



Documento de Apoyo al Documento Básico

DB-HE Ahorro de energía

Código Técnico de la Edificación

DA DB-HE / 1

Cálculo de parámetros característicos de la envolvente

Octubre 2013

Índice

1	Objeto	2
2	Cálculo de los parámetros característicos de la envolvente	2
	2.1 Transmitancia térmica	2
	2.2 Factor solar modificado de huecos y lucernarios	12
3	Resistencia térmica total de un elemento de edificación constituido por capas homogéneas y heterogéneas.	14
	3.1 Límite superior de la resistencia térmica total R'_T	15
	3.2 Límite inferior de la resistencia térmica total R''_T	15
	3.3 Resistencia térmica de cavidades de aire sin ventilar R_g	16
	Notaciones y unidades	18
	Otros documentos relacionados	19

1 Objeto

Este documento describe varios métodos simplificados que se pueden emplear para el cálculo de los parámetros característicos de los diferentes elementos que componen la envolvente térmica del edificio, lo que no impide el uso de otros métodos contrastados, sean simplificados o detallados.

2 Cálculo de los parámetros característicos de la envolvente

2.1 Transmitancia térmica

2.1.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior

Este cálculo es aplicable a la parte opaca de todos los *cerramientos* en contacto con el aire exterior tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.

La transmitancia térmica U ($W/m^2 \cdot K$) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

siendo,

R_T la resistencia térmica total del componente constructivo [$m^2 \cdot K / W$].

La resistencia térmica total R_T de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (2)$$

siendo,

R_1, R_2, \dots, R_n las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión (3) [$m^2 \cdot K / W$];

R_{si} y R_{se} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla 1 de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [$m^2 \cdot K / W$].

En caso de un componente constituido por capas homogéneas y heterogéneas la resistencia térmica total R_T se calcula mediante el procedimiento descrito en el apartado 3.

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

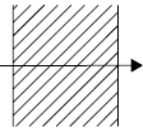
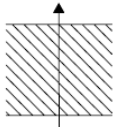
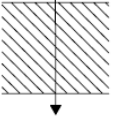
$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$

siendo,

e el espesor de la capa [m]. En caso de una capa de espesor variable se considera el espesor medio;

λ la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, que se puede calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE-EN 10456:2012.

Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $m^2 \cdot K / W$

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Las cámaras de aire pueden ser caracterizadas por su resistencia térmica, según las siguientes tipologías:

- a) cámara de aire sin ventilar: aquella en la que no existe ningún sistema específico para el flujo del aire a través de ella. Una cámara de aire que no tenga aislamiento entre ella y el ambiente exterior pero con pequeñas aberturas al exterior puede también considerarse como cámara de aire sin ventilar, si esas aberturas no permiten el flujo de aire a través de la cámara y no exceden:
- 500 mm^2 por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
 - 500 mm^2 por m^2 de superficie para cámaras de aire horizontales.

La resistencia térmica de las cámaras de aires sin ventilar viene definida en la tabla 2 en función de su espesor. Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Los valores son aplicables cuando la cámara:

- esté limitada por dos superficies paralelas entre sí y perpendiculares a la dirección del flujo de calor y cuyas emisividades sean superiores a 0,8;
- tengan un espesor menor a 0,1 veces cada una de las otras dos dimensiones y no mayor a 0,3 m;
- no tenga intercambio de aire con el ambiente interior.

Tabla 2 Resistencias térmicas de cámaras de aire en $m^2 \cdot K / W$

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

- b) cámara de aire ligeramente ventilada: aquella en la que no existe un dispositivo para el flujo de aire limitado a través de ella desde el ambiente exterior pero con aberturas dentro de los siguientes rangos:
- 500 $mm^2 < S_{aberturas} \leq 1500 mm^2$ por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
 - 500 $mm^2 < S_{aberturas} \leq 1500 mm^2$ por m^2 de superficie para cámaras de aire horizontales.

La resistencia térmica de una cámara de aire ligeramente ventilada es la mitad de los valores de la tabla 2.

- c) cámara de aire muy ventilada: aquella en que los valores de las aberturas exceden:
- 1500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
 - 1500 mm² por m² de superficie para cámaras de aire horizontales.

Para cámaras de aire muy ventiladas, la resistencia térmica total del cerramiento se obtiene despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y las de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento.

La transmitancia térmica U_{MD} (W/m²·K) de las medianerías se calcula como un cerramiento en contacto con el exterior pero considerando las resistencias superficiales como interiores.

2.1.2 Cerramientos en contacto con el terreno

2.1.2.1 Suelos en contacto con el terreno

Para el cálculo de la transmitancia U_s (W/m²·K) se consideran en este apartado:

- CASO 1 soleras o losas apoyadas sobre el nivel del terreno o como máximo 0,50 m por debajo de éste;
- CASO 2 soleras o losas a una profundidad superior a 0,5 m respecto al nivel del terreno.

CASO 1

La transmitancia térmica U_s (W/m²·K) se obtiene de la tabla 3 en función del ancho D de la banda de aislamiento perimetrico, de la resistencia térmica del aislante R_a calculada mediante la expresión (3) y la longitud característica B' de la solera o losa.

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

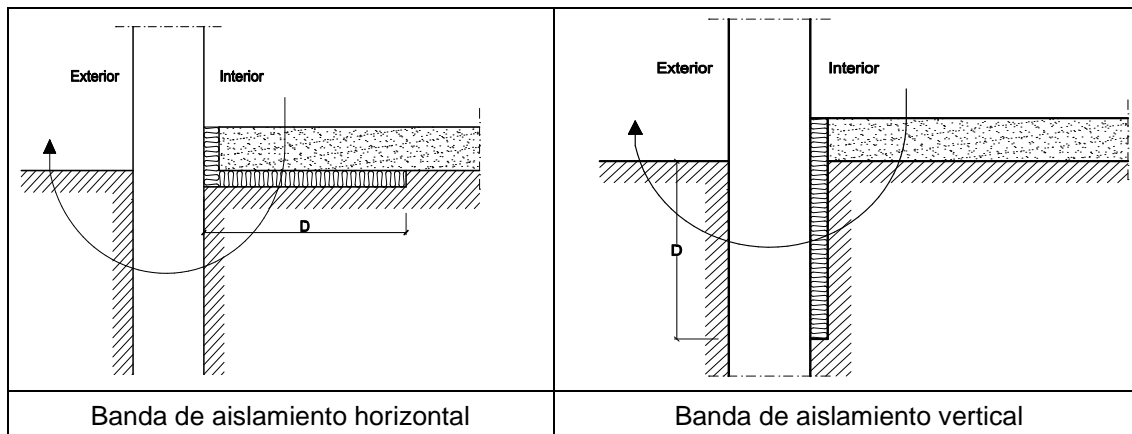


Figura 1 Soleras con aislamiento perimetral

Se define la longitud característica B' como el cociente entre la superficie del suelo y la longitud de su semiperímetro expuesto, según la expresión:

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} \quad (4)$$

siendo,

- P la longitud del perímetro expuesto de la solera [m];
- A el área de la solera [m²].

Para soleras o losas sin aislamiento térmico, la transmitancia térmica U_s se toma de la columna $R_a = 0$ m²·K/W en función de su longitud característica B' .

Para soleras o losas con aislamiento continuo en toda su superficie se toman los valores de la columna $D \geq 1,5$ m.

La transmitancia térmica del primer metro de losa o solera se obtiene de la fila $B' = 1$.

Tabla 3 Transmitancia térmica U_s en $W/m^2 \cdot K$

B'	R_a 0,00	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D \geq 1.5 m				
		R_a ($m^2 \cdot K/ W$)					R_a ($m^2 \cdot K/ W$)					R_a ($m^2 \cdot K/ W$)				
		0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥ 20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

CASO 2

La transmitancia térmica U_s ($W/m^2 \cdot K$) se obtiene de la tabla 4 en función de la profundidad z de la solera o losa respecto el nivel del terreno, de su resistencia térmica R_f calculada mediante la expresión (2), despreciando las resistencias térmicas superficiales, y la longitud característica B' calculada mediante la expresión (4).

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

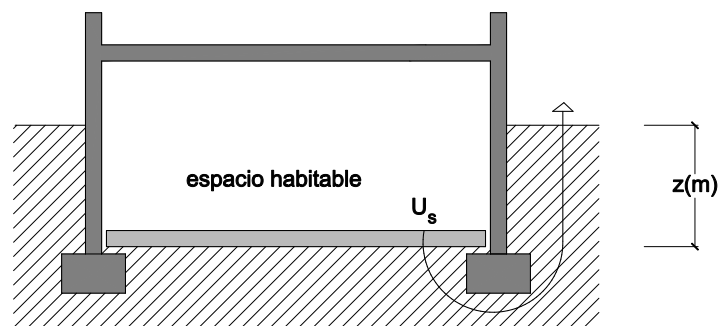


Figura 2 Solera enterrada

Tabla 4 Transmitancia térmica U_s en $W/m^2 \cdot K$

B'	0,5 m < z ≤ 1,0 m				1,0 m < z ≤ 2,0 m				2,0 m < z ≤ 3,0 m				z > 3,0 m			
	Rf (m ² ·K/W)				Rf (m ² ·K/W)				Rf (m ² ·K/W)				Rf (m ² ·K/W)			
	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50
1	1,51	1,07	0,84	0,69	1,14	0,88	0,72	0,61	0,78	0,65	0,56	0,49	0,59	0,51	0,46	0,41
2	1,09	0,82	0,67	0,57	0,87	0,70	0,59	0,51	0,63	0,54	0,47	0,42	0,50	0,44	0,40	0,36
3	0,87	0,68	0,57	0,49	0,71	0,59	0,50	0,44	0,53	0,47	0,41	0,37	0,43	0,39	0,35	0,32
4	0,74	0,59	0,49	0,43	0,61	0,51	0,44	0,39	0,47	0,41	0,37	0,34	0,39	0,35	0,32	0,29
5	0,64	0,52	0,44	0,39	0,54	0,45	0,40	0,36	0,42	0,37	0,34	0,31	0,35	0,32	0,29	0,27
6	0,57	0,46	0,40	0,35	0,48	0,41	0,36	0,33	0,38	0,34	0,31	0,28	0,32	0,29	0,27	0,25
7	0,52	0,42	0,37	0,33	0,44	0,38	0,33	0,30	0,35	0,31	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,24
8	0,47	0,39	0,34	0,30	0,40	0,35	0,31	0,28	0,33	0,29	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
9	0,43	0,36	0,32	0,28	0,37	0,32	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,23	0,26	0,24	0,22	0,21
10	0,40	0,34	0,30	0,27	0,35	0,30	0,27	0,25	0,29	0,26	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21	0,20
12	0,36	0,30	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	0,22	0,26	0,23	0,21	0,20	0,22	0,21	0,19	0,18
14	0,32	0,27	0,24	0,22	0,28	0,25	0,22	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19	0,18	0,17
16	0,29	0,25	0,22	0,20	0,25	0,23	0,20	0,19	0,21	0,20	0,18	0,17	0,19	0,17	0,16	0,16
18	0,26	0,23	0,20	0,19	0,23	0,21	0,19	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15
≥20	0,24	0,21	0,19	0,17	0,22	0,19	0,18	0,16	0,18	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14

2.1.2.2 Muros en contacto con el terreno

La transmitancia térmica U_T ($W/m^2 \cdot K$) de los muros o pantallas en contacto con el terreno se obtiene de la tabla 5 en función de su profundidad z , y de la resistencia térmica del muro R_m calculada mediante la expresión (2) despreciando las resistencias térmicas superficiales.

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

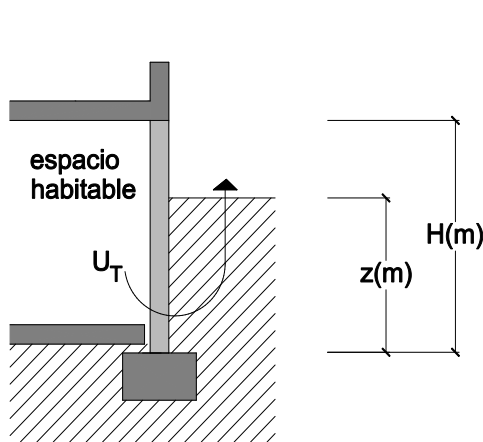


Figura 3 Muro en contacto con el terreno

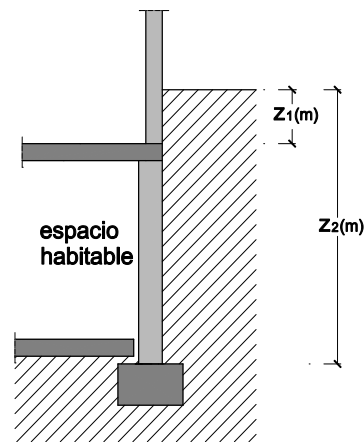


Figura 4 Muro enterrado

Tabla 5 Transmitancia térmica de muros enterrados U_T en $W/m^2 \cdot K$

Rm ($m^2 K/W$)	Profundidad z de la parte enterrada del muro (m)					
	0,5	1	2	3	4	≥ 6
0,00	3,05	2,20	1,48	1,15	0,95	0,71
0,10	2,29	1,74	1,22	0,97	0,81	0,62
0,20	1,84	1,45	1,06	0,85	0,72	0,56
0,30	1,55	1,25	0,93	0,76	0,65	0,51
0,40	1,33	1,10	0,84	0,69	0,60	0,47
0,50	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
0,60	1,05	0,90	0,71	0,59	0,52	0,42
0,70	0,95	0,82	0,66	0,56	0,49	0,39
0,80	0,87	0,76	0,61	0,52	0,46	0,38
0,90	0,80	0,70	0,58	0,49	0,44	0,36
1,00	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,10	0,69	0,61	0,51	0,45	0,40	0,33
1,20	0,64	0,58	0,49	0,42	0,38	0,32
1,30	0,60	0,55	0,46	0,41	0,36	0,30
1,40	0,57	0,52	0,44	0,39	0,35	0,29
1,50	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
1,60	0,51	0,47	0,40	0,36	0,32	0,28
1,70	0,49	0,45	0,39	0,35	0,31	0,27
1,80	0,46	0,43	0,37	0,33	0,30	0,26
1,90	0,44	0,41	0,36	0,32	0,29	0,25
2,00	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

En el caso de muros cuya composición varíe con la profundidad, como muestra la figura 4, la transmitancia térmica U_T se obtiene de la expresión:

$$U_T = \frac{U_1 \cdot z_1 + U_2 \cdot z_2 - U_{12} \cdot z_1}{z_2} \quad (5)$$

siendo,

- z_1 y z_2 la profundidad del primer y el segundo tramo respectivamente [m];
- U_1 la transmitancia térmica del primer tramo del muro, obtenida de la tabla 5 para una profundidad $z = z_1$ y una resistencia térmica $R_m = R_1$ [$W/m^2 \cdot K$];
- U_2 la transmitancia térmica obtenida de la tabla 5 de un muro hipotético de profundidad $z = z_2$ y resistencia térmica $R_m = R_2$ [$W/m^2 \cdot K$];
- U_{12} la transmitancia térmica obtenida de la tabla 5 de un muro hipotético de profundidad $z = z_1$ y resistencia térmica $R_m = R_2$ [$W/m^2 \cdot K$];

2.1.2.3 Cubiertas enterradas

La transmitancia térmica U_T ($W/m^2 \cdot K$) de las cubiertas enterradas se obtiene mediante el procedimiento descrito en el apartado 2.1.1 "Cerramientos en contacto con el aire exterior", considerando el terreno como otra capa térmicamente homogénea de conductividad $\lambda = 2 W/m \cdot K$.

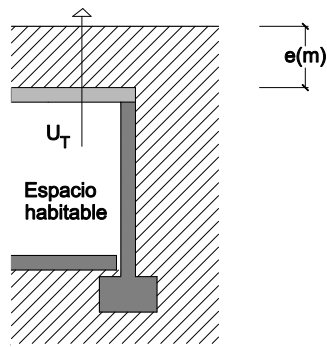


Figura 5 Cubierta enterrada

2.1.3 Particiones interiores en contacto con espacios no habitables

Para el cálculo de la transmitancia U (W/m²·K) se consideran en este apartado el caso de cualquier *partición interior* en contacto con un *espacio no habitable* que a su vez esté en contacto con el exterior.

2.1.3.1 Particiones interiores (excepto suelos en contacto con cámaras sanitarias)

Se excluyen de este apartado los vacíos o cámaras sanitarias.

La transmitancia térmica U (W/m²·K) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = U_p \cdot b \tag{6}$$

siendo,

- U_p la transmitancia térmica de la *partición interior* en contacto con el *espacio no habitable*, calculada según el apartado 2.1.1, tomando como resistencias superficiales los valores de la tabla 6. [m²·K/ W];
- b el coeficiente de reducción de temperatura (relacionado al *espacio no habitable*) obtenido por la tabla 7 para los casos concretos que se citan o mediante el procedimiento descrito.

Tabla 6 Resistencias térmicas superficiales de *particiones interiores* en m²K/W

Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor		R _{se}	R _{si}
<i>Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal</i>		0,13	0,13
<i>Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)</i>		0,10	0,10
<i>Particiones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo)</i>		0,17	0,17

El coeficiente de reducción de temperatura b para espacios adyacentes *no habitables* (trasteros, despensas, garajes adyacentes...) y espacios no acondicionados bajo cubierta inclinada se puede obtener de la tabla 7 en función de la situación del aislamiento térmico (véase figura 6), del grado de ventilación del espacio y de la relación de áreas entre la *partición interior* y el *cerramiento* (A_{h-nh}/ A_{nh-e}), donde el subíndice nh-e se refiere al cerramiento entre el espacio no habitable y el exterior; el subíndice h-nh se refiere a la partición interior entre el espacio habitable y el espacio no habitable (véase figura 6). Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Se distinguen dos grados de ventilación en función del nivel de estanqueidad del espacio definido en la tabla 8:

- CASO 1 espacio ligeramente ventilado, que comprende aquellos espacios con un nivel de estanqueidad 1, 2 o 3;
- CASO 2 espacio muy ventilado, que comprende aquellos espacios con un nivel de estanqueidad 4 o 5.

Tabla 7 Coeficiente de reducción de temperatura b

A_{h-nh}/A_{nh-e}	No aislado _{nh-e} - Aislado _{h-nh}		No aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}		Aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

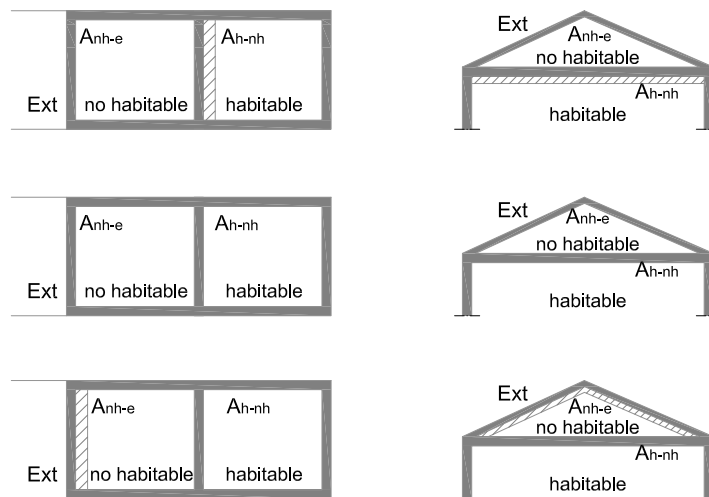


Figura 6 Espacios habitables en contacto con espacios no habitables

NOTA: El subíndice *nh-e* se refiere al cerramiento entre el *espacio no habitable* y el exterior; el subíndice *h-nh* se refiere a la partición interior entre el *espacio habitable* y el *espacio no habitable*.

Alternativamente, el coeficiente de reducción de temperatura *b* puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$b = \frac{H_{nh-e}}{H_{h-nh} + H_{nh-e}} \tag{7}$$

siendo,

H_{nh-e} es el coeficiente de pérdida del *espacio no habitable* hacia el exterior [W/m];

H_{h-nh} es el coeficiente de pérdida del *espacio habitable* hacia el *espacio no habitable* [W/m].

Los coeficientes H_{nh-e} y H_{h-nh} incluyen las pérdidas por transmisión y por renovación de aire. Se calculan mediante las fórmulas siguientes:

$$H_{nh-e} = \sum U_{nh-e} A_{nh-e} + 0,34 Q_{e-nh} \quad (8)$$

$$H_{h-nh} = \sum U_{h-nh} A_{h-nh} + 0,34 Q_{nh-h} \quad (9)$$

siendo,

U_{nh-e} la transmitancia térmica del cerramiento del *espacio no habitable* en contacto con el ambiente exterior, calculado mediante la expresión (1) si está en contacto con el aire o mediante la metodología descrita en el apartado 2.1.2 si está en contacto con el terreno [$W/m^2 \cdot K$];

U_{h-nh} la transmitancia térmica del cerramiento del *espacio habitable* en contacto con el *no habitable* calculado mediante la expresión (1) [$W/m^2 \cdot K$];

A_{nh-e} el área del cerramiento del *espacio no habitable* en contacto con el ambiente exterior;

A_{h-nh} el área del cerramiento del *espacio habitable* en contacto con el *no habitable*;

Q_{e-nh} el caudal de aire entre el exterior y el *espacio no habitable* [m^3/h];

Q_{nh-h} el caudal de aire entre el *espacio no habitable* y el *espacio habitable* [m^3/h].

Para el cálculo del caudal de aire Q_{e-nh} se pueden utilizar los valores del apartado 2 de la Sección HS3 del DB "Salubridad". En ausencia de datos se pueden utilizar los valores de renovaciones hora (h^{-1}) contenidos en la tabla 8 multiplicados por el volumen del *espacio no habitable*.

Tabla 8 Tasa de renovación de aire entre espacios no habitables y el exterior (h^{-1})

Nivel de estanqueidad	h^{-1}
Ni puertas, ni ventanas, ni aberturas de ventilación	0
Todos los componentes sellados, sin aberturas de ventilación	0,5
Todos los componentes bien sellados, pequeñas aberturas de ventilación	1
Poco estanco, a causa de juntas abiertas o presencia de aberturas de ventilación permanentes	5
Poco estanco, con numerosas juntas abiertas o aberturas de ventilación permanentes grandes o numerosas	10

2.1.3.2 Suelos en contacto con cámaras sanitarias

Este apartado es aplicable para cámaras de aire ventiladas por el exterior que cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- que tengan una altura h inferior o igual a 1 m;
- que tengan una profundidad z respecto al nivel del terreno inferior o igual a 0,5 m.

En caso de no cumplirse la condición a), pero sí la b), la transmitancia del cerramiento en contacto con la cámara se puede calcular mediante el procedimiento descrito en el apartado 2.1.1

En caso de no cumplirse la condición b), la transmitancia del cerramiento se puede calcular mediante la definición general del coeficiente b descrito en el apartado 2.1.3.1.

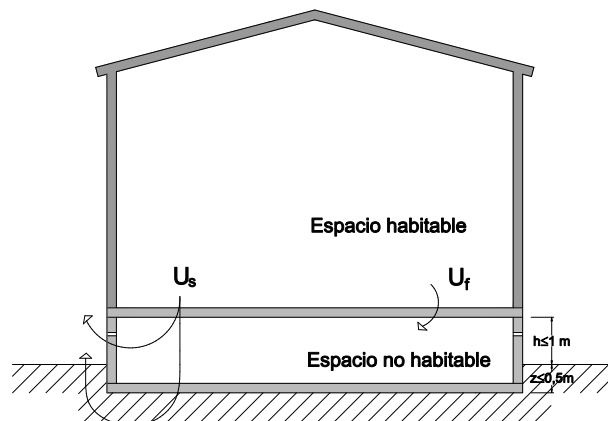


Figura 7 Cámaras sanitarias

La transmitancia térmica del suelo sanitario U_S viene dada por la tabla 9, en función longitud característica B' del suelo en contacto con la cámara y su resistencia térmica R_f calculada mediante la expresión (2) despreciando las resistencias térmicas superficiales.

Los valores intermedios se pueden obtener por interpolación lineal.

Tabla 9 Transmitancia térmica U_S en $W/m^2 K$

B'	R_f (m^2K/W)						
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	9,38	1,65	0,90	0,62	0,47	0,38	0,29
2	5,35	1,46	0,84	0,59	0,46	0,37	0,28
3	3,88	1,32	0,80	0,57	0,44	0,36	0,28
4	3,11	1,22	0,76	0,55	0,43	0,35	0,27
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35	0,27
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34	0,27
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33	0,26
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33	0,26
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32	0,26
10	1,61	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32	0,26
12	1,43	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,25
14	1,30	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,25
16	1,20	0,75	0,55	0,43	0,35	0,30	0,25
18	1,12	0,72	0,53	0,42	0,35	0,29	0,25
20	1,06	0,69	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25
22	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,25
24	0,96	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28	0,24
26	0,92	0,63	0,48	0,39	0,32	0,28	0,24
28	0,89	0,61	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24
30	0,86	0,60	0,46	0,38	0,32	0,27	0,24
32	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23
34	0,81	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23
≥36	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,27	0,23

2.1.4 Huecos y lucernarios

2.1.4.1 Transmitancia térmica de huecos

Para el cálculo de la transmitancia térmica de huecos U_H ($W/m^2 \cdot K$) se empleará la norma UNE EN ISO 10077.

Alternativamente, la transmitancia térmica de los huecos U_H ($W/m^2 \cdot K$) se determina mediante la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m} \quad (10)$$

siendo,

- $U_{H,v}$ la transmitancia térmica de la parte semitransparente [$W/m^2 \cdot K$];
 $U_{H,m}$ la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta [$W/m^2 \cdot K$];
 FM la fracción del hueco ocupada por el marco.

2.2 Factor solar modificado de huecos y lucernarios

El factor solar modificado en el hueco F_H o en el lucernario F_L se determina utilizando la siguiente expresión:

$$F = F_s \cdot [(1 - FM) \cdot g + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha] \quad (11)$$

siendo,

- F_s el factor de sombra del hueco o lucernario obtenido de las tablas 11 a 15 en función del dispositivo de sombra o mediante simulación. En caso de que no se justifique adecuadamente el valor de F_s se debe considerar igual a la unidad;
- FM la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas;
- g_{\perp} el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal.
- U_m la transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [$W/m^2 \cdot K$];
- α la absorptividad del marco obtenida de la tabla 10 en función de su color.

Tabla 10 Absortividad del marco para radiación solar α

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

Tabla 11 Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo

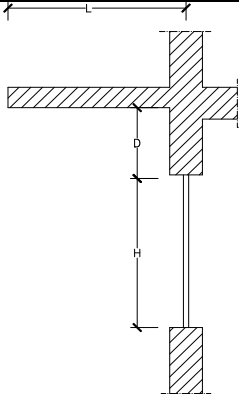
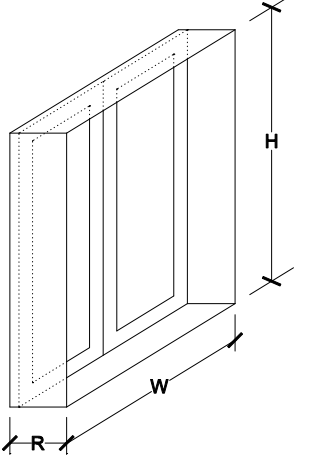
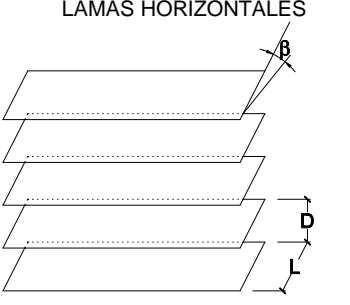
			$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
 <p>NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.</p>	S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28	0,16
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39	0,22
		$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,60	0,39
	SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27
		$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65
	E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43
		$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75

Tabla 12 Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo

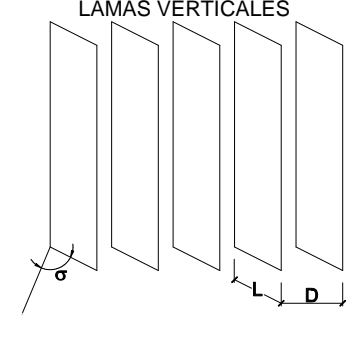


ORIENTACIONES DE FACHADAS		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
		0,05 < R/H ≤ 0,1	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,2 < R/H ≤ 0,5	R/H > 0,5
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
	R/H > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	R/H > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

Tabla 13 Factor de sombra para obstáculos de fachada: lamas



ORIENTACIÓN		ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
		0	30	60
SUR	SUR	0,49	0,42	0,26
	SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
	ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27



ORIENTACIÓN		ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
SUR	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1. El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

Tabla 14 Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos

	CASO A		Tejidos opacos τ=0		Tejidos translúcidos τ=0,2	
	α		SE/S/SO	E/O	SE/S/SO	E/O
	30		0,02	0,04	0,22	0,24
	45		0,05	0,08	0,25	0,28
	60		0,22	0,28	0,42	0,48

	CASO B			Tejidos opacos τ=0			Tejidos translúcidos τ=0,2		
	α			S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
	30			0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
	45			0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
	60			0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48

Tabla 15 Factor de sombra para lucernarios

			Y / Z					
			0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
	X / Z	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
		0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52
		1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59
		2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68
		5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79
		10,0	0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en esta tabla son válidos para lucernarios sensiblemente horizontales. En caso de lucernarios de planta elíptica o circular podrán tomarse como dimensiones características equivalentes los ejes mayor y menor o el diámetro.

3 Resistencia térmica total de un elemento de edificación constituido por capas homogéneas y heterogéneas.

La resistencia térmica total R_T , de un elemento constituido por capas térmicamente homogéneas y heterogéneas paralelas a la superficie, es la media aritmética de los valores límite superior e inferior de la resistencia:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \tag{12}$$

siendo,

- R'_T el límite superior de la resistencia térmica total calculada mediante el procedimiento descrito en el apartado 3.1 [$m^2 \cdot K / W$];
- R''_T el límite inferior de la resistencia térmica total calculada mediante el procedimiento descrito en el apartado 3.2 [$m^2 \cdot K / W$].

Si la proporción entre el límite superior e inferior es mayor de 1,5, la expresión anterior no resulta de aplicación y habría que utilizar otros métodos contrastados.

Para realizar el cálculo de los valores límite superior e inferior, el elemento se divide en rebanadas horizontales (figura 1b) y verticales (figura 1c) como se muestra en la figura 8, de tal manera que las capas que se generan sean térmicamente homogéneas.

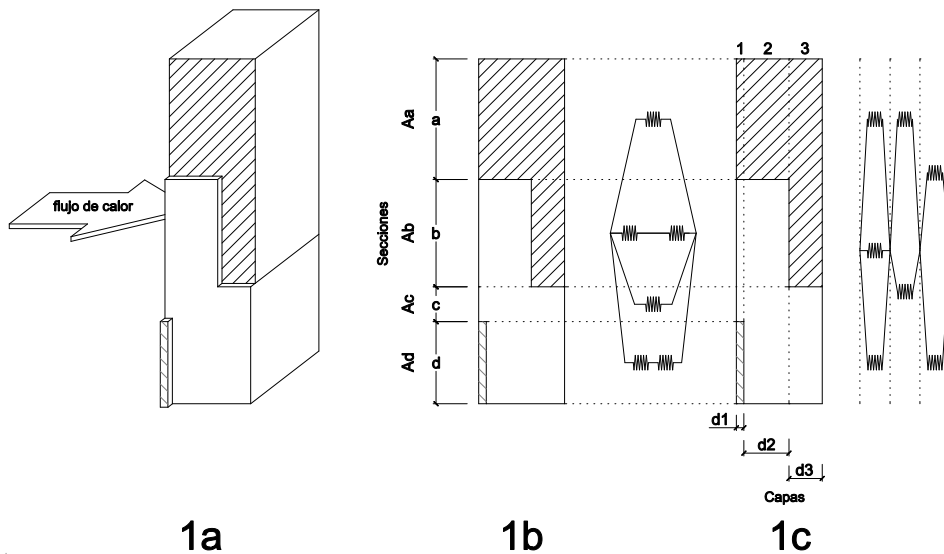


Figura 8

La rebanada horizontal m ($m = a, b, c, \dots, q$) tiene un área fraccional f_m .

La rebanada vertical j ($j = 1, 2, \dots, n$) tiene un espesor d_j .

La capa m_j tiene una conductividad térmica λ_{mj} , un espesor d_j , un área fraccional f_m y una resistencia térmica R_{mj} .

El área fraccional de una sección es su proporción del área total. Entonces $f_a + f_b + \dots + f_q = 1$.

3.1 Límite superior de la resistencia térmica total R'_T

El límite superior de la resistencia térmica total se determina suponiendo que el flujo de calor es unidimensional y perpendicular a las superficies del componente. Viene dado por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \tag{13}$$

donde,

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$ las resistencias térmicas totales de cada rebanada horizontal, calculada mediante la expresión (2) [$m^2 \cdot K / W$];

f_a, f_b, \dots, f_q las áreas fraccionales de cada rebanada horizontal.

3.2 Límite inferior de la resistencia térmica total R''_T

El límite inferior se determina suponiendo que todos los planos paralelos a la superficie del componente son superficies isotermas.

La resistencia térmica equivalente R_j , para cada rebanada vertical térmicamente heterogénea se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}} \quad (14)$$

siendo,

$R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{qj}$ las resistencias térmicas de cada capa de cada rebanada vertical, calculadas mediante la expresión (3) [$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$];

f_a, f_b, \dots, f_q las áreas fraccionales de cada rebanada vertical.

El límite inferior se determina entonces según la siguiente expresión:

$$R''_T = R_{si} + R_{j1} + R_{j2} + \dots + R_{jn} + R_{se} \quad (15)$$

siendo,

$R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jn}$ las resistencias térmicas equivalentes de cada rebanada vertical, obtenida de la expresión (3) [$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$];

R_{si} y R_{se} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla 1 de acuerdo a la posición del elemento, dirección del flujo de calor [$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$].

Si una de las capas que constituyen la rebanada heterogénea es una cavidad de aire sin ventilar, se puede considerar como un material de conductividad térmica equivalente λ_j , definida mediante la expresión:

$$\lambda_j = d_j / R_g \quad (16)$$

siendo,

d_j el espesor de la rebanada vertical [m];

R_g la resistencia térmica de la cavidad de aire sin ventilar calculada mediante el apartado 3.3 [$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$].

3.3 Resistencia térmica de cavidades de aire sin ventilar R_g

Se consideran cavidades de aire sin ventilar los pequeños espacios de aire cuyo largo y ancho es inferior a 10 veces su espesor en dirección al flujo de calor.

La resistencia térmica R_g de una cavidad de aire sin ventilar se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_g = \frac{1}{h_a + \frac{1}{\frac{1}{E} - 1 + \frac{1}{12 \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d^2}{b^2} \right)} - \frac{d}{b} \right)}}} \quad (17)$$

siendo,

d el espesor del hueco en la dirección del flujo de calor;

b la anchura del hueco;

E el factor de emisividad entre las superficies calculada mediante la expresión (18);

h_a el coeficiente de conducción convección cuyo valor viene dado en función de la dirección del flujo de calor:

- para flujo de calor horizontal: el mayor de $1,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ y $0,025/d \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$;

- para flujo de calor hacia arriba: el mayor de $1,95 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $0,025/d \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$;
- para flujo de calor hacia abajo: el mayor de $0,12d^{-0,44} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $0,025/d \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$;

h_{ro} es el coeficiente de radiación para una superficie negra obtenido de la tabla 16.

El factor de emisividad entre las superficies E viene dado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (18)$$

siendo,

ϵ_1 y ϵ_2 las emisividades corregidas de las superficies que rodean el hueco.

Tabla 16 coeficiente de radiación para una superficie negra

Temperatura	H_{ro} en $\text{W/m}^2 \text{ K}$
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

Notaciones y unidades

α	Absortividad, adimensional
β	Angulo de inclinación de lamas horizontales, grados sexagesimales
λ	Conductividad térmica, en W/m.K
σ	Angulo de orientación de lamas verticales, grados sexagesimales
τ	Transmitancia de tejido en toldos, adimensional
A	Área de la solera o losa, m ²
D	Ancho de banda de aislamiento, en m
n	Tasa de renovación de aire, en h ⁻¹
F	Factor solar modificado
F _S	Factor de sombra, adimensional
F _H	Factor solar modificado de huecos
F _L	Factor solar modificado de lucernarios
FM	Fracción de marco
g _⊥	Factor solar de la parte transparente de un hueco, para radiación solar a incidencia normal, adimensional
R _n	Resistencia térmica de la capa n de un cerramiento, en m ² K/ W
R _m	Resistencia térmica del muro enterrado, en m ² K/ W
R _a	Resistencia térmica del aislante en soleras o losas, en m ² K/ W
R _{se}	Resistencia térmica superficial exterior, en m ² K/ W
R _{si}	Resistencia térmica superficial interior, en m ² K/ W
R _u	Resistencia térmica para espacios no habitables, en m ² K/ W
R _T	Resistencia térmica total, en m ² K/ W
R _g	Resistencia térmica de una cavidad de aire sin ventilar, en m ² K/ W
U	Transmitancia térmica, en W/m ² ·K
U _M	Transmitancia térmica de muros, en W/m ² ·K
U _C	Transmitancia térmica de cubiertas, en W/m ² ·K
U _L	Transmitancia térmica de lucernarios, en W/m ² ·K
U _F	Transmitancia térmica de fachadas con un porcentaje de huecos >60%, en W/m ² ·K
U _H	Transmitancia térmica de huecos, en W/m ² ·K
U _{H,v}	Transmitancia térmica de la parte acristalada del hueco, en W/m ² ·K
U _{H,m}	Transmitancia térmica del marco del hueco, en W/m ² ·K
U _T	Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno, en W/m ² ·K
U _S	Transmitancia térmica de suelos, en W/m ² ·K
U _f	Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con la cámara de aire, en W/m ² ·K
U _P	Transmitancia térmica de <i>particiones interiores</i> , en W/m ² ·K
u	Coefficiente de transmisión térmica lineal para soleras y losas, en W/m ² ·K
e	Espesor de una capa, en m
ε	Emisividad de una superficie, adimensional
E	Factor de emisividad entre las superficies, adimensional
h _a	Coefficiente de conducción convección, en W/m ² ·K
h _{ro}	Coefficiente de radiación para una superficie negra, en W/m ² ·K

Otros documentos relacionados

UNE EN ISO 6946:2012	Componentes y elementos para la edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo.
UNE EN ISO 13370:2010	Prestaciones térmicas de edificios. Transmisión de calor por el terreno. Métodos de cálculo.
UNE EN 673:2011	Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica (valor U). Método de cálculo.
UNE EN ISO 10077-1:2010	Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo de la transmitancia. Parte 1. Generalidades.
UNE EN ISO 10077-2:2012	Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo del coeficiente de transmisión térmica. Parte 2. Método numérico para los marcos.
UNE EN 410:2011	Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos
UNE EN 410:2011 ERRATUM	Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos.
UNE EN ISO 10456:2012	Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño