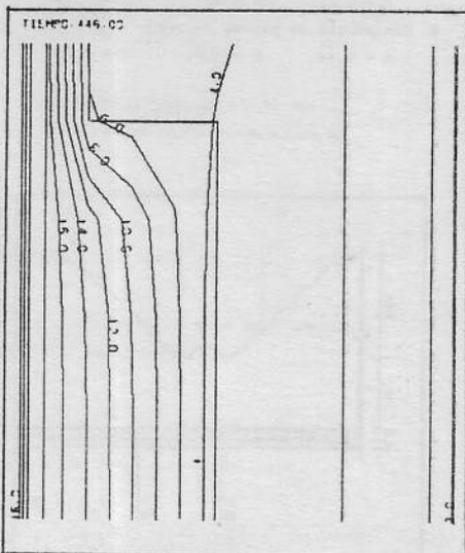


FIGURA N° 22.2

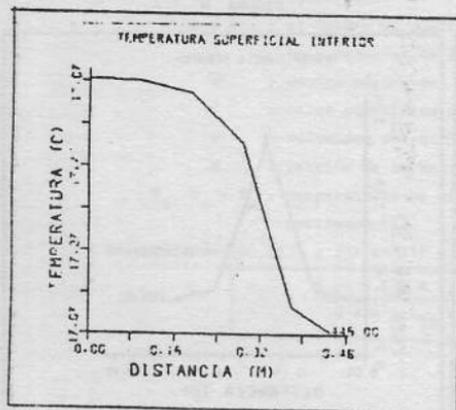


FIGURA N° 22.3

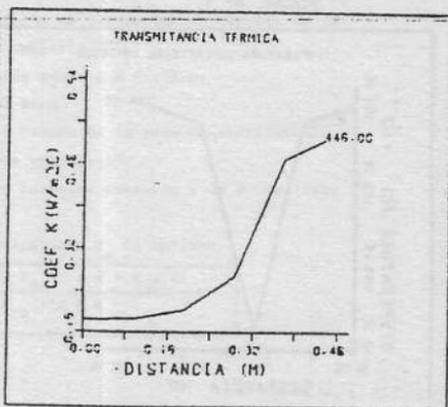


FIGURA N° 22.4