

ANEXO 2:

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CALOR K DE CERRAMIENTOS




2.1. Cerramiento simple

Para un cerramiento de caras planoparalelas, formado por un material homogéneo de conductividad térmica λ y espesor L, con coeficientes superficiales de transmisión de calor h_i y h_e , el coeficiente de transmisión de calor K, también llamado de «aire-aire», viene dado por la expresión:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_e}$$

En la tabla 2.1 se dan los valores de $1/h_i$, $1/h_e$ y $1/h_i + 1/h_e$ que deben estimarse para los cálculos, en función de la posición, del cerramiento y del sentido del flujo de calor, y de la situación del cerramiento.

Tabla 2.1
Resistencias térmicas superficiales en $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kcal (m^2 \cdot ^\circ C/W)$

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Situación del cerramiento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal. 	0,13 (0,11)	0,07 (0,06)	0,20 (0,17)	0,13 (0,11)	0,13 (0,11)	0,26 (0,22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente. 	0,11 (0,09)	0,06 (0,05)	0,17 (0,14)	0,11 (0,09)	0,11 (0,09)	0,22 (0,18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente. 	0,20 (0,17)	0,06 (0,05)	0,26 (0,22)	0,20 (0,17)	0,20 (0,17)	0,40 (0,34)

2.2. Cerramiento compuesto

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

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

donde $\sum L/\lambda$ es la suma de las resistencias térmicas de las diferentes láminas que conforman el cerramiento.

Si el cerramiento tiene heterogeneidades regularmente repartidas, pero importantes (huecos de los ladrillos y bloques), en el cálculo de K puede introducirse el concepto de resistencia térmica útil R_u por unidad de superficie, quedando la expresión:

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

2.3. Cerramiento con cámara de aire

Las cámaras de aire pueden ser consideradas 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 los delimitan.

La resistencia térmica de los espacios de aire depende 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.

NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN

CONDICIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS

2.3.1. Cámaras de aire no ventiladas

La tabla 2.2 da 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. Los valores están dados en función de la situación de la cámara de aire, de la dirección del flujo de calor y de su espesor, para cámaras formadas por materiales constructivos corrientes.

Tabla 2.2
Resistencia térmica de la cámara R_c , en $m^2 h \text{ } ^\circ C/kcal (m^2 \text{ } ^\circ C/W)$

Situación de la cámara y dirección del flujo de calor	Espesor de la cámara, en mm				
	10	20	50	100	≥ 150
Cámara de aire vertical y flujo horizontal	0,16 (0,14)	0,19 (0,16)	0,21 (0,18)	0,20 (0,17)	0,19 (0,16)
Cámara de aire horizontal y flujo ascendente	0,16 (0,14)	0,17 (0,15)	0,19 (0,16)	0,19 (0,16)	0,19 (0,16)
Cámara de aire horizontal y flujo descendente	0,17 (0,15)	0,21 (0,18)	0,24 (0,21)	0,24 (0,21)	0,24 (0,21)

2.3.2. Cámaras de aire ventiladas

El grado de ventilación de las cámaras de aire se caracteriza por la relación entre la sección total de los orificios de ventilación S , expresada en cm^2 , y la longitud del cerramiento L , expresada en m , para cerramientos verticales, o la superficie del cerramiento A , expresada en m^2 , en el caso de cerramientos horizontales.

Se consideran tres casos:

Caso I: Cerramientos con cámara de aire débilmente ventilada.

Se consideran las cámaras sin ventilación o con ventilación débil cuando se cumplen las siguientes relaciones:

$S/L < 20 \text{ cm}^2/m$ para cerramientos verticales

$S/A < 3 \text{ cm}^2/m^2$ para cerramientos horizontales

El cálculo del coeficiente K del cerramiento se realiza mediante la expresión:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_c + R_e + \frac{1}{h_e} \text{ en } h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ C/kcal (m^2 \text{ } ^\circ C/W)$$

donde:

R_i es la resistencia térmica de la hoja interior del cerramiento.

R_c es la resistencia térmica de la cámara de aire calculada según apartado anterior.

R_e es la resistencia térmica de la hoja exterior del cerramiento.

Caso II: Cerramientos con cámara de aire medianamente ventilada.

Se consideran las cámaras medianamente ventiladas cuando se cumplen las siguientes relaciones:

$20 \leq S/L < 500 \text{ cm}^2/m$ para cerramientos verticales

$3 \leq S/A < 30 \text{ cm}^2/m^2$ para cerramientos horizontales

El coeficiente K de este cerramiento viene dado por:

$$K = K_1 + \alpha (K_2 - K_1) \text{ en } kcal/h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ C (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$$

Siendo:

K_1 Coeficiente K calculado por la fórmula del Caso I.

K_2 Coeficiente K calculado por la primera fórmula del Caso III.

α Coeficiente de ventilación de la cámara y que toma el valor de la tabla siguiente para cerramientos verticales y de 0,4 para los horizontales.

Tabla 2.3
Coeficiente α de ventilación de cámaras verticales

Relación de resistencias térmicas de las hojas R_e/R_i	Relación S/L , en cm^2/m	
	20 a 200	200 a 500
$< 0,1$	0,10	0,25
0,1 a 0,6	0,20	0,45
0,6 a 1,2	0,30	0,60

Caso III: Cerramientos con cámara de aire muy ventilada.

Se consideran las cámaras muy ventiladas cuando se cumplen las siguientes relaciones:

$S/L \geq 500 \text{ cm}^2/\text{m}$ para cerramientos verticales

$S/A \geq 30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ para cerramientos horizontales

Para realizar el cálculo de la K de este cerramiento se considera inexistente la hoja exterior, si bien entonces el aire exterior se considera en calma. El coeficiente K se calcula de la expresión:

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i} \right) + R_i \text{ en h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

donde:

— Para cerramientos verticales:

$$\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i} \right) = 0,24 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (0,20 m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

— Para cerramientos horizontales con flujo ascendente (techos):

$$\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i} \right) = 0,22 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (0,18 m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

— Para cerramientos horizontales con flujo descendente (suelos):

$$\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i} \right) = 0,31 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal (0,26 m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

Si la hoja exterior del cerramiento consiste en una pantalla o protección situada a cierta distancia, el espacio de aire está totalmente abierto, con lo que el ambiente exterior no puede considerarse en calma. Entonces, el coeficiente K se calcula por la fórmula:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + R_i + \frac{1}{h_e} \text{ en h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

donde: $(1/h_i + 1/h_e)$ toma los valores dados en la tabla 2.1 para cerramientos de separación con el ambiente exterior.

2.4. Cerramientos de espesor variable

2.4.1. Cerramientos con hojas de espesor variable

Para la obtención del coeficiente K se considerará el espesor medio de las hojas de espesor variable, aplicándose las fórmulas dadas en los epígrafes 2.1. Cerramiento Simple y 2.2. Cerramiento Compuesto.

2.4.2. Cerramientos con cámara de aire de espesor variable

Este apartado se refiere principalmente a espacios como desvanes, que conforman una cámara de aire de espesor variable.

La ventilación de la cámara de aire se caracteriza por la relación entre la sección total de los orificios de ventilación S, expresada en cm^2 , y la superficie A, del forjado, que lo separa del local habitable, expresada en m^2 .

El coeficiente de transmisión térmica K que se define a continuación es igual al flujo de calor que atraviesa 1 m^2 de forjado para una diferencia de temperatura entre el local y el exterior de $1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Al igual que en el apartado anterior se consideran tres casos:

Caso I: Cerramientos con cámara de aire débilmente ventilada.

Se considera que la cámara no está o está débilmente ventilada cuando:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_f} + \frac{A_i}{\Sigma(K_e \cdot A_e)} \text{ en } m^2 \text{ h } ^\circ C/kcal \text{ (} m^2 \text{ } ^\circ C/W)$$

Donde:

K_f es el coeficiente de transmisión de calor del forjado en cuyo cálculo se ha tomado:

$$\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) = 0,22 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ C/kcal \text{ (} 0,18 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ C/W)$$

$\Sigma(K_e \cdot A_e)$ es la suma de los productos de $K_e \cdot A_e$ de los cerramientos exteriores que delimitan el espacio de aire, donde K_e es su coeficiente de transmisión de calor y A_e , su superficie.

Caso II: Cerramientos con cámara de aire medianamente ventilada.

Se considera que la cámara está medianamente ventilada cuando:

$$3 \leq S/A_i \leq 30 \text{ cm}^2/m^2$$

En este caso:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_f} + \frac{A_i}{\alpha + \Sigma(K_e \cdot A_e)/A_i}$$

donde:

K_f , K_e , A_e y A_i tienen el mismo significado que en el Caso I anterior.

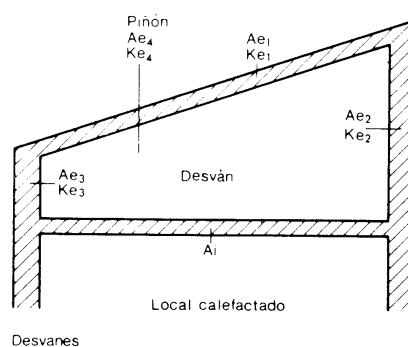
α es un coeficiente igual a $4,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ C$ ($5W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

Caso III: Cerramientos con cámara de aire muy ventilada.

Se considera que la cámara está muy ventilada cuando:

$$S/A_i \geq 30 \text{ cm}^2/m^2$$

El coeficiente K se calcula en este caso con la fórmula dada en Caso III del epígrafe 2.3.2.



2.5. Cerramientos en contacto con el terreno

2.5.1. Cálculo simplificado

El coeficiente de transmisión térmica K de un elemento en contacto con el terreno se calculará con la fórmula:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \Sigma \frac{L}{\lambda}$$

por considerarse nula la resistencia superficial exterior $1/h_e$.

El valor de $1/h$, se tomará de la tabla 2.1 en función de la posición del elemento separador del terreno y el sentido del flujo de calor, siendo λ la conductividad térmica de los elementos que forman el cerramiento en contacto con el terreno y L sus espesores. En el caso de muros semienterrados, el coeficiente K de la parte no enterrada se calculará como se indicó anteriormente.

Cuando el cerramiento horizontal esté separado del terreno por una cámara de aire, se calculará de acuerdo con el apartado 2.5.4.

2.5.2. Cálculo por el método del coeficiente de transmisión térmica lineal k para soleras y muros en contacto con el terreno

Con este método no se emplea la noción del coeficiente de transmisión térmica K a través de una superficie, sino que se utiliza el concepto de coeficiente de transmisión térmica lineal k que es igual al flujo de calor que sale del local por metro de perímetro exterior del terreno o del muro considerado, por $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diferencia de temperatura entre el local y el ambiente exterior. Este coeficiente se expresa en $\text{kcal/m h }^{\circ}\text{C}$ ($\text{W/m }^{\circ}\text{C}$).

Una vez obtenido el k de un cerramiento puede obtenerse el K con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{k \cdot L}{S}$$

Siendo L la longitud de perímetro del cerramiento y S la superficie de la solera o muro.

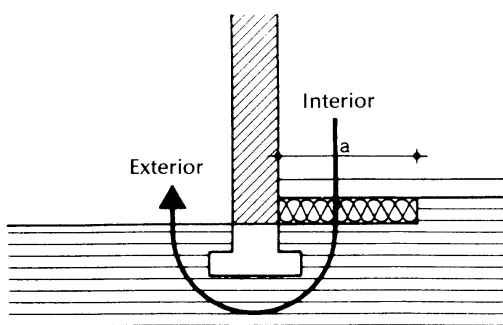
Se consideran cuatro casos:

Caso I: Soleras en contacto con el terreno.

Se consideran en este apartado las soleras a nivel con el terreno o como máximo $0,50\text{ m}$ por debajo de éste.

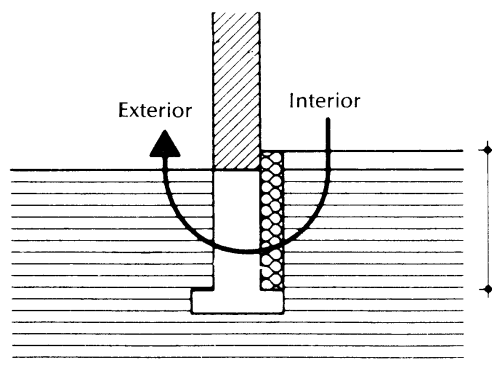
Para soleras sin aislamiento térmico se tomará el valor del coeficiente $k = 1,5\text{ kcal/h m }^{\circ}\text{C}$ ($1,75\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$). Este valor puede mejorarse colocando un aislamiento térmico de cualquiera de las maneras que se indican en las figuras siguientes.

En este caso el coeficiente k viene dado por la tabla 2.4, en función de la resistencia térmica r_i del aislante y por su anchura a .



Solera sobre el terreno

Banda de aislamiento horizontal



Solera sobre el terreno

Banda de aislamiento vertical

Caso II: Muros semienterrados.

El coeficiente k se determina por la tabla 2.5, en función del coeficiente de transmisión térmica del muro enterrado K_m y de la profundidad de la parte enterrada z .

Para el cálculo del coeficiente K_m se considera la suma de las resistencias térmicas superficiales igual a $0,21\text{ m}^2\text{ h }^{\circ}\text{C/kcal}$ ($0,18\text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C/W}$).

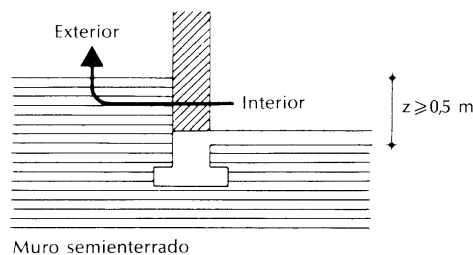
NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN CONDICIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS

Tabla 2.4

Resistencia térmica r_i del aislamiento en $h\ m^2\ ^\circ C/kcal$ ($m^2\ ^\circ C/W$)	Ancho a de la banda de aislamiento en m			
	0,3	0,6	1,2	$\geq 3,0$
0,2	1,35	1,31	1,28	1,26
(0,17)	(1,57)	(1,52)	(1,48)	(1,46)
0,4	1,28	1,20	1,15	1,11
(0,34)	(1,48)	(1,39)	(1,33)	(1,29)
0,6	1,22	1,13	1,06	1,01
(0,51)	(1,41)	(1,31)	(1,23)	(1,17)
0,8	1,18	1,07	0,99	0,93
(0,66)	(1,37)	(1,24)	(1,15)	(1,08)
1,0	1,15	1,03	0,93	0,86
(0,86)	(1,33)	(1,19)	(1,08)	(1,00)
1,2	1,13	0,99	0,88	0,80
(1,03)	(1,31)	(1,15)	(1,02)	(0,93)
1,4	1,11	0,97	0,84	0,75
(1,20)	(1,29)	(1,12)	(0,97)	(0,87)
1,6	1,09	0,95	0,81	0,71
(1,37)	(1,26)	(1,10)	(0,94)	(0,82)
1,8	1,07	0,93	0,78	0,67
(1,54)	(1,24)	(1,08)	(0,90)	(0,77)
2,0	1,06	0,91	0,76	0,63
(1,72)	(1,23)	(1,05)	(0,88)	(0,73)
Coeficiente de transmisión térmica lineal k de la solera en $kcal/h\ m\ ^\circ C$ ($W/m\ ^\circ C$)				

Tabla 2.5

Coeficiente de transmisión térmica K_m del muro enterrado en $kcal/h\ m^2\ ^\circ C$ ($W/m^2\ ^\circ C$)	Profundidad z de la parte enterrada del muro, en m					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,6	0,26	0,47	0,79	1,03	1,22	1,52
(0,69)	(0,30)	(0,54)	(0,91)	(1,19)	(1,41)	(1,76)
0,8	0,34	0,59	0,96	1,22	1,44	1,76
(0,93)	(0,39)	(0,68)	(1,11)	(1,41)	(1,67)	(2,04)
1,0	0,41	0,70	1,11	1,39	1,62	1,96
(1,16)	(0,47)	(0,81)	(1,29)	(1,61)	(1,88)	(2,27)
1,2	0,48	0,80	1,24	1,54	1,77	2,12
(1,39)	(0,55)	(0,98)	(1,44)	(1,79)	(2,05)	(2,46)
1,4	0,54	0,89	1,35	1,66	1,90	2,25
(1,62)	(0,62)	(1,03)	(1,57)	(1,93)	(2,20)	(2,61)
1,6	0,60	0,97	1,45	1,78	2,02	2,37
(1,86)	(0,69)	(1,12)	(1,68)	(2,07)	(2,34)	(2,75)
1,8	0,64	1,04	1,55	1,88	2,12	2,47
(2,09)	(0,74)	(1,20)	(1,80)	(2,18)	(2,46)	(2,87)
2,0	0,70	1,11	1,63	1,97	2,20	2,56
(2,32)	(0,81)	(1,29)	(1,89)	(2,29)	(2,55)	(2,97)
2,2	0,75	1,18	1,70	2,05	2,29	2,65
(2,55)	(0,87)	(1,37)	(1,97)	(2,38)	(2,36)	(3,08)
2,4	0,80	1,23	1,78	2,12	2,37	2,73
(2,79)	(0,93)	(1,43)	(2,07)	(2,46)	(2,75)	(3,17)
2,6	0,84	1,29	1,84	2,19	2,44	2,80
(3,02)	(0,97)	(1,50)	(2,13)	(2,54)	(2,83)	(3,25)
2,8	0,89	1,34	1,90	2,24	2,52	2,87
(3,25)	(1,03)	(1,55)	(2,20)	(2,60)	(2,93)	(3,33)
3,0	0,93	1,40	1,96	2,30	2,60	2,95
(3,48)	(1,08)	(1,62)	(2,27)	(2,67)	(3,02)	(3,43)
Coeficiente de transmisión térmica lineal k del muro enterrado en $kcal/h\ m\ ^\circ C$ ($W/m\ ^\circ C$)						



Caso III: Muros totalmente enterrados.

El coeficiente k se obtiene de la expresión:

$$k = k_s - k_p$$

Donde k_s y k_p son los coeficientes k dados en la tabla de apartado anterior, donde:

k_s es el que se obtiene al hacer $z = z_s$

k_p es el que se obtiene al hacer $z = z_p$

z_s y z_p son las alturas definidas en la figura.

Para entrar en la tabla, el coeficiente k es siempre el coeficiente de transmisión térmica del muro enterrado comprendido entre las cotas z_s y z_p .

Caso IV: Soleras de sótanos enterradas.

Se consideran enterradas las soleras cuando la diferencia de cotas entre el terreno y ellas es superior a 0,50 m.

El coeficiente k se obtiene del ábaco siguiente, en función de la profundidad z a que esté situada la solera.

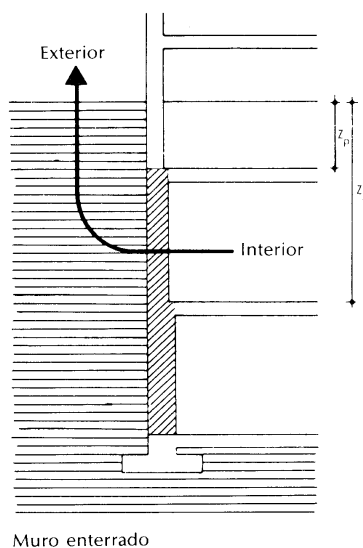


Tabla 2.6

Profundidad z de la solera en mm	0,5	1	2	3	4	5	>6
Coeficiente de transmisión térmica lineal k de la solera enterrada en kcal/h m °C (W/m °C)	1,50 (1,74)	0,87 (1,01)	0,57 (0,66)	0,35 (0,40)	0,20 (0,23)	0,10 (0,11)	0 (0)

2.5.3. Cálculo de K para forjados enterrados y azoteas ajardinadas

El coeficiente de transmisión térmica K viene dado por la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{K} = 0,17 + R_f + \frac{e}{1,6} \text{ (m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal)}$$

$$\frac{1}{K} = 0,14 + R_f + \frac{e}{1,9} \text{ (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

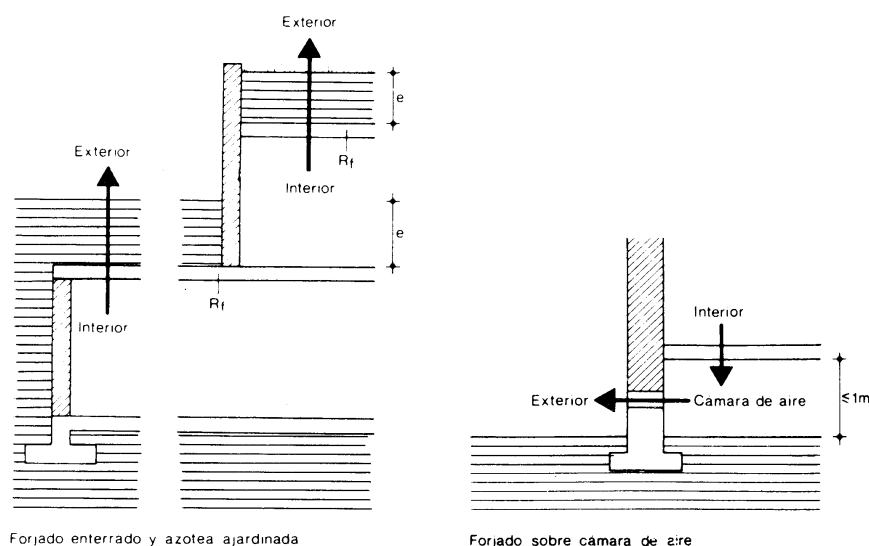
Donde:

R_f es la resistencia interna del forjado expresada en $\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal}$ ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$).

e es el espesor del terreno por encima del forjado, expresado en m.

NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN

CONDICIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS



2.5.4. Cálculo de K para forjados sobre cámara de aire

Este método de cálculo es aplicable para cámaras de aire de una altura inferior o igual a 1 m. En caso contrario, la cámara se considerará como un local y su coeficiente K se calculará según los apartados 2.1 o 2.2, donde $1/h_e$ tomará los valores dados en la tabla 2.1 para cerramientos exteriores.

El coeficiente de transmisión térmica definido por la fórmula siguiente es igual al flujo de calor que atraviesa 1 m² de forjado, por 1 °C de diferencia de temperatura entre este local y el ambiente exterior.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_f} + \frac{1}{\alpha + 2,6 (l_{ex}/A)} \quad (\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal})$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_f} + \frac{1}{\alpha + 3 (l_{ex}/A)} \quad (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W})$$

Donde:

K_f es el coeficiente de transmisión térmica del forjado que separa el local de la cámara de aire, en kcal/m² h °C (W/m² °C), y calculado tomando la suma de las resistencias superficiales ($1/h_i + 1/h_e$) igual a 0,34 m² h °C/kcal (0,29 m² °C/W)

l_{ex} es el perímetro exterior de la cámara de aire en m.

A es la superficie de la cámara de aire en m².

α es un coeficiente cuyo valor se da en la tabla siguiente, en función de la relación entre la sección total de las aberturas de ventilación S, en cm² y la superficie de la cámara de aire A, en m².

Tabla 2.7

Relación S/A en cm ² /m ²	Coeficiente α en	
	kcal/m ² h °C	(W/m ² °C)
Cámara de aire muy ventilada ≥ 10	1,4	(1,6)
Cámara de aire medianamente ventilada 2 - 10	0,35	(0,4)
Cámara de aire muy poco ventilada < 2	0,0	(0,0)

2.6. Coeficiente útil de transmisión de calor

2.6.1. Generalidades

Las edificaciones nunca están delimitadas por un cerramiento normalmente homogéneo y continuo, longitudinal y transversalmente. Los huecos, los elementos estructurales, los encuentros entre forjados y muros, las juntas y uniones con mortero, anclajes tanto de los paneles prefabricados como de ladrillos y bloques, etc., hacen que dicha superficie envolvente de los cerramientos, a través de las cuales tienen lugar los procesos de transmisión del calor y de la difusión del vapor de agua entre los dos ambientes que separa, presente ciertas

heterogeneidades que van a influir decisivamente en las características que regularán 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, pilar 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 flujo de calor se la denomina punto 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 cuenta las características termofísicas y geométricas del elemento constitutivo del puente térmico.

2.6.2. Cerramientos con heterogeneidades simples

Se dice que una heterogeneidad es simple cuando ésta queda perfectamente definida y delimitada por dos planos perpendiculares a las caras del cerramiento, así como cuando en la constitución del conjunto del cerramiento, no existen flujos de calor laterales realmente importantes entre la parte heterogénea y el resto del cerramiento. Termofísicamente hablando la heterogeneidad viene definida por un coeficiente de transmisión térmica distinto, mayor o menor, que el del resto del cerramiento.

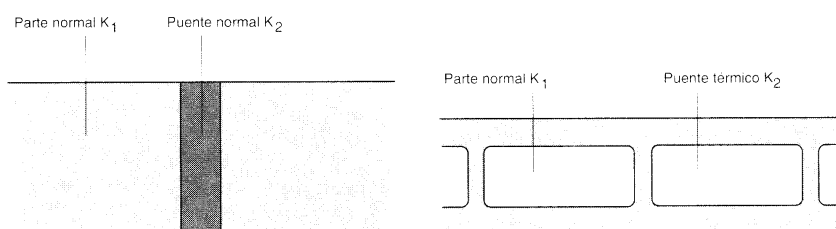
El método del cálculo del coeficiente de transmisión térmica útil medio del cerramiento se basa en la descomposición de éste en elementos homogéneos en los que se determina su correspondiente K.

Es decir:

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

siendo A_i la superficie del cerramiento a 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, con secciones alternativas de material sólido y cámara de aire, puede ser deducida por este procedimiento siempre que el espesor del espacio de aire sea igual o mayor de 20 mm y suficientemente grande en comparación con su espesor total. Sin embargo, en el caso de ladrillos huecos no puede seguirse este método dado que los espacios de aire no cumplen esas condiciones, por lo que su resistencia térmica útil puede obtenerse de la tabla que se da al final de este Anexo.



2.6.3. Cerramientos con heterogeneidades complejas

A continuación se explica el sistema de cálculo de cerramientos con las heterogeneidades complejas que suelen ser más frecuentes en construcción.

Se consideran dos casos:

Caso I: Cerramientos con un entramado de perfil metálico.

Se sigue el mismo procedimiento de cálculo del apartado anterior. La heterogeneidad compleja se asimila a una simple en la que la anchura y el coeficiente de transmisión K son los siguientes:

— Para perfiles en I:

La anchura de la heterogeneidad equivalente es la longitud L del ala del perfil. La K equivalente se deduce de:

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) \frac{1}{1 + \frac{E}{L}} + \frac{H}{\lambda_m} \left(\frac{L}{E} - \frac{L}{H} \right) \text{ en } h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN CONDICIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS

donde λ_m es la conductividad térmica del metal del perfil, y E, L y H son las dimensiones acotadas en la figura, expresadas en m.

— Para perfiles en U:

La anchura de la heterogeneidad equivalente es la longitud L del ala del perfil. La K equivalente se deduce de:

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) \frac{1}{1 + \frac{E}{L}} + \frac{H}{\lambda_m} \cdot \frac{L}{E} \text{ en h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$$

con las mismas notaciones que en el párrafo anterior.

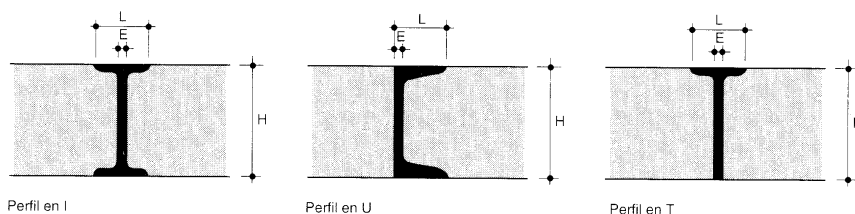
— Para perfiles en T:

La anchura equivalente de la heterogeneidad E es la del alma del perfil, y el coeficiente K equivalente se deduce de las expresiones siguientes:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} \frac{E/L}{1 + E/L} + \frac{H}{\lambda_m} \left(1 - 0,75 \frac{E}{H} \right) + \frac{1}{h_e} \text{ Ala por la parte interior}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{H}{\lambda_m} \left(1 - 0,75 \frac{E}{H} \right) + \frac{1}{h_e} \cdot \frac{E/L}{1 + E/L} \text{ Ala por la parte exterior}$$

con las mismas unidades y notación que anteriormente.



Caso II: Cerramiento de paneles de hormigón con relleno de material aislante.

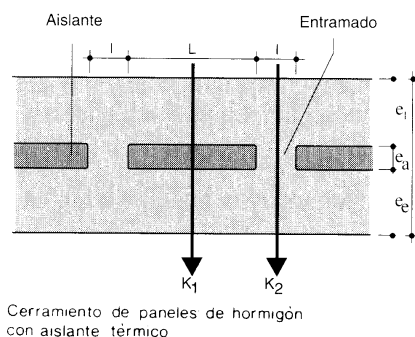
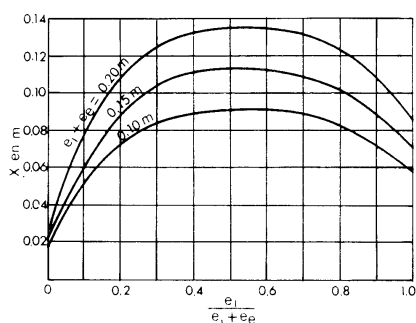
En este caso se sigue empleando el método de la ecuación del apartado 2.6.2, pero mayorando las superficies del entramado o parte maciza y minorando las de las partes normales del cerramiento. La mayoración de la superficie de los entramados o partes macizas se obtiene de aumentar su anchura real en una cantidad x dada por el ábaco adjunto en función de:

- espesor total del hormigón ($e_i + e_e$) en metros, y
- de la relación $e_i / (e_i + e_e)$.

Los límites de aplicación de este método son los siguientes:

- Conductividad térmica útil del aislante, inferior a 0,05 kcal/m h $^\circ\text{C}$ (0,06 W/m $^\circ\text{C}$).
- La distancia media entre entramados o partes macizas es superior a tres veces su anchura media.

Sobre los bordes de estos cerramientos la mayoración y minoración de superficies es de x/2.



2.7. Conductividades térmicas de materiales empleados en cerramientos

Los datos que aparecen en esta tabla de algunos materiales utilizables en cerramientos son valores típicos indicativos para los cálculos que se precisan en esta Norma. Pueden tomarse valores más estrictos cuando el material disponga de datos avalados por Marca o Sello de Calidad y en su defecto se disponga de ensayos realizados en los últimos dos años por laboratorios oficiales.

Los valores aparecen en unidades tradicionales y entre paréntesis en el Sistema Internacional SI, y están dados para una temperatura de 0 °C.

Tabla 2.8

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica λ	
		kcal/hm °C	(W/m °C)
ROCAS Y SUELOS NATURALES			
Rocas y terrenos			
— Rocas compactas	2.500-3.000	3,00	(3,50)
— Rocas porosas	1.700-2.500	2,00	(2,33)
— Arena con humedad natural	1.700	1,20	(1,40)
— Suelo coherente humedad natural	1.800	1,80	(2,10)
Arcilla	2.100	0,80	(0,93)
Materiales suelos de relleno desecados al aire, en forjados, etc.			
— Arena	1.500	0,50	(0,58)
— Grava rodada o de machaqueo	1.700	0,70	(0,81)
— Escoria de carbón	1.200	0,16	(0,19)
— Cascote de ladrillo	1.300	0,35	(0,41)
PASTAS, MORTEROS Y HORMIGONES			
Revestimientos continuos			
— Morteros de cal y bastardos	1.600	0,75	(0,87)
— Mortero de cemento	2.000	1,20	(1,40)
— Enlucido de yeso	800	0,26	(0,30)
— Enlucido de yeso con perlita	570	0,16	(0,18)
Hormigones normales y ligeros			
— Hormigón armado (normal)	2.400	1,40	(1,63)
— Hormigón con áridos ligeros	600	0,15	(0,17)
— Hormigón con áridos ligeros	1.000	0,28	(0,33)
— Hormigón con áridos ligeros	1.400	0,47	(0,55)
— Hormigón celular con áridos silíceos	600	0,29	(0,34)
— Hormigón celular con áridos silíceos	1.000	0,58	(0,67)
— Hormigón celular con áridos silíceos	1.400	0,94	(1,09)
— Hormigón celular sin áridos	305	0,08	(0,09)
— Hormigón en masa con grava normal:			
• con áridos ligeros	1.600	0,63	(0,73)
• con áridos ordinarios, sin vibrar	2.000	1,00	(1,16)
• con áridos ordinarios, vibrado	2.400	1,40	(1,63)
— Hormigón en masa con arcilla expandida	500	0,10	(0,12)
— Hormigón en masa con arcilla expandida	1.500	0,47	(0,55)
Fábrica de bloques de hormigón incluidas juntas (1)			
— Con ladrillos silicocalcáreos macizo	1.600	0,68	(0,79)
— Con ladrillos silicocalcáreos perforado	2.500	0,48	(0,56)
— Con bloques huecos de hormigón	1.000	0,38	(0,44)
— Con bloques huecos de hormigón	1.200	0,42	(0,49)
— Con bloques huecos de hormigón	1.400	0,48	(0,56)
— Con bloques hormigón celular curado vapor	600	0,30	(0,35)
— Con bloques hormigón celular curado vapor	800	0,35	(0,41)
— Con bloques hormigón celular curado vapor	1.000	0,40	(0,47)
— Con bloques hormigón celular curado aire	800	0,38	(0,44)
— Con bloques hormigón celular curado aire	1.000	0,48	(0,56)
— Con bloques hormigón celular curado aire	1.200	0,60	(0,70)
Placas o panales			
— Cartón-yeso	900	0,16	(0,18)
— Hormigón con fibra de madera	450	0,07	(0,08)
— Placas de escayola	800	0,26	(0,30)
LADRILLOS Y PLAQUETAS			
— Fábrica de ladrillo macizo	1.800	0,75	(0,87)
— Fábrica de ladrillo perforado	1.600	0,65	(0,76)
— Fábrica de ladrillo hueco	1.200	0,42	(0,49)
— Plaquetas	2.000	0,90	(1,05)

NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN

CONDICIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS

Tabla 2.8 (Continuación)

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica λ	
		kcal/hm °C	(W/m °C)
VÍDRIO (2)			
— Vidrio plano para acristalar	2.500	0,82	(0,95)
METALES			
— Fundición y acero	7.850	50	(58)
— Cobre	8.900	330	(384)
— Bronce	8.500	55	(64)
— Aluminio	2.700	175	(204)
MADERA			
— Maderas frondosas	800	0,18	(0,21)
— Maderas de coníferas	600	0,12	(0,14)
— Contrachapado	600	0,12	(0,14)
— Tablero aglomerado de partículas	650	0,07	(0,08)
PLÁSTICOS Y REVESTIMIENTOS DE SUELOS			
— Linóleo	1.200	0,16	(0,19)
— Moquetas, alfombras	1.000	0,04	(0,05)
MATERIALES BITUMINOSOS			
— Asfalto	2.100	0,60	(0,70)
— Betún	1.050	0,15	(0,17)
— Láminas bituminosas	1.100	0,16	(0,19)
MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS			
— Arcilla expandida	300	0,073	(0,085)
— Arcilla expandida	450	0,098	(0,114)
— Aglomerado de corcho UNE 5.690	110	0,034	(0,039)
— Espuma elastomérica	60	0,029	(0,034)
— Lana de vidrio:			
• Tipo I	10-18	0,038	(0,044)
• Tipo II	19-30	0,032	(0,037)
• Tipo III	31-45	0,029	(0,034)
• Tipo IV	46-65	0,028	(0,033)
• Tipo V	66-90	0,028	(0,033)
• Tipo VI	91	0,031	(0,036)
— Lana mineral:			
• Tipo I	30-50	0,036	(0,042)
• Tipo II	51-70	0,034	(0,040)
• Tipo III	71-90	0,033	(0,038)
• Tipo IV	91-120	0,033	(0,038)
• Tipo V	121-150	0,033	(0,038)
— Perlita expandida	130	0,040	(0,047)
— Poliestireno expandido UNE 53.310:			
• Tipo I	10	0,049	(0,057)
• Tipo II	12	0,038	(0,044)
• Tipo III	15	0,032	(0,037)
• Tipo IV	20	0,029	(0,034)
• Tipo V	25	0,028	(0,033)
— Poliestireno extrusionado	33	0,028	(0,033)
— Polietileno reticulado	30	0,033	(0,038)
— Polisocianurato, espuma de	35	0,022	(0,026)
— Poliuretano conformado, espuma de			
• Tipo I	32	0,020	(0,023)
• Tipo II	35	0,020	(0,023)
• Tipo III	40	0,020	(0,023)
• Tipo IV	80	0,034	(0,040)
— Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de			
• Tipo I	35	0,020	(0,023)
• Tipo II	40	0,020	(0,023)
— Urea formol, espuma de	10-12	0,029	(0,034)
— Urea formol, espuma de	12-14	0,030	(0,035)
— Vermiculita expandida	120	0,030	(0,035)
— Vidrio celular	160	0,038	(0,044)

(1) Las densidades se refieren al bloque, no a la fábrica.

(2) Véase tabla de resistencias térmicas.

2.8. Resistencias térmicas útiles de elementos constructivos

En las siguientes tablas se dan con carácter orientativo los valores útiles que pueden emplearse de resistencia térmica de algunos elementos constructivos que pueden formar parte del cerramiento o constituir ellos mismos el propio cerramiento.

2.8.1. Muros de cerramiento de ladrillo

En las tablas 2.9 y 2.10 se da el valor de la resistencia térmica útil de un cerramiento de ladrillo de una hoja, en función del tipo de ladrillo, hueco, perforado o macizo, y del espesor del cerramiento, excluidos los revestimientos que pudiera llevar.

Tabla 2.9

Formato métrico		Espesor E, en cm, del cerramiento						
Tipo de ladrillo	Peso específico en kg/m ³	4,0	5,3	9,0	11,5	24,0	36,0	49,0
Hueco	1.200	0,09 (0,07)	0,13 (0,11)	0,21 (0,18)	0,27 (0,23)	0,57 (0,49)	0,86 (0,74)	1,17 (1,00)
Perforado	1.600	0,06 (0,05)	0,08 (0,07)	0,14 (0,12)	0,18 (0,15)	0,37 (0,32)	0,55 (0,47)	0,75 (0,65)
Macizo	1.800	0,05 (0,04)	0,07 (0,06)	0,12 (0,10)	0,15 (0,13)	0,32 (0,27)	0,48 (0,41)	0,65 (0,60)
		Resistencia térmica R en m ² h °C/kcal (m ² °C/W)						

Tabla 2.10

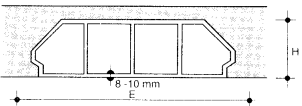
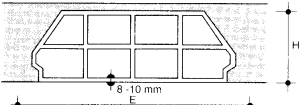
Formato catalán		Espesor E, en cm, del cerramiento						
Tipo de ladrillo	Peso específico en kg/m ³	4,0	6,5	9,0	14,0	19,0	29,0	44,0
Hueco	1.200	0,09 (0,07)	0,15 (0,13)	0,21 (0,18)	0,33 (0,28)	0,45 (0,39)	0,69 (0,59)	1,04 (0,89)
Perforado	1.600	0,06 (0,05)	0,10 (0,09)	0,14 (0,12)	0,21 (0,18)	0,29 (0,25)	0,45 (0,39)	0,68 (0,58)
Macizo	1.800	0,05 (0,04)	0,09 (0,07)	0,12 (0,10)	0,19 (0,16)	0,25 (0,22)	0,39 (0,34)	0,59 (0,50)
		Resistencia térmica R en m ² h °C/kcal (m ² °C/W)						

2.8.2. Forjados

En la tabla 2.11 se dan valores de resistencias térmicas útiles de algunos tipos de forjados unidireccionales con bovedillas, cerámicas o de hormigón, para distintas alturas de bovedillas y distancias de entrevigado.

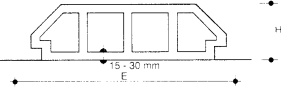
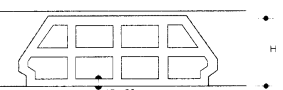
Estos valores se dan para hormigón de relleno de senos y capa de compresión, con áridos normales.

Tabla 2.11

Tipo de forjado	Distancia de entrevigado E en cm	Altura H en la bovedilla, en cm				
		8	12	16	20	25
Bovedilla cerámica 	< 45	0,09 (0,08)	0,13 (0,11)			
	45 a 65	0,13 (0,11)	0,16 (0,14)			
	> 65	0,14 (0,12)	0,19 (0,16)			
Bovedilla cerámica 	< 45		0,15 (0,13)	0,20 (0,17)	0,24 (0,21)	0,29 (0,25)
	45 a 65		0,22 (0,19)	0,27 (0,23)	0,30 (0,26)	0,36 (0,31)
	> 65		0,27 (0,23)	0,31 (0,27)	0,35 (0,30)	0,40 (0,34)

NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN CONDICIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS

Tabla 2.11
Resistencia térmica R, en m² h °C/kcal (m² °C/W)

Tipo de forjado	Distancia de entrevigado E en cm	Altura H en la bovedilla, en cm				
		8	12	16	20	25
Bovedilla de hormigón 	< 65		0,13 (0,11)	0,15 (0,13)	0,17 (0,15)	0,21 (0,18)
	≥ 65		0,14 (0,12)	0,16 (0,14)	0,19 (0,16)	0,22 (0,19)
Bovedilla de hormigón 	< 65				0,26 (0,22)	0,29 (0,25)
	≥ 65				0,27 (0,23)	0,31 (0,27)

2.8.3. Ventanas

Se consideran en este apartado las ventanas que pueden formar parte del cerramiento del edificio. No se da su resistencia térmica, pues estos elementos en sí constituyen el propio cerramiento, por lo que añadiéndole la resistencia térmica superficial se obtiene su resistencia térmica total, es decir, el valor inverso de K.

Los valores de la tabla 2.12 se dan para la superficie total del hueco y no de la superficie del vidrio. Se ha estimado que ésta corresponde a 0,7 del hueco en carpintería de madera y 0,8 en carpintería metálica.

Tabla 2.12
Coeficiente de transmisión térmica K, en kcal/m² °C (W/m² °C)

Tipo de acristalamiento	Espesor nominal de la cámara de aire, en mm	Tipo de carpintería	Inclinación del hueco con respecto a la horizontal	
			≥ 60°	< 60°
Sencillo		Madera	4,3 (5,0)	4,7 (5,5)
		Metálica	5,0 (5,8)	5,6 (6,5)
Doble	6	Madera	2,8 (3,3)	3,0 (3,5)
		Metálica	3,4 (4,0)	3,7 (4,3)
	9	Madera	2,7 (3,1)	2,8 (3,3)
		Metálica	3,4 (3,9)	3,6 (4,2)
	12	Madera	2,5 (2,9)	2,7 (3,1)
		Metálica	3,2 (3,7)	3,4 (4,0)
Doble ventana	≥ 30	Madera	2,2 (2,6)	2,3 (2,7)
		Metálica	2,6 (3,0)	2,8 (3,2)
Hormigón traslúcido	—	—	3,0 (3,5)	3,2 (3,7)

2.8.4. Puertas

Se consideran en este apartado las puertas que pueden formar parte de cerramientos con el exterior o con locales no calefactados. Análogamente al apartado 2.8.3 en la tabla 2.13 se dan los valores del coeficiente de transmisión térmica k para los distintos casos, donde el porcentaje expresado es el de la superficie del vidrio sobre la superficie total de la puerta.

Tabla 2.13
Coeficiente de transmisión térmica K , en $\text{kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$)

Tipo de puerta		Separación con:	
		Exterior	Local no calefactado
Madera	Opaca	3,0 (3,5)	1,7 (2,0)
	Acrilamiento simple en < 30%	3,4 (4,0)	
	Acrilamiento simple en 30 a 60%	3,9 (4,5)	
	Acrilamiento doble	2,8 (3,3)	
Metálica	Opaca	5,0 (5,8)	3,9 (4,5)
	Acrilamiento simple	5,0 (5,8)	
	Acrilamiento doble con cámara de 6 mm en < 30%	4,7 (5,5)	
	Acrilamiento doble con cámara de 6 mm en 30 a 70%	4,1 (4,8)	
Vidrio sin carpintería		5,0 (5,8)	3,9 (4,5)