

# CONDUCTIBILIDAD TERMICA DE LAS ALBAÑILERIAS

CARLOS BRAVO M.  
ARQUITECTO

El clima interior óptimo para un espacio arquitectural, difiere en la mayoría de los casos, del clima exterior a que está sometido, por esta razón es necesario recurrir a fuentes artificiales de calor o refrigeración que formen las condiciones adecuadas. La capacidad de aislación térmica de los distintos elementos que limitan exteriormente el espacio, influye en forma importante en el consumo de energía, necesaria para mantener estas condiciones.

De modo que la tendencia, para el caso que nos preocupa, las albañilerías de ladrillo, es conseguir de los muros exteriores una aislación tal, que permita mantener en el interior un clima óptimo y constante, con un mínimo de recursos artificiales, siempre y cuando el mayor costo de una aislación eficaz, no supere económicamente el ahorro de combustible que ella permite.

## 1. TRANSMISION DEL CALOR EN LAS ALBAÑILERIAS DE LADRILLO.

En un muro que forma la periferia de un recinto o un edificio, la cara interna de él recibe el calor del aire que lo rodea por conducción, convección y radiación. El calor se transmite a través del material por conducción y es cedido al aire exterior otra vez por conducción, convección y radiación.

La cantidad de calor transmitida H. dependerá de la diferencia entre las temperaturas del aire interior y de la cara interna del material, de la capacidad de transmisión de calor de dicho material y de la diferencia de temperaturas entre la cara externa del material y el aire exterior.

Normalmente los complejos constructivos no son un todo homogéneo, por el contrario están constituídos por materiales diferentes. El coeficiente global de transmisión, puede determinarse por vía experimental (cámaras térmicas) o por estimación basándose en los coeficientes de conductibilidad térmica de los distintos componentes.

Se indica a continuación la fórmula para calcular el coeficiente global de transmisión (U) en razón de su utilidad para comparar en un primer grado de aproximación la capacidad aislante de un complejo, a pesar de que para una determinación rigurosa el procedimiento experimental (cámaras térmicas) resulta ineludible.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{f_o} + \frac{1}{a} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_a} + \frac{x_3}{k_3}}$$

a = Conductibilidad del espacio de aire en kilocalorías por hora por metro cuadrado de superficie, para una diferencia de temperatura de 1 °C.

f<sub>i</sub> = Conductibilidad del paramento interior.

f<sub>o</sub> = Conductibilidad del paramento exterior.

k = Coeficiente de conductibilidad de los materiales.

x = Espesor de los materiales que forman el muro.

*Ejemplo de Cálculo del valor U para muro de ladrillo de arcilla hecho a mano (Chile).*

Características físicas en cuadro N° 1.

Muro de ladrillo muralla de 0.20 m. de espesor sin revestimientos.

$$\text{Valor de K} = 0.0051 \frac{\text{cal-cm.}}{\text{cm}^2\text{-seg.}} \text{ Unidad C.G.S.}$$

$$\text{Valor de K} = 18,2. \text{ Kilo-cal-m}^2\text{-hr. } ^\circ\text{C} \\ \text{Unidad práctica}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{8,05} + \frac{1}{29,3} + \frac{20}{18,2}} = 0,8 \text{ Kilo-cal-m}^2\text{-hr-}^\circ\text{C}$$

No es posible indicar la capacidad de aislamiento térmico conveniente para un muro, en forma general, puesto que esta dependerá de las condiciones ambientales requeridas para el espacio que el muro protege como también del clima exterior que sobre él actúa.

En rigor, este conjunto de variables, establecen para cada problema en particular características especiales, que probablemente han causado la carencia de normalización sobre este tema. Aún así, sería posible y deseable para nuestro país, una normalización para tipos de vivienda, emplazadas en zonas climáticas diferenciadas, para las cuales se pueden definir exigencias mínimas de espesor para complejos constructivos usuales, normalmente exentos de aislación complementaria.

Resulta evidente, para nuestro país, la necesidad de contar con elementos de juicio, que permitan al profesional evaluar el comportamiento térmico de los complejos constructivos de uso corriente.

En el plano de la simple estimación, es posible recurrir a la comparación de la capacidad aislante de un material con respecto a otro, no como capacidad intrínseca de conductibilidad, sino relacionando sus valores de transmisión  $U$  — que indican el comportamiento térmico del material para una forma real de aplicación en obra.

En las tablas que se insertan a continuación se incluyen valores de  $U$ , expresados en Kilo-calorías- $m^2$ -hora  $^{\circ}C$  para complejos constructivos usuales.

Los valores para muros de ladrillos chilenos del tipo producción tradicional, se calcularon teóricamente sobre la base de los coeficientes  $K$ . (IDIEM) y es probable que difieran de su valor real, comprobación que sólo será posible realizar cuando se disponga en el país del equipo de cámaras térmicas, que permita medir la transmisión del complejo por vía experimental.

Aun así, a pesar de la relativa inseguridad de estos datos, resulta interesante constatar que la capacidad aislante de estos ladrillos, es notablemente superior a muros de espesor equivalente de otros países, puesto que la deplorable calidad de

nuestro ladrillo hecho a mano, tiene como lógica consecuencia una baja densidad del mismo, valor que para un material de cualquier tipo es directamente proporcional a su capacidad de transmisión térmica.

## 2. FACTORES QUE INFLUENCIAN LA TRANSMISION TERMICA DE LAS ALBAÑILERIAS.

1. La transmisión térmica de una albañilería, difiere de la capacidad de transmisión del ladrillo como unidad, debido a que en el complejo interviene también el mortero. En general la transmisión en la unidad es menor que en la albañilería.

2. Para los ladrillos macizos el aumento de densidad se traduce en mayor conductibilidad térmica, aun cuando esta relación no se verifica en proporción lineal. Así se explica que para ladrillos corrientes en E.E. U.U. de densidad igual a 2.300 kg. por  $m^3$  el coeficiente de conductibilidad  $K$  sea de 62 kilo-cal- $m^2$ -hr.  $^{\circ}C$ , en cambio los ladrillos chilenos de fabricación tradicional, según datos del IDIEM con una densidad aproximada de 1.350 kg por  $m^3$ , tiene un coeficiente  $K$  de 18,2 kilo-cal- $m^2$ -hr.  $^{\circ}C$ .

Es evidente, por otra parte la relación entre la densidad y la resistencia mecánica del material, puesto que los ladrillos corrientes en E.E. U.U. resisten hasta 300 kilos por  $cm^2$  a la compresión, en cambio los de nuestro país alcanzan escasamente a los 50 kg/ $cm^2$ .

3. En los ladrillos huecos la conductibilidad no sólo depende del volumen de las cámaras de aire, sino que también de su forma, tamaño y distribución. Se puede expresar, en general, que a los ladrillos huecos con cámaras de aire de menor tamaño, corresponde mayor capacidad aislante, que a las unidades de igual densidad, pero con cámaras mayores.

4. La conductibilidad térmica de un muro de ladrillo, aumenta en proporción directa con su contenido de humedad, de modo que la capacidad de absorción de agua de una albañilería puede alterar notablemente el comportamiento térmico determinado por vía experimental, sobre muestras secas.

5. Para complejos homogéneos, se obtiene una mayor capacidad aislante (menor transmisión térmica) cuando su espesor aumenta. Este es sin duda el factor de mayor importancia en el comportamiento térmico de un muro de ladrillos, su influencia se comprende claramente, puesto que la cantidad de calor  $Q$  que atraviesa un muro de superficie  $S$  y de espesor  $x$ , en un estado estacionario, es directamente proporcional a  $S$  al tiempo  $T$  y la diferencia de temperatura  $t_2-t_1$  e *inversamente proporcional al espesor  $x$* . Es claro que desde el punto de vista del diseño de una albañilería, para condiciones determinadas, los factores  $S$ ,  $T$ ,  $t_2-t_1$ , no pueden ser fijadas para obtener una aislación específica, en cambio el espesor  $x$  puede ser variable, con el objeto de satisfacer deter-

minadas solicitaciones. El factor  $K$  (coeficiente de conductibilidad térmica del material), que compone también la ecuación anterior es susceptible de control, e influencia la capacidad aislante del muro en la forma que se expresa en los puntos anteriores.

6. La capacidad aislante de la unidad es superior a la conductibilidad del complejo, lo que permite suponer en base a la notable diferencia del coeficiente de conductibilidad térmica  $K$  del mortero (147,8 kilo-cal-m<sup>2</sup>-hr. °C) en relación al del ladrillo (18,2 a 62 kilo-cal-m<sup>2</sup>-hr. °C), que a mayor espesor de junta y cantidad de ellas, la transmisión térmica del conjunto será también mayor.

#### VALORES DE U. PARA DIFERENTES TIPOS DE MUROS DE LADRILLOS.

EXTRAIDO DE: "BRICK AND TILE ENGINEERING" HARRY PLUMMER. VALORES CONVERTIDOS DE LA UNIDAD INGLESA BRITISH THERMAL UNIT (BTU) POR HORA-PIE CUADRADO-GRADO FAHRENHEIT A KILOCALORIA-M<sup>2</sup>-HR.

1. Espesor: 0.20 cm. Ladrillo macizo, estuco una cara 2 cm.	2,390.
2. Espesor: 0.20 cm. Ladrillo macizo, con revestimiento aislante en una cara	0,507.
3. Espesor: 0.20 cm. Ladrillo macizo combinado con ladrillo hueco, estuco 2 cm. una cara	1,900.
4. Espesor: 0.20 cm. Ladrillo macizo combinado con ladrillo hueco, revestimiento aislante en una cara	0,480.
5. Espesor: 0.20 cm. Ladrillo hueco 2 hoyos, estuco 2 cm. una cara	1,800.
6. Espesor: 0.20 cm. Ladrillo hueco 3 hoyos, estuco una cara 2 cm.	1,610.
7. Espesor: 0.20 cm. Ladrillo hueco 2 hoyos, revestimiento aislante	0,470.
8. Espesor: 0.20 cm. Ladrillo hueco 3 hoyos, revestimiento aislante	0,460.
9. Espesor: 0.25 cm. Doble pared ladrillo macizo, cámara de aire de 5 cm. Estuco una cara	1,650.
10. Espesor: 0.25 cm. Doble pared ladrillo macizo, cámara de aire 5 cm. Revestimiento aislante	0,450.
11. Espesor: 0.25 cm. Doble pared, ladrillo macizo y hueco, estuco 2 cm. en una cara	1,420.
12. Espesor: 0.25 cm. Doble pared ladrillo macizo y hueco, revestimiento aislante	0,440.
13. Espesor: 0.25 cm. Doble pared ladrillo hueco, estuco de 2 cm.	
14. Espesor: 0.25 cm. Doble pared ladrillo hueco, revestimiento aislante	0,420

**VALORES DE U. PARA DIFERENTES TIPOS DE MUROS DE LADRILLOS.**

SEGUN DATOS DEL LIBRO: "INSTALACIONES EN LOS EDIFICIOS" DE GAY-FAWCET. VALORES EXPRESADOS EN KILO-CALORIAS-M<sup>2</sup>-HORA. °C.

1. Ladrillo común espesor 30 cm. sin revestimiento	1,76.
2. Ladrillo común espesor 30 cm. paramento interior enlucido con 12 mm. de yeso	1,17.
3. Ladrillo común 10 cm. y ladrillo hueco de 30 cm. sin revestimiento	1,32.
4. Ladrillo común 10 cm. y ladrillo hueco de 30 cm. paramento interior enlucido con 12 mm de yeso	2,05.
5. Ladrillo hueco 30 cm. y estuco de una cara	1,46.
6. Ladrillo hueco 30 cm. Estuco en una cara con enlucido de yeso de 12 mm.	1,41.

**VALORES DE U. PARA DIFERENTES COMPLEJOS CONSTRUCTIVOS.**

SEGUN DATOS DEL LIBRO: "INSTALACIONES EN LOS EDIFICIOS" DE GAY-FAWCET. TESIS DE TITULO DE NICOLAS FERRARO Y CESAR CARACCI.

1. Bloques de hormigón de 0.20 m. Estucados	2,73.
2. Bloques de hormigón de 0.20 m. Estucados y enlucido a yeso interiormente	2,54.
3. Bloque de hormigón de escoria, estucados y enlucido a yeso interiormente	2,05.
4. Bloque de hormigón de 0.20 m. de escoria, estucados y enlucido a yeso interiormente	1,90.
5. Muro de piedra de 20 cm. de espesor, sin revestimientos	2,72.
6. Muro de piedra de 20 cm. de espesor, sin estuco interior de 1,25 cm.	2,42.
7. Muro de piedra de 30 cm de espesor, sin revestimientos	2,22.
8. Muro de piedra de 30 cm. de espesor, con estuco interior de 1,25 cm.	2,02.

**VALORES DE U. PARA ALGUNOS COMPLEJOS CONSTRUCTIVOS.**

DEDUCIDOS POR CALCULOS DE LOS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CONDUCTIBILIDAD TERMICA K (IDIEM). LOS VALORES SE EXPRESAN EN KILO-CAL-M<sup>2</sup>-HR. °C.

1. Muro de hormigón corriente de 15 cm. de espesor	3,8.
2. Tabique de eraclit de 10 cm. de espesor	0,78.
3. Tabique de concreto celular de 10 cm. de espesor Densidad 600 Kg/m <sup>3</sup>	1,7.
4. Tabique de concreto celular de 10 cm. de espesor	1,07.

1. Muro de ladrillo muralla. 20 cm. espesor sin estucos	0,80.
2. Muro de ladrillo muralla. 20 cm. espesor, sin estucos	0,43.
3. Muro de ladrillo muralla. 20 cm. espesor, estuco de 2,5 cm. en una cara	0,70.
4. Muro de ladrillo fiscal. 15 cm. espesor, sin estucos	0,98.
5. Muro de ladrillo fiscal. 30 cm. espesor, sin estucos	0,55.
6. Tabique de pandereta. Ladrillo muralla, espesor 10 cm. Estuco dos caras	1,88.

VALORES DE K. PARA ALGUNOS MATERIALES.

SE CONSIDERAN SOLO LOS MATERIALES QUE INTEGRAN LOS COMPLEJOS, CUYOS VALORES DE U. SE ESTABLECEN EN LAS PAGINAS ANTERIORES.

1. Ladrillo corriente EE. UU.	62,00.
2. Ladrillo hueco EE. UU.	48,80.
3. Mortero de cemento por cm. de espesor	147,80.
4. Piedra, promedio	151,20.
5. Hormigón	147,80.
6. Ladrillo chileno, hecho a mano	18,20.
7. Eraclit	9,00.
8. Concreto celular. Densidad: 644 kg/m <sup>3</sup>	12,90.
9. Concreto celular. Densidad: 965 kg/m <sup>3</sup>	22,32.
10. Madera	9,70—27,00.
11. Volcanita	15,12.

Es importante señalar, que el coeficiente K que se ha usado en el cálculo del coeficiente U. (transmisión global), tiene un valor (18,2 Kilo-cal-m<sup>2</sup>-hr. °C.) notablemente diferente a los valores de ladrillos norteamericanos. (62 Kilo-cal-m<sup>2</sup>-hr. °C.).

Esta diferencia se traduce en una gran

capacidad aislante de las albañilerías de ladrillos chilenos, fácilmente comprensible, puesto que los ladrillos chilenos de fabricación tradicional, tienen una densidad promedio de: 1,35 y los ladrillos fabricados a máquina (Norteamericanos) alcanzan una densidad hasta de: 2.00.