

LA MADERA

Por:
Humberto ALVAREZ Noves
Ingeniero de Montes

COMO AISLAMIENTO TERMICO

Es de sobra conocida la utilización de la madera y de sus productos derivados como aislantes térmicos en la edificación, principalmente en paredes y cubiertas.

La madera y demás materiales celulósicos son malos conductores del calor debido a que estos cuerpos tienen escasez de electrones libres, que son los responsables de una fácil transmisión de esta forma de energía (lo contrario de lo que ocurre en los metales), y también debido a que la madera y sus productos derivados son cuerpos porosos y por consiguiente su amplitud conductora tiene un valor intermedio entre los de sus componentes sólidos y los del aire contenido en los poros.

La conductividad térmica del aire en peso es:

$$\lambda = 0,0216 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C a } 20^\circ\text{C}$$

La conductividad térmica de la sustancia leñosa en la dirección longitudinal a las fibras es $\lambda = 5,62 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$ y en la dirección perpendicular $\lambda = 0,362 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$. La razón de esta diferencia hay que buscarla en la microestructura de la madera, ya que el transporte del calor por conducción, tropieza con menores resistencias en la dirección de las largas moléculas en cadena de celulosa, que ortogonalmente a ellas.

Conductividad Térmica

La conductividad térmica de los materiales corrientemente empleados en la construcción es muy superior a la que presentan los productos forestales, como se puede apreciar en los valores siguientes:

	Kcal/m.h.°C
Aluminio	= 172
Acero.....	= 39
Hormigón	= 1
Ladrillo macizo	= 0,75
Vidrio	= 0,6
Yeso	= 0,45
Madera de frondosas ...	= 0,15
Madera de coníferas ...	= 0,11
Tablero de partículas ...	= 0,08
Tablero de fibras	= 0,06

En todas las aplicaciones prácticas de aislamiento térmico desempeña un papel importante el coeficiente de conductividad térmica λ que puede definirse técnicamente como aquella cantidad de calor, en Kcal, que atraviesa por hora, en régimen permanente, un cubo de un metro de arista, desde una de sus caras a la opuesta, cuando entre éstas existe una diferencia de temperatura de 1°C .

En el sistema internacional la unidad es $\text{W/m}^\circ\text{C}$.

$$1 \text{ Kcal/h} = 1,163 \text{ W (vatio)}$$

Es frecuente que este coeficiente venga expresado en unidades inglesas $\text{Btu in/h ft}^2 \text{ deg F}$ que para convertirlo en unidades térmicas c.g.s. $\text{Kcal/m.h.}^\circ\text{C}$ basta multiplicar las primeras por 0.12404.

La conductividad térmica es la propiedad física que nos indica la mayor o menor facilidad con que una sustancia determinada realiza la transmisión de calor, de-

pendiendo, en el caso concreto de la madera, de los siguientes factores: temperatura, dirección de la fibra, densidad, humedad, contenido de extractos e irregularidades estructurales tales como fendas y nudos. De todos estos factores, los cuatro primeros son los más importantes y a continuación veremos su influencia.

La conductividad térmica de la madera, aumenta conforme se eleva la temperatura; la siguiente fórmula empírica calculada por Kollmann puede ser utilizada dentro del intervalo de temperaturas

$$-50^\circ < t < +100^\circ\text{C}$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 \left[1 - 1,1 - 0,98 \rho_0 \left(\frac{t_1 - t_2}{100} \right) \right]$$

donde ρ_0 es el peso específico anhidro de la madera.

En el caso práctico de una pared, la temperatura que se considera es la temperatura media de las caras caliente y fría. Normalmente se suele considerar la conductividad constante, ya que al hacerlo así, el error cometido es más pequeño que el producido al estimar las pérdidas o ganancias térmicas del edificio o nave industrial objeto de estudio. No obstante en muchos casos concretos puede interesar conocer exactamente la conductividad y en tales casos si hay que tener en cuenta todos aquellos factores que la modifican.

En cuanto a la dirección de la fibra, al ser la madera un cuerpo fibroso y poroso se necesita indicar la dirección de propagación del flujo calorífico y por consiguiente si λ se refiere a la dirección normal a la fibra o paralela a ella, se ha comprobado que λ es de 2,0 a 2,8 veces mayor que la dirección paralela a la fibra que es la dirección normal.

Teniendo en cuenta que la utilización práctica de la madera, el flujo de calor incide en la inmensa mayoría de los casos, en la dirección normal a las fibras, el coe-

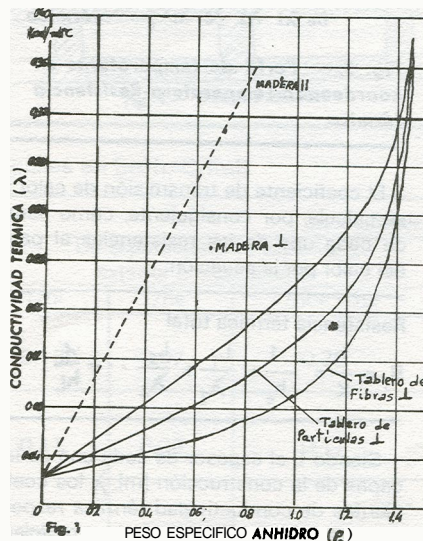


Fig. 1
Conductividad térmica de la madera, tableros de partículas y tableros de fibras en función del peso específico anhidro

ficiente que se considera corrientemente es el de esta dirección.

Para valorar la conductividad en función de la densidad y la humedad existen varias fórmulas empíricas obtenidas al estudiar el comportamiento de un gran número de especies. Una de ellas relaciona la conductividad térmica media perpendicular a las fibras con la densidad de la madera y su humedad, siendo válidas hasta un grado de humedad del 40%.

Esta ecuación empírica es la siguiente:

$$R_h(0,172 + 0,0034h) + 0,0205$$

Siendo

= conductividad térmica en [Kcal/m.h.°C]

R_h = peso seco volumétrico húmedo $\frac{P_o}{V_h}$ [gr/cm³]

h = humedad de la madera [%]

En el cual se ve claramente que el valor del coeficiente λ aumenta conforme aumenta la densidad y la humedad.

También mediante el gráfico de la Fig. 1 podemos obtener la conductividad térmica de la madera, tableros de partículas y tableros de fibras en función del peso específico anhidro.

Transmisión de calor a través de paredes y techos de madera

La madera es un buen aislante térmico y de alto rendimiento, hasta en las condiciones más desfavorables (gran humedad y temperatura). Su acción aislante es mejor para temperaturas bajas, porque entonces suelen compensarse bastante las influencias de humedad y temperatura, ya que la conductividad térmica disminuye

Temperatura

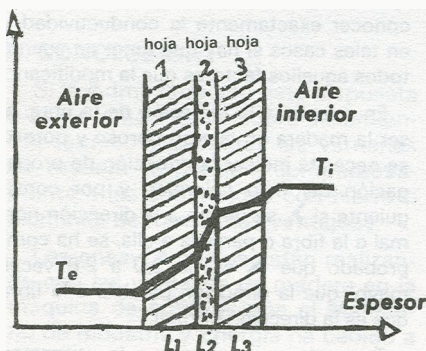


Fig. 2— Perfil de temperaturas en coordenadas: Temperatura-Espesor

más al descender la temperatura que al aumento de conductividad originado por el aumento de la humedad al bajar la temperatura

Para el cálculo numérico de la cantidad de calor Q que fluye por hora en estado de régimen permanente a través de paredes y cubiertas de madera compuestas

siguiente:

$$Q = K F (t_i - t_e) \text{ [Kcal/h]}$$

Siendo F el área de la superficie atravesada [m²]; t_i y t_e las temperaturas del aire en la cara más caliente y más fría respectivamente y K el coeficiente de transmisión de calor [Kcal/m².h.°C] (Fig. n° 2)

El flujo de calor se puede comparar a una corriente eléctrica; la temperatura a un potencial y la resistencia térmica a una resistencia eléctrica.

Esta es la ley de la analogía eléctrica. Es muy importante, ya que cuando el calor un cuerpo, sino un conjunto yuxtapuesto de ellos, las resistencias térmicas se suman para dar la resistencia total, al igual que ocurre con las resistencias eléctricas colocadas en serie (Fig. n° 3).

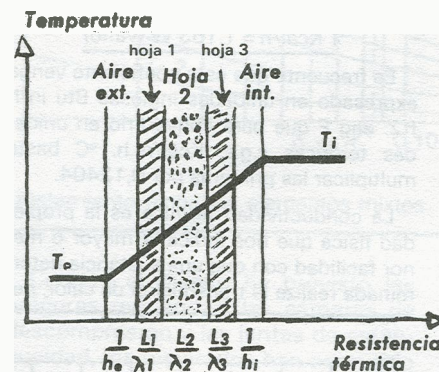


Fig. 3— Perfil de temperaturas en coordenada: Temperatura-Resistencia térmica

El coeficiente de transmisión de calor K se calcula, por consiguiente, como suma de cada una de las resistencias al paso del calor por la ecuación:

Resistencia térmica total

$$R_T = \frac{1}{K} = \frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_i}$$

Siendo L el espesor de cada una de las capas de la construcción [m], λ los coeficientes de conductividad térmica respectivos [Kcal/m.h.°C] y h_e y h_i los coeficientes superficiales de transmisión de calor,

(los subíndices indican la cara exterior o interior del cerramiento, respectivamente), es decir, la transmisión térmica por unidad de área hacia o desde una superficie en contacto con el aire, debido a la

convección, conducción y radiación. El valor del coeficiente superficial depende de muchos factores, tal como el movimiento del aire, la rugosidad de la superficie y la naturaleza y temperatura del ambiente.

La resistencia térmica superficial

$$\frac{1}{h_e} \text{ ó } \frac{1}{h_i}$$

es la recíproca de los coeficientes superficiales y su valor depende, en la práctica del sentido del flujo de calor y de la situación exterior o interior de las superficies.

En la Tabla n° 1 se dan los valores de resistencias térmicas superficiales que deberán estimarse para los cálculos obtenidos experimentalmente.

Resumiendo en los cerramientos formados por una serie de láminas planoparalelas de distintos materiales, el coeficiente K del conjunto se obtiene de la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{K} = \sum \frac{L}{\lambda} + \left(\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \right)$$

siendo

$$\sum \frac{L}{\lambda}$$

la suma de las resistencias térmicas de las diferentes láminas que conforman el cerramiento.

En muchos casos, una de las láminas consiste en una cámara de aire, la cual puede ser considerada por su resistencia térmica ya que la transmisión de calor por radiación y convección a su través es proporcional a la diferencia de temperatura de las paredes que la delimitan.

La resistencia térmica de los espacios de aire dependen de la absorción de las superficies, del espesor de la cámara, del sentido del flujo, del calor, de la inclinación y de la temperatura de los espacios, así como del movimiento del aire dentro de ellas.

Los valores que deben estimarse para los cálculos de la resistencia térmica al paso del calor de las cámaras de aire continuas, considerando al aire en reposo, están dados en la tabla n° 2, en función de la situación de la cámara de aire, de la dirección del flujo de calor y su espesor.

Las edificaciones normalmente nunca están delimitadas por un cerramiento homogéneo y continuo, longitudinal y transversalmente. Los huecos, los elementos estructurales, los encuentros entre forja-

Tabla nº 2. Resistencia térmica de la cámara R_c en $[m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kca]$

Situación de la cámara y dirección del flujo de calor	Espesores de la cámara en mm.				
	10	20	50	100	≥ 150
Cámara de aire vertical y flujo horizontal	0,16	0,19	0,21	0,20	0,19
Cámara de aire horizontal y flujo ascendente	0,16	0,17	0,19	0,19	0,19
Cámara de aire horizontal y flujo descendente	0,17	0,21	0,24	0,24	0,24

dos y muros, las juntas y uniones, los anclajes de los paneles prefabricados, etc., hacen que dicha superficie envolvente de los cerramientos, a través de las cuales tiene lugar los procesos de transmisión de calor, presenten ciertas heterogeneidades que van a influir decisivamente en las características que regulan el equilibrio térmico del sistema edificio-clima exterior.

Por consiguiente, si la homogeneidad de una pared o cubierta se ve interrumpida por la intersección de otro elemento de mayor conductividad térmica, pilares o vigas metálicas, por ejemplo, la cantidad de calor que atraviesa la sección de este material, será mayor que la que atraviesa otra sección cualquiera del resto de la pared o cubierta. Es decir, que la densidad de líneas de flujo de calor en esta zona, es superior a la del resto del cerramiento.

A esta parte de mayor densidad de paso de calor se la denomina puente débil de transmisión de calor o puente térmico.

Los cerramientos con puentes térmicos definen su poder aislante mediante un coeficiente útil de transmisión de calor en cuyo cálculo deben tenerse en cuentas las características termofísicas y geométricas del elemento constitutivo del puente térmico.

El método del cálculo del coeficiente de transmisión térmica útil medio del cerramiento se basa en la descomposición de éste en elementos homogéneos en lo que se determina su correspondiente K.

Es decir:

$$K_m = \frac{\sum K_i F_i}{\sum F_i}$$

Siendo F_i la superficie del cerramiento al que corresponde un coeficiente de transmisión igual a K_i .

De este modo, la resistencia térmica de un bloque hueco, como el que muestra la figura nº 4 con secciones alternativas de material sólido y cámara de aire, puede ser deducida por este procedimiento.

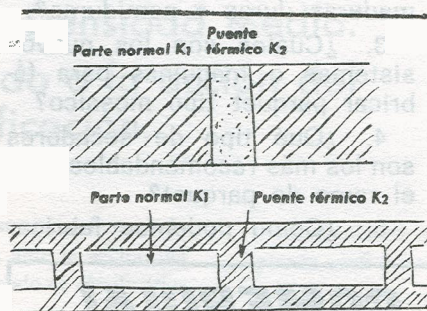


Fig. 4. — Puentes térmicos

Sustración de calor por contacto con los pavimentos

Es de mayor importancia procurar que los pavimentos sustraigan la menor cantidad posible de calor al cuerpo humano al permanecer sobre ellos, sobre todo en oficinas, cuartos de niños, gimnasios, etc. Para evitar esta pérdida de calor, se deben utilizar materiales que tengan una conductividad térmica baja, como es el caso de la madera, la cual se comporta perfectamente a este respecto.

También es debido a la baja conductividad, la sensación de «cuerpo caliente» que se experimenta al tocar un objeto de madera, comparado con un objeto metálico, esto se debe a que en el primer caso, la velocidad de paso del calor del cuerpo humano al objeto es pequeña y por consiguiente no dá sensación de frío.

Utilización de la madera para mangos de enseres de cocina y aparatos de calefacción

Esta utilización de la madera se debe, no sólo porque conduce mal el calor que recibe, sino porque también su temperatura se eleva menos que si se tratase de un metal, es decir, el coeficiente de difusividad térmica a de la madera es pequeño comparado con los metales.

Tabla nº 1. Resistencias térmicas superficiales en $[m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / Kal]$

Posición del cerramiento y sentido del flujo al calor	Situación del cerramiento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
	1/hi	1/he	1/hi + 1/he	1/hi	1/he	1/hi + 1/he
Cerramientos verticales o con pendiente $> 60^\circ$ y flujo longitudinal	0,13	0,07	0,20	0,13	0,13	0,26
Cerramientos horizontales o con pendiente $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,20	0,06	0,26	0,20	0,20	0,40

LA MADERA

El coeficiente de difusividad térmica es un factor que indica la velocidad con que se eleva la temperatura de un material que esté en contacto con un cuerpo más caliente y se determina por la relación siguiente:

Coeficiente de difusividad térmica

$$a = \frac{\text{Coeficiente de conductividad } \lambda}{\text{Calor específico } C \cdot \text{densidad } e} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{h}} \right]$$

Para poder calcular el coeficiente de difusividad, hay que conocer el calor específico C , que se define como la cantidad de calor [Kcal] necesaria para aumentar en 1°C la temperatura de 1 Kg. de una materia: Para el agua vale $C = 1$; para el hierro y cobre $C = 0,1$ aproximadamente; para el hormigón $C = 0,18$ a $0,20$; para la madera seca, el valor medio entre 0° y 100°C es de $0,324$ Kcal/Kg. $^{\circ}\text{C}$, este valor aumenta considerablemente con la humedad de la madera, teniendo en cuenta como ya hemos dicho, que el calor específico del agua es 1, siendo independiente de la especie de madera y del peso específico.

La madera tiene un calor específico muy elevado, comparado con los materiales citados anteriormente, es decir, que al suministrarle una cantidad determinada de calor, la temperatura que alcanza es mucho más baja que en otros cuerpos de menor calor específico.

Por consiguiente al ser la conductividad λ baja comparada con los metales y el calor específico C elevado, se obtiene un coeficiente de difusividad a pequeño, lo que demuestra lo apropiado de la madera para estos usos.