



Documento descriptivo climas de referencia

FEBRERO 2017

Índice

1	Objeto	1
2	Clima de referencia	1
3	Climas de referencia en soporte informático	1
3.1	El formato .MET	1
3.2	Parámetros normativos	2
3.3	Otros parámetros no normativos	2
Apéndice A	Correlaciones de validez contrastada	4
A.1	Temperatura de rocío	4
A.2	Temperatura efectiva del cielo	4
A.3	Humedad específica	4
Apéndice B	Correlaciones de severidades climáticas estacionales y definición de zonas climáticas	6
B.1	Severidad climática de invierno	6
B.2	Severidad climática de verano	6
B.3	Definición de zonas climáticas	6

1. Objeto

Este documento describe los parámetros que caracterizan los climas de referencia del DB HE, las correlaciones que se han establecido para determinar las severidades climáticas estacionales y los intervalos de severidades climáticas considerados para definir los climas de referencia del DB HE.

2. Clima de referencia

El *clima de referencia* define las *solicitudes exteriores* de cálculo para un *año tipo* a través de una serie de parámetros (temperatura, humedad, radiación solar...), representativos de una *zona climática*.

3. Climas de referencia en soporte informático

3.1. El formato .MET

Los datos climáticos correspondientes a los climas de referencia se publican en formato .MET.

Este formato se estructura en líneas de texto con campos separados por espacios y su organización es la siguiente:

1. Primera línea con una cadena de texto identificativa del archivo de datos.
2. Segunda línea con datos de: latitud, longitud, altitud y longitud de referencia para el cálculo de la hora oficial.
3. Siguen 8760 líneas con datos horarios formados por los campos siguientes:
 - a) Mes (1 a 12);



Ministerio de Fomento

Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda
Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo

- b) Día (1 a 31);
- c) Hora (1 a 24);
- d) Temperatura seca (°C);
- e) Temperatura efectiva del cielo (°C);
- f) Irradiancia solar directa sobre una superficie horizontal (W/m^2);
- g) Irradiancia solar difusa sobre una superficie horizontal (W/m^2);
- h) Humedad específica (kgH₂O/kgaire seco);
- i) Humedad relativa (%);
- j) Velocidad del viento (m/s);
- k) Dirección del viento (grados respecto al norte, E+, O-);
- l) Azimut solar (grados);
- m) Cénit solar (grados).

A modo de ejemplo, se incluye un fragmento de los datos recogidos en los archivos informáticos de los climas de referencia.

A3_peninsula

40.683331 -4.133333 667.000000 15.000000

1	1	1	17.1	5.3	0	0	0.00889	73	0.8	218	0.0	90.0
1	1	2	16.6	4.8	0	0	0.00885	75	0.5	207	0.0	90.0
1	1	3	16.0	4.2	0	0	0.00874	77	0.5	249	0.0	90.0
1	1	4	15.4	3.7	0	0	0.00874	80	0.8	265	0.0	90.0
1	1	5	14.8	3.1	0	0	0.00873	83	0.5	263	0.0	90.0
1	1	6	14.3	2.6	0	0	0.00886	87	0.7	252	0.0	90.0
1	1	7	13.7	2.1	0	0	0.00881	90	0.5	231	0.0	90.0
1	1	8	14.0	2.4	0	15	0.00889	89	1.1	237	-58.1	89.3
1	1	9	15.2	3.5	52	73	0.00896	83	1.0	214	-47.5	80.2
1	1	10	16.9	5.2	148	124	0.00915	76	3.3	253	-35.6	72.6
1	1	11	18.0	7.5	145	191	0.00903	70	2.9	50	-22.3	67.1
1	1	12	19.3	5.3	285	152	0.00909	65	3.1	226	-7.4	64.1
1	1	13	20.3	6.1	337	102	0.00893	60	3.8	190	7.4	64.1
1	1	14	20.7	6.5	272	120	0.00885	58	4.2	58	22.3	67.1
1	1	15	20.6	8.7	142	128	0.00879	58	3.6	55	35.6	72.6
1	1	16	20.0	8.1	69	83	0.00876	60	5.1	221	47.5	80.2
1	1	17	18.9	7.0	0	23	0.00873	64	3.8	36	58.1	89.3
1	1	18	18.5	6.6	0	0	0.00878	66	3.9	155	0.0	90.0
1	1	19	18.0	5.3	0	0	0.00890	69	2.7	97	0.0	90.0
1	1	20	17.5	4.8	0	0	0.00887	71	2.3	191	0.0	90.0
1	1	21	17.0	4.2	0	0	0.00871	72	2.0	204	0.0	90.0
1	1	22	16.5	3.7	0	0	0.00856	73	0.9	165	0.0	90.0
1	1	23	16.0	3.2	0	0	0.00840	74	0.5	220	0.0	90.0
1	1	24	15.5	2.6	0	0	0.00813	74	0.5	216	0.0	90.0

3.2. Parámetros normativos

Entre los parámetros incluidos en los archivos .MET se establecen como determinantes del comportamiento del clima tipo reglamentario los siguientes:

- a) *temperatura seca (°C)*;
- b) *humedad relativa (%)*;
- c) *Irradiancia solar global sobre plano horizontal (W/m^2)* (obtenida como suma de las irradiancias directa y difusa sobre plano horizontal).



Ministerio de Fomento

Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda
Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo

3.3. Otros parámetros no normativos

El resto de parámetros pueden, en función del nivel de modelización requerido y las necesidades del procedimiento de cálculo, bien tomarse de entre los datos aportados en el archivo .MET, o bien obtenerse a partir de correlaciones de validez contrastada.

Pueden realizarse las siguientes simplificaciones:

- a) la *temperatura no perturbada del suelo profundo* puede tomarse igual a la temperatura seca media anual del aire;
- b) la *presión atmosférica* puede tomarse igual a 1 atm (101,325 kPa);
- c) la *velocidad media del viento* puede tomarse igual a 2,8 m/s.

El [Apéndice A](#) aporta correlaciones de validez contrastada para obtener:

- a) la *temperatura de rocío*;
- b) la *temperatura efectiva del cielo*;
- c) la *humedad específica*.



Apéndice A Correlaciones de validez contrastada

Se aportan a continuación algunas correlaciones o formulaciones de validez contrastada que permiten obtener algunos parámetros útiles.

A.1 Temperatura de rocío

Para la obtención de los valores del archivo .MET se ha empleado la fórmula de Peppers (1988).

Así mismo, la fórmula de Magnus permite calcular la temperatura de rocío (θ_{dp} , en °C) a partir de la temperatura seca (θ_s , en °C) y la humedad relativa (φ , en %):

$$\theta_{dp} = 243,5 \cdot \left(\frac{\gamma(\theta_s, \varphi)}{17,67 - \gamma(\theta_s, \varphi)} \right) \quad (1)$$

donde,

$$\gamma(\theta, \varphi) = \ln(\varphi/100) + \left(\frac{17,67 \cdot \theta}{243,5 + \theta} \right) \quad (2)$$

A.2 Temperatura efectiva del cielo

La correlación de Walton (1983) que utiliza la corrección de nubosidad dada por Clark y Allen (1978) permite obtener la temperatura efectiva del cielo (en °C):

$$\theta_{cielo} = \left(\frac{H_{IR}}{\sigma} \right)^{0,25} - 273,15 \quad (3)$$

donde,

θ_{cielo} es la temperatura efectiva del cielo en °C;

H_{IR} es la intensidad de la radiación infrarroja sobre el plano horizontal en $W \cdot h/m^2$;

$$H_{IR} = \varepsilon_{cielo} \cdot \sigma \cdot (\theta_s + 273,15)^4 \quad (4)$$

ε_{cielo} es la emisividad del cielo;

$$\varepsilon_{cielo} = (0,787 + 0,764 \cdot \ln((\theta_{dp} + 273,15)/273,0)) \cdot (1,0 + 0,0224N - 0,0035N^2 + 0,00028N^3) \quad (5)$$

σ es la constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$;

θ_s es la temperatura seca del aire en °C;

θ_{dp} es la temperatura de rocío del aire en °C;

N es la cobertura del cielo en tanto por diez, de valor 3 para los meses de abril a octubre (ambos incluidos) y 5 para el resto.

A.3 Humedad específica

El uso de relaciones psicrométricas permite obtener la humedad específica (w , en $kg_{H_2O}/kg_{aire\ seco}$) del aire a partir a partir de la temperatura seca (θ_s , en °C), la humedad relativa (φ , en %), la presión atmosférica (p_{atm}) y la presión de vapor de saturación (p_{sat}):

$$w = 0,62198 \cdot p_v / (p_{atm} - p_v) \quad (6)$$

**Ministerio de Fomento**

Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda
Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo

donde:

$$p_v = p_{sat} \cdot \varphi / 100 \quad (7)$$

p_{atm} es la presión atmosférica, que se puede tomar igual a $101,325 \text{ kPa}$;

p_{sat} es la presión de vapor de saturación calculada para la temperatura de bulbo seco, en kPa .



Apéndice B Correlaciones de severidades climáticas estacionales y definición de zonas climáticas

A continuación se incluyen, a título informativo, las correlaciones que relacionan algunos parámetros climáticos con las severidades climáticas de verano e invierno, así como los intervalos de valores empleados para definir las zonas climáticas del DB HE.

B.1 Severidad climática de invierno

La severidad climática de invierno se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$SCI = a \cdot GD + b \cdot \frac{n}{N} + c \cdot GD^2 + d \cdot \left(\frac{n}{N} \right)^2 + e \quad (8)$$

donde:

- GD** es la suma de los grados-día de invierno en base 20 para los meses que van desde octubre a mayo.
- n/N** es el cociente entre número de horas de sol y el número de horas de sol máximas, sumadas cada una de ellas por separado para los meses que van desde octubre a mayo.
- a, b, c, d, e** son los coeficientes de regresión, cuyos valores se indican en la [Tabla 1](#)

Tabla 1: Coeficientes de regresión para la severidad climática de invierno (SCI)

a	b	c	d	e
3,546E-04	-4,043E-01	8,394E-08	-7,325E-02	-1,137E-01

B.2 Severidad climática de verano

La severidad climática de verano se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$SCV = a \cdot GD + b \cdot GD^2 + c \quad (9)$$

donde:

- GD** es la suma de los grados-día de verano en base 20 para los meses que van desde junio a septiembre.
- a, b, c** son los coeficientes de regresión, cuyos valores se indican en la [Tabla 2](#)

Tabla 2: Coeficientes de regresión para la severidad climática de verano (SCV)

a	b	c
2,990E-3	-1,1597E-07	-1,713E-1

B.3 Definición de zonas climáticas

La zonificación climática de invierno y de verano parte de la aplicación de las expresiones anteriores, para obtener la severidad climática de invierno ([SCI](#), ver expresión (8)) y la severidad climática de verano ([SCV](#), ver expresión (9)).

La zona climática de invierno se determina en función de la severidad climática de invierno ([SCI](#)), correspondiendo cada zona climática de invierno del DB-HE (α , A, B, C, D y E) al intervalo indicado en la [Tabla 3](#).

**Ministerio de Fomento**

Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda
Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo

Tabla 3: Intervalos para la zonificación de invierno

α	A	B	C	D	E
$SCI \leq 0$	$0 < SCI \leq 0,23$	$0,23 < SCI \leq 0,5$	$0,5 < SCI \leq 0,93$	$0,94 < SCI \leq 1,51$	$SCI > 1,51$

La zona climática de verano se determina en función de la severidad climática de verano ([SCV](#)), correspondiendo cada zona climática de verano del DB-HE (1, 2, 3, 4) al intervalo indicado en la [Tabla 4](#).

Tabla 4: Intervalos para la zonificación de verano

1	2	3	4
$SCV \leq 0,5$	$0,5 < SCV \leq 0,83$	$0,83 < SCV \leq 1,38$	$SCV > 1,38$



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

Febrero 2015

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.	15
3.1	Límite superior de la resistencia térmica total R'_T	16
3.2	Límite inferior de la resistencia térmica total R''_T	16
3.3	Resistencia térmica de cavidades de aire sin ventilar R_g	17
	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 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) viene dada por la siguiente expresión:

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

siendo,

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

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) [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$];

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 cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$].

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 m²·K/W

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° 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:
 - i) 500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
 - ii) 500 mm² por m² 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 m²·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:
 - i) $500 \text{ mm}^2 < S_{\text{aberturas}} \leq 1500 \text{ mm}^2$ por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
 - ii) $500 \text{ mm}^2 < S_{\text{aberturas}} \leq 1500 \text{ mm}^2$ por m² 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:
 - i) 1500 mm^2 por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
 - ii) 1500 mm^2 por m^2 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} ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) 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 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) 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 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) se obtiene de la tabla 3 en función del ancho D de la banda de aislamiento perimétrico, 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.

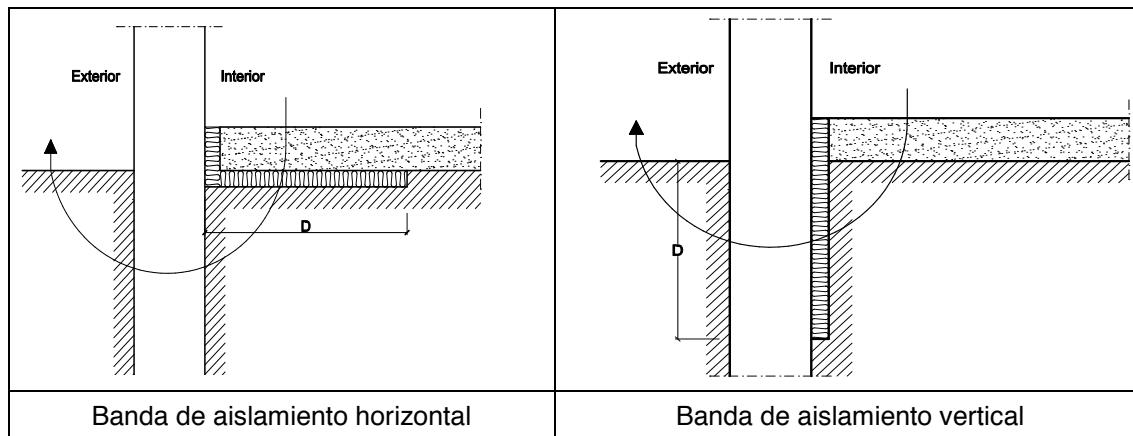


Figura 1 Soleras con aislamiento perimetral

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 [m^2].

Para soleras o losas sin aislamiento térmico, la transmitancia térmica U_s se toma de la columna $R_a = 0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 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 $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

R_a	$D = 0.5$ m					$D = 1.0$ m					$D \geq 1.5$ m						
	R_a ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)					R_a ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)					R_a ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)						
	B'	0,00	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 ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) 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.

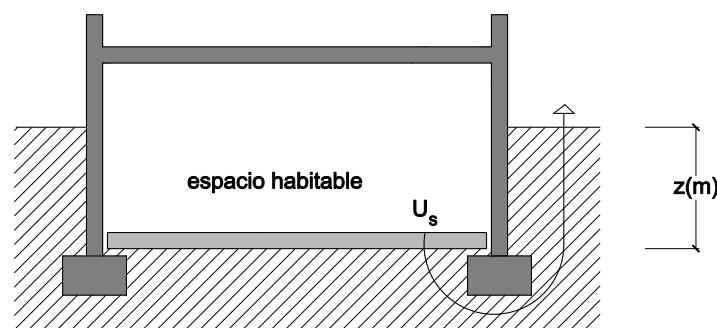


Figura 2 Solera enterrada

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

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 ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) 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.

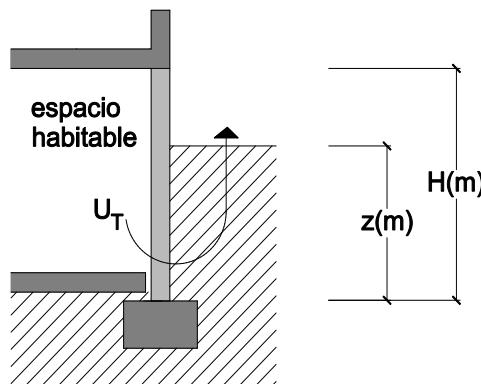
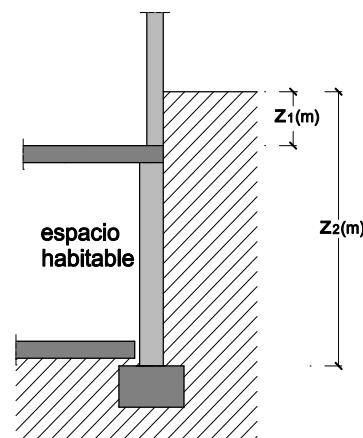
**Figura 3 Muro en contacto con el terreno****Figura 4 Muro enterrado**

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

Rm (m² 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 $R_m = R_1$ [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$];
- U_2 la transmitancia térmica obtenida de la tabla 5 de un muro hipotético de profundidad $z=z_2$ y resistencia térmica $R_m = R_2$ [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$];
- U_{12} la transmitancia térmica obtenida de la tabla 5 de un muro hipotético de profundidad $z=z_1$ y resistencia térmica $R_m = R_2$ [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$];

2.1.2.3 Cubiertas enterradas

La transmitancia térmica U_T ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$) 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 $\lambda = 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

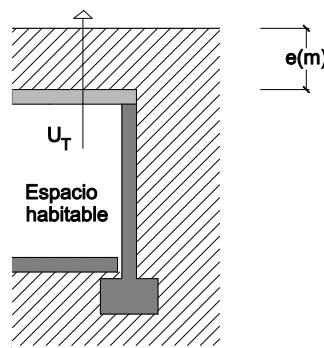


Figura 5 Cubierta enterrada

2.1.3 Particiones interiores en contacto con espacios no habitables

Para el cálculo de la transmitancia U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) 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 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = U_p \cdot b \quad (6)$$

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. [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$];

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 $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor	R_{se}	R_{si}
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal	0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)	0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo)	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

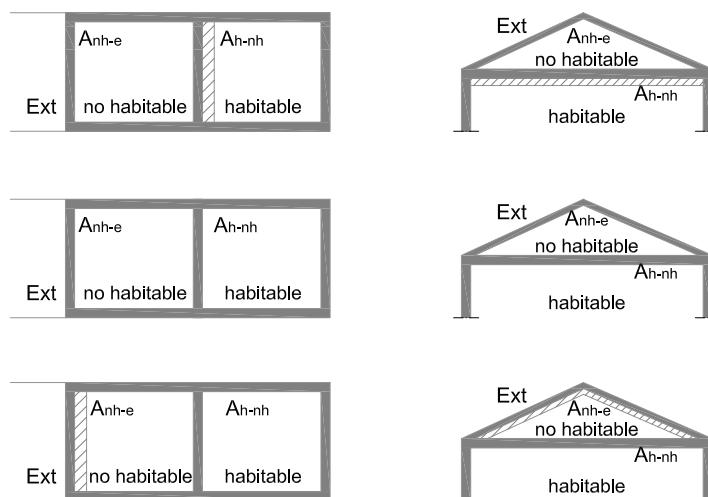


Figura 6 Espacios habitables en contacto con espacios no habitables

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:

$$b = \frac{H_{nh-e}}{H_{h-nh} + H_{nh-e}} \quad (7)$$

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 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$];

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

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:

- a) que tengan una altura h inferior o igual a 1 m;
- b) 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.

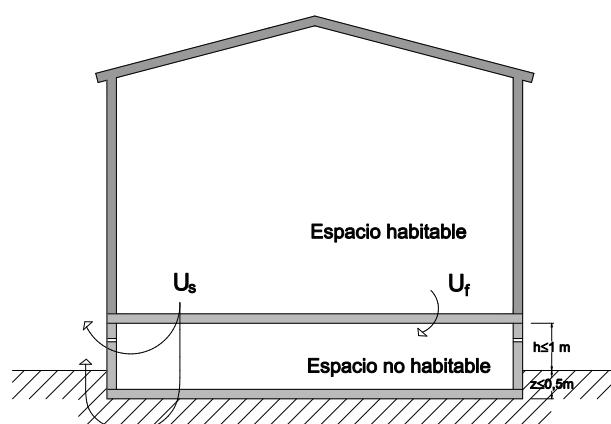


Figura 7 Cámaras sanitarias

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/m² K

B'	R_f (m ² K/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 (ventana, lucernario o puerta) U_H (W/m²·K) se empleará la norma UNE EN ISO 10077.

$$U_H = \frac{A_{H,v}U_{H,v} + A_{H,m}U_{H,m} + l_v\psi_v + A_{H,p}U_{H,p} + l_p\psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}}$$

siendo,

- U_H la transmitancia térmica del hueco (ventana, lucernario o puerta) [W/m²·K];
- $U_{H,v}$ la transmitancia térmica del acristalamiento [W/m²·K];
- $U_{H,m}$ la transmitancia térmica del marco [W/m²·K];

$U_{H,p}$	la transmitancia térmica de la zona con panel opaco [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$];
Ψ_v	la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$];
Ψ_p	la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$];
$A_{H,v}$	el área de la parte acristalada [m^2];
$A_{H,m}$	el área del marco [m^2];
$A_{H,p}$	el área de la parte con panel opaco [m^2];
I_v	la longitud de contacto entre marco y acristalamiento [m];
I_p	la longitud de contacto entre marco y paneles opacos [m];

Los valores de las transmitancias térmicas lineales se pueden calcular o tomar de la siguiente tabla:

Tabla 10 Transmitancia térmica lineal Ψ_p y Ψ_g en huecos*

Material del marco	Acristalamiento o empanelado simple	Acristalamiento o empanelado doble o triple	Acristalamiento doble con baja emisividad o triple con dos capas de baja emisividad
Madera y plástico	0,00	0,06 / 0,05	0,08 / 0,06
Metálico con rotura de puente térmico	0,00	0,08 / 0,06	0,11 / 0,08
Metálico sin rotura de puente térmico	0,00	0,02 / 0,01	0,05 / 0,04

* Valores para elementos separadores convencionales y para elementos de prestaciones térmicas mejoradas.

En el caso de paneles opacos con juntas más aislantes que el propio panel se puede tomar $\Psi_p = 0$.

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:

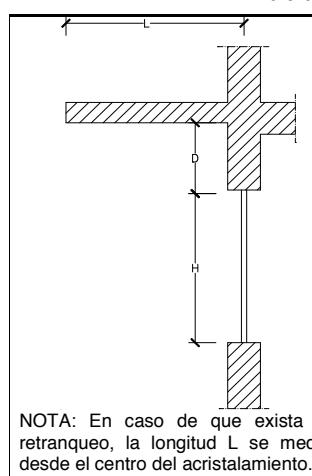
$$F = F_S \cdot [(1 - FM) \cdot g + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha] \quad (11)$$

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 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$];
α	la absorbividad del marco obtenida de la tabla 10 en función de su color.

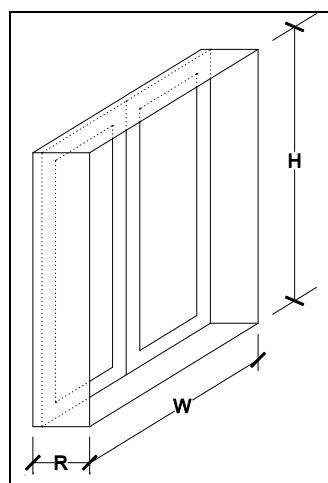
Tabla 11 Absortividad del marco para radiación solar α

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	-

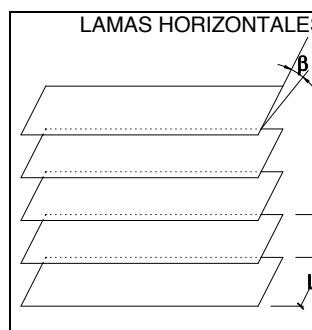
Tabla 12 Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo


ORIENTACIONES DE FACHADAS			$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
	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
SE/SO	$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,60	0,39	
	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16	
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27	
E/O	$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65	
	$0 < D/H \leq 0,2$	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	

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

Tabla 13 Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo


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

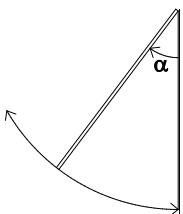
Tabla 14 Factor de sombra para obstáculos de fachada: lamas


LAMAS HORIZONTALES			ANGULO DE INCLINACIÓN (β)			
			0	30	60	
	ORIENTACIÓN	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		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 15 Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos

	CASO A		Tejidos opacos $\tau=0$		Tejidos translúcidos $\tau=0,2$	
	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	

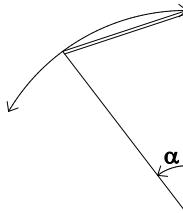
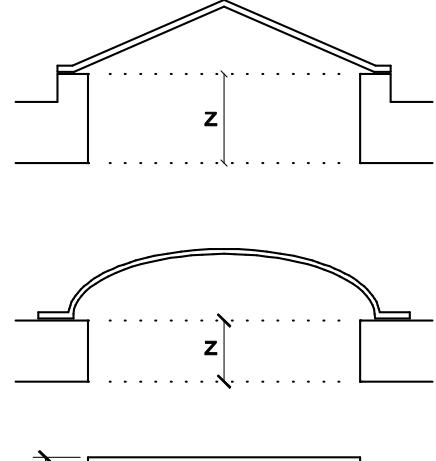
	CASO B		Tejidos opacos $\tau=0$		Tejidos translúcidos $\tau=0,2$		
	α	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
30	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87	
45	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	
60	0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48	

Tabla 16 Factor de sombra para lucernarios

		Y / Z					
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
	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:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (12)$$

siendo,

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

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

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.

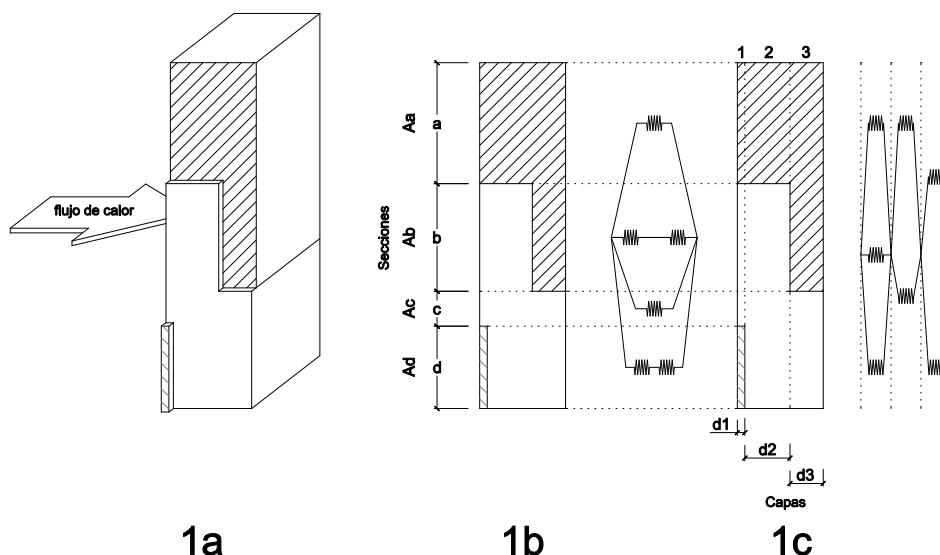


Figura 8

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:

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

donde,

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

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:

$$R_g = \frac{1}{h_a + \frac{h_{r0}}{\frac{1}{E} - 1 + \frac{1}{12\left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d^2}{b^2}\right)} - \frac{d}{b}\right)}}} \quad (17)$$

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_{r0} 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:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (18)$$

siendo,

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

Tabla 17 coeficiente de radiación para una superficie negra

Temperatura	H_{r0} 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, en grados sexagesimales
ϵ	Emisividad de una superficie, adimensional
λ	Conductividad térmica, en W/m·K
σ	Angulo de orientación de lamas verticales, en grados sexagesimales
τ	Transmitancia de tejido en toldos, adimensional
Ψ_v	Transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento, en W/m·K
Ψ_p	Transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos, en W/m·K
e	Espesor de una capa, en m
g_{\perp}	Factor solar de la parte transparente de un hueco, para radiación solar a incidencia normal, adimensional
h_a	Coeficiente de conducción convección, en W/m ² ·K
h_{ro}	Coeficiente de radiación para una superficie negra, en W/m ² ·K
l_v	Longitud de contacto entre marco y acristalamiento del hueco, en m
l_p	Longitud de contacto entre marco y paneles opacos del hueco, en m
n	Tasa de renovación de aire, en h ⁻¹
u	Coeficiente de transmisión térmica lineal para soleras y losas, en W/m ² ·K
A	Área de la solera o losa, en m ²
$A_{H,v}$	el área de la parte acristalada del hueco, en m ²
$A_{H,m}$	el área del marco del hueco, en m ²
$A_{H,p}$	el área de la parte con panel opaco del hueco, en m ²
D	Ancho de banda de aislamiento, en m
E	Factor de emisividad entre las superficies, adimensional
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
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 del hueco, 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 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
$U_{H,p}$	Transmitancia térmica de la zona con panel opaco del hueco, en $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
U_T	Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno, en $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
U_S	Transmitancia térmica de suelos, en $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
U_f	Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con la cámara de aire, en $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
U_P	Transmitancia térmica de <i>particiones interiores</i> , en $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

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



Documento de Apoyo al Documento Básico

DB-HE Ahorro de energía

Código Técnico de la Edificación

DA DB-HE / 2

Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos

Octubre 2013

Índice

1	Objeto	2
2	Datos previos	2
2.1	Condiciones exteriores para el cálculo de condensaciones	2
2.2	Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones	2
3	Relaciones psicrométricas	3
3.1	Cálculo de la presión de saturación de vapor	3
3.2	Cálculo de la humedad relativa interior	3
4	Comprobación de la limitación de condensaciones	4
4.1	Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales	4
4.2	Comprobación de la limitación de condensaciones intersticiales	6
	Apéndice A Terminología	10
	Apéndice B Notaciones y unidades	11
	Apéndice C Datos climáticos	12
	Otros documentos relacionados	14

1 Objeto

Este documento describe algunos procedimientos que se pueden emplear para la comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en espacios habitables establecida en los Documentos Básicos DB-HE y DB-HS del CTE, lo que no impide el uso de otros métodos, detallados o simplificados, que permitan llevar a cabo dichas comprobaciones con suficiente solvencia técnica.

2 Datos previos

2.1 Condiciones exteriores para el cálculo de condensaciones

Para el cálculo de condensaciones se toman como temperaturas exteriores y humedades relativas exteriores los valores medios mensuales de la localidad donde se ubique el edificio.

En el caso de capitales de provincia, se pueden tomar los valores contenidos en la tabla C.1 del apéndice C.

En el caso de localidades que no sean capitales de provincia y que no dispongan de registros climáticos contrastados, se puede suponer que la temperatura exterior es igual a la de la capital de provincia correspondiente minorada en 1 °C por cada 100 m de diferencia de altura entre ambas localidades. La humedad relativa para dichas localidades se calcula suponiendo que su humedad absoluta es igual a la de su capital de provincia.

El procedimiento a seguir para obtener la humedad relativa de una cierta localidad a partir de los datos de su capital de provincia es el siguiente:

- cálculo de la presión de saturación de la capital de provincia P_{sat} en [Pa], a partir de su temperatura exterior para el mes de cálculo en [°C], según el apartado 3.1.
- cálculo de la presión de vapor de la capital de provincia P_e en [Pa], mediante la expresión:

$$P_e = \phi_e \cdot P_{sat}(\theta_e) \quad [1]$$

donde,

ϕ_e es la humedad relativa exterior para la capital de provincia y el mes de cálculo [en tanto por 1].

- cálculo de la presión de saturación de la localidad $P_{sat,loc}$ en [Pa], según el apartado 3.1, siendo ahora θ la temperatura exterior para la localidad y el mes de cálculo en [°C].
- cálculo de la humedad relativa para dicha localidad y mes, mediante:

$$\phi_{e,loc} = P_e / P_{sat,loc}(\theta_{e,loc}) \quad [2]$$

Si la localidad se encuentra a menor altura que la de referencia se toma para dicha localidad la temperatura y humedad de la capital de provincia.

2.2 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones

2.2.1 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones superficiales

Se toma una temperatura del ambiente interior igual a 20 °C para el mes de enero.

Si se dispone del dato de humedad relativa interior y esta se mantiene constante, debido por ejemplo a un sistema de climatización, se puede utilizar dicho dato en el cálculo añadiéndole 0,05 como margen de seguridad.

En caso de conocer el ritmo de producción de la humedad interior y la tasa de renovación de aire, se puede calcular la humedad relativa interior del mes de enero mediante el método descrito en el apartado 3.2.

2.2.2 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones intersticiales

Si se dispone de los datos de temperatura interior y de humedad relativa interior, se pueden utilizar dichos datos en el cálculo añadiéndole 0,05 a la humedad relativa como margen de seguridad.

Debe cuidarse el uso de datos de temperatura y humedad relativa interior que se correspondan adecuadamente con las condiciones existentes ya que en caso contrario los cálculos pueden dar lugar a resultados incorrectos. Por ejemplo, para una vivienda en zona marítima la humedad relativa interior puede ser muy superior al 55% indicado y producirse condensaciones con gran facilidad que no se detectarían de usar el valor por defecto.

En caso de conocer el ritmo de producción de la humedad interior y la tasa de renovación de aire, se puede calcular la humedad relativa interior para cada mes del año mediante el método descrito en el apartado 3.2.

En ausencia de datos más precisos, se puede tomar, para todos los meses del año, una temperatura del ambiente interior igual a 20 °C y una humedad relativa del ambiente interior en función de la clase de higrometría del espacio:

- clase de higrometría 5, correspondiente a espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías, restaurantes y piscinas: 70%
- clase de higrometría 4, correspondiente a espacios en los que se prevea una alta producción de humedad, tales como cocinas, pabellones deportivos, duchas colectivas u otros de uso similar: 62%
- clase de higrometría 3 o inferior, correspondiente a espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad, como oficinas, tiendas, zonas de almacenamiento y todos los espacios en edificios de uso residencial: 55%

3 Relaciones psicrométricas

3.1 Cálculo de la presión de saturación de vapor

La presión de vapor de saturación se calcula en función de la temperatura, a partir de las siguientes ecuaciones:

- a) Si la temperatura (θ) es mayor o igual a 0°C:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}} \quad [3]$$

- b) Si la temperatura (θ) es menor que 0°C:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}} \quad [4]$$

3.2 Cálculo de la humedad relativa interior

En caso de conocer el ritmo de producción de la humedad interior G y la tasa de renovación de aire n , se puede calcular la humedad relativa interior mediante el procedimiento descrito a continuación.

La humedad relativa interior φ_i (%) para la localidad donde se ubique el edificio y el mes de cálculo se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$\varphi_i = \frac{100 \cdot P_i}{P_{sat}(\theta_{si})} \quad [5]$$

donde,

$P_{\text{sat}}(\theta_{\text{si}})$ es la presión de saturación correspondiente a la temperatura superficial interior obtenida según la ecuación [3] [Pa];

P_i es la presión de vapor interior calculada mediante la siguiente expresión [Pa]:

$$P_i = P_e + \Delta p \quad [6]$$

donde,

P_e es la presión de vapor exterior calculada según las ecuaciones [3][4] [Pa];

Δp es el exceso de presión de vapor interior del local calculado mediante la siguiente ecuación [Pa]:

$$\Delta p = \frac{\Delta v \cdot R_v \cdot (T_i + T_e)}{2} \quad [7]$$

donde,

R_v es la constante de gas para el agua = 462 [Pa m³ / (K kg)];

T_i es la temperatura interior [K];

T_e es la temperatura exterior para la localidad y el mes de cálculo [K];

Δv es el exceso de humedad interior obtenido mediante la expresión [kg/m³]:

$$\Delta v = \frac{G}{n \cdot V} \quad [8]$$

donde,

G es el ritmo de producción de la humedad interior [kg/h];

n es la tasa de renovación de aire [h⁻¹];

V es el volumen de aire del local [m³].

4 Comprobación de la limitación de condensaciones

4.1 Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales

4.1.1 Método de comprobación de condensaciones superficiales

El método del factor de temperaturas superficiales permite limitar el riesgo de aparición de condensaciones superficiales usando un criterio simplificado, que consiste en establecer un límite máximo del 80% de humedad relativa media mensual sobre la superficie del cerramiento analizado.

La comprobación de la limitación de condensaciones superficiales se basa en la comparación del *factor de temperatura de la superficie interior* f_{RSi} y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{\text{RSi,min}}$ para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero de la localidad. A falta de mejores datos se pueden obtener de la tabla C.1 del apéndice C.

En los cerramientos y puentes térmicos se comprueba que el *factor de temperatura de la superficie interior* es superior al factor de temperatura de la superficie interior mínimo. Este factor se puede obtener a partir de la tabla 1 en función de la clase de higrometría de cada espacio y la zona climática de invierno donde se encuentre el edificio.

Tabla 1 Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$

Categoría del espacio	α	Zona climática de invierno				
		A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

El cumplimiento de los valores de transmitancia máxima de los parámetros característicos de la envolvente establecidos en el documento DB HE1 asegura, para los cerramientos y particiones interiores de los espacios de clase de higrometría 4 o inferior, la verificación de la condición anterior, pudiendo resultar necesario comprobarlo en los puentes térmicos.

En caso de disponer de información suficiente, el factor de temperatura de la superficie interior mínimo puede calcularse mediante el método descrito en el apartado 4.1.3 bajo las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero de la localidad.

El cálculo del factor de temperatura superficial correspondiente a cada cerramiento o puente térmico se obtiene mediante el método descrito en el apartado 4.1.2.

Por sus características, no es necesaria la comprobación de aquellas particiones interiores que linden con espacios no habitables donde se prevea escasa producción de vapor de agua, así como los cerramientos en contacto con el terreno.

4.1.2 Cálculo del factor de temperatura de la superficie interior de un cerramiento

El *factor de temperatura de la superficie interior* f_{Rsi} , para cada cerramiento, partición interior, se calcula a partir de su transmitancia térmica mediante la siguiente ecuación:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25 \quad [9]$$

donde,

U es la transmitancia térmica del cerramiento, partición interior en el cerramiento [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$].

El *factor de temperatura de la superficie interior* f_{Rsi} para los *puentes térmicos*, para aplicar el método descrito en este documento, puede calcularse aplicando los métodos descritos en la norma UNE-EN ISO 10211:2012 o en el Documento de Apoyo correspondiente.

4.1.3 Cálculo del factor de temperatura de la superficie interior mínimo

El *factor de temperatura de la superficie interior* mínimo aceptable $f_{Rsi,min}$ de un cerramiento o partición interior se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{20 - \theta_e} \quad [10]$$

donde,

θ_e es la temperatura exterior de la localidad en el mes de enero definida en el Apéndice C tabla C.1 [$^\circ\text{C}$];

$\theta_{si,min}$ es la temperatura superficial interior mínima aceptable obtenida de la siguiente expresión [$^\circ\text{C}$]:

$$\theta_{si,min} = \frac{237.3 \cdot \log_e \left(\frac{Psat}{610.5} \right)}{17.269 - \log_e \left(\frac{Psat}{610.5} \right)} \quad [11]$$

donde,

P_{sat} es la presión de saturación máxima aceptable en la superficie obtenida de la siguiente expresión [Pa]:

$$P_{\text{sat}} = \frac{P_i}{0.8} \quad [12]$$

donde,

P_i es la presión del vapor interior obtenida de la siguiente expresión [Pa].

$$P_i = \varphi_i \cdot 2337 \quad [13]$$

donde,

φ_i es la humedad relativa interior definida en el apartado 2.1. [en tanto por 1].

La presión interior que se obtiene de la fórmula 13 es para una temperatura de 20 °C, para otras temperaturas de cálculo se pueden usar las siguientes presiones de vapor:

- 21 °C: $P_i = \varphi_i \cdot 2486$
- 22 °C: $P_i = \varphi_i \cdot 2642$
- 23 °C: $P_i = \varphi_i \cdot 2808$
- 24 °C: $P_i = \varphi_i \cdot 2982$
- 25 °C: $P_i = \varphi_i \cdot 3166$

4.2 Comprobación de la limitación de condensaciones intersticiales

Este método permite comprobar la existencia de riesgo de condensaciones intersticiales y, en su caso, cuantificarlas para poder determinar la cantidad acumulada a lo largo de un periodo anual.

4.2.1 Método de comprobación de condensaciones intersticiales

El procedimiento descrito para la comprobación de la formación de condensaciones intersticiales se basa en la comparación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación que existe en cada punto intermedio de un cerramiento formado por diferentes capas, para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero y especificadas en el Apéndice C, tabla C.1 de este documento.

Para que no se produzcan condensaciones intersticiales se comprueba que la presión de vapor en la superficie de cada capa es inferior a la presión de vapor de saturación.

Para cada cerramiento objeto se calcula:

- a) la distribución de temperaturas;
- b) la distribución de presiones de vapor de saturación para las temperaturas antes calculadas;
- c) la distribución de presiones de vapor.

No es necesaria la comprobación aquellos cerramientos en contacto con el terreno y los cerramientos que dispongan de *barrera contra el vapor* de agua en la parte caliente del cerramiento. Para particiones interiores en contacto con espacios no habitables en los que se prevea gran producción de humedad, se debe colocar la *barrera contra el vapor* en el lado de dicho espacio no habitable.

En caso de que se produzcan condensaciones intersticiales en una capa distinta a la de aislamiento, se aconseja evitar que la cantidad de agua condensada en cada periodo anual supere la cantidad de agua evaporada posible en el mismo periodo. Para ello, se puede repetir el procedimiento descrito anteriormente, pero para cada mes del año a partir de los datos climáticos del apartado Apéndice C, tabla C.1 y

calculando en cada uno de ellos y para cada capa de material la cantidad de agua condensada o evaporada. Como criterio general y salvo justificación expresa, no es recomendable admitir la presencia de agua condensada en los materiales aislantes.

4.2.2 Distribución de temperaturas

La distribución de temperaturas a lo largo del espesor de un cerramiento formado por varias capas depende de las temperaturas del aire a ambos lados de la misma, así como de las resistencias térmicas superficiales interior R_{si} y exterior R_{se} , y de las resistencias térmicas de cada capa ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$).

El procedimiento a seguir para el cálculo de la distribución de temperaturas es el siguiente:

- cálculo de la resistencia térmica total del elemento;
- cálculo de la temperatura superficial exterior θ_{se} :

$$\theta_{se} = \theta_e + \frac{R_{se}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [14]$$

donde,

θ_e es la temperatura exterior de la localidad en la que se ubica el edificio según el Apéndice C, tabla C.1, correspondiente a la temperatura media del mes de enero [$^{\circ}\text{C}$];

θ_i es la temperatura interior definida en el apartado 2.2.2 [$^{\circ}\text{C}$];

R_T es la resistencia térmica total del componente constructivo [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$];

R_{se} es la resistencia térmica superficial correspondiente al aire exterior, en función de la posición del elemento constructivo, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$].

- cálculo de la temperatura en cada una de las capas que componen el elemento constructivo según las expresiones siguientes:

$$\theta_1 = \theta_{se} + \frac{R_1}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{R_2}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \frac{R_n}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [15]$$

donde,

θ_{se} es la temperatura superficial exterior [$^{\circ}\text{C}$];

θ_e es la temperatura exterior de la localidad en la que se ubica el edificio obtenida del Apéndice C, tabla C.1, correspondiente a la temperatura media del mes de enero [$^{\circ}\text{C}$];

θ_i es la temperatura interior definida en el apartado 2.2.2 [$^{\circ}\text{C}$];

$\theta_1 \dots \theta_{n-1}$ son las temperaturas en cada capa [$^{\circ}\text{C}$].

$R_1, R_2 \dots R_n$ son las resistencias térmicas de cada capa [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$];

R_T es la resistencia térmica total del componente constructivo [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$];

d) cálculo de la temperatura superficial interior θ_{si} :

$$\theta_{si} = \theta_n + \frac{R_{si}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [16]$$

donde,

θ_e	es la temperatura exterior de la localidad en la que se ubica el edificio obtenida del apartado E.1.1 correspondiente a la temperatura media del mes de enero [°C];
θ_i	es la temperatura interior definida en el apartado 2.2.2 [°C];
θ_n	es la temperatura en la capa n [°C];
R_{si}	es la resistencia térmica superficial correspondiente al aire interior, obtenida de acuerdo a la posición del elemento constructivo, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [$m^2 \cdot K / W$];
R_T	es la resistencia térmica total del componente constructivo [$m^2 \cdot K / W$].

Se considera que la distribución de temperaturas en cada capa es lineal.

4.2.3 Distribución de la presión de vapor de saturación

A partir de la distribución de temperaturas obtenida anteriormente se puede obtener la distribución de la presión de vapor de saturación a lo largo de un muro formado por varias capas.

4.2.4 Distribución de presión de vapor

La distribución de presión de vapor a través del cerramiento se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_e + \frac{S_{d1}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e) \\ P_2 &= P_1 + \frac{S_{d2}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e) \\ P_n &= P_{n-1} + \frac{S_{d(n)}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e) \end{aligned} \quad [17]$$

donde,

P_i	es la presión de vapor del aire interior [Pa];
P_e	es la presión de vapor del aire exterior [Pa];
$P_1 \dots P_{n-1}$	es la presión de vapor en cada capa n [Pa];
$S_{d1} \dots S_{d(n)}$	es el espesor de aire equivalente de cada capa frente a la difusión del vapor de agua, calculado mediante la siguiente expresión [m];

$$S_{dn} = e_n \cdot \mu_n \quad [18]$$

donde,

μ_n	es el factor de resistencia a la difusión del vapor de agua de cada capa, que se puede obtener a partir de valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10 456: 2012 o tomado de Documentos Reconocidos;
e_n	es el espesor de la capa n [m].

La distribución de presiones de vapor a través del cerramiento se puede representar gráficamente mediante una línea recta que une el valor de P_i con P_e , dibujado sobre la sección del cerramiento utilizando los espesores de capa equivalentes a la difusión de vapor de agua, S_{dn} (véase figura 1).

Para el cálculo analítico de P_i y de P_e , en función de la temperatura y de la humedad relativa, se utiliza la siguiente expresión:

$$P_i = \phi_i \cdot P_{sat}(\theta_i) \quad [19]$$

$$P_e = \phi_e \cdot P_{sat}(\theta_e) \quad [20]$$

donde,

ϕ_i es la humedad relativa del ambiente interior definida en el apartado 2.2.2 [en tanto por 1];

ϕ_e es la humedad relativa del ambiente exterior definida en la tabla C.1 del Apéndice C [en tanto por 1];

P_i es la presión de vapor del aire interior [Pa];

P_e es la presión de vapor del aire exterior [Pa].

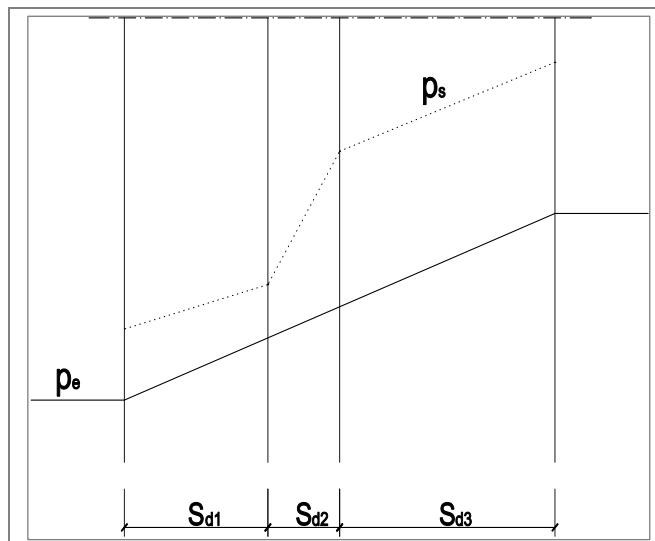


Figura 1 Distribución de presiones de vapor de saturación y presiones de vapor en un elemento multicapa del edificio dibujada frente a la resistencia a presión de cada capa.

4.2.5 Barrera contra el vapor

Si es necesaria la interposición de una *barrera contra el vapor*, esta se debe colocar en la cara caliente del cerramiento, cuidando que en la ejecución se eviten roturas o deterioros en la misma.

Apéndice A Terminología

Barrera contra el vapor: elemento que tiene una resistencia a la difusión de vapor mayor que 10 MN·s/g equivalente a 2,7 m²·h·Pa/mg.

Condiciones higrotérmicas: Son las condiciones de temperatura seca y humedad relativa que prevalecen en los ambientes exterior e interior para el cálculo de las condensaciones intersticiales.

Espesor de aire equivalente frente a la difusión del vapor de agua: Espesor de una capa de aire inmóvil que tiene la misma resistencia al vapor de agua que el espesor del material considerado.

Exceso de humedad interior: Cociente entre la cantidad media de producción de humedad producida en el interior de un espacio (kg/h) y el producto de la tasa de renovación de aire por el volumen del mismo (m³/h). El exceso de humedad interior se expresa en kg/m³.

Factor de temperatura de la superficie interior: Es el cociente entre la diferencia de temperatura superficial interior y la del ambiente exterior y la diferencia de temperatura del ambiente interior y exterior.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{20 - \theta_e}$$

Humedad relativa: Es la fracción de la presión de saturación que representa la presión parcial del vapor de agua en el espacio o ambiente exterior en estudio. Se tiene en cuenta en el cálculo de las condensaciones, superficiales e intersticiales en los cerramientos.

Humedad superficial crítica: Humedad relativa de la superficie que conduce a un deterioro de la misma, en particular a la formación de moho.

Permeabilidad al vapor de agua: Es la cantidad de vapor que pasa a través de la unidad de superficie de material de espesor unidad cuando la diferencia de presión de vapor entre sus caras es la unidad.

Temperatura mínima aceptable: Temperatura superficial mínima interior para evitar la formación de moho.

Transmitancia térmica: Es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

Apéndice B Notaciones y unidades

φ	Humedad relativa, en %
φ_e	Humedad relativa exterior, en %
φ_i	Humedad relativa interior, en %
θ_n	Temperatura en la capa n, en °C
θ_e	Temperatura exterior, en °C
θ_i	Temperatura interior, en °C
θ_{si}	Temperatura superficial interior, en °C
$\theta_{si,min}$	Temperatura superficial interior mínima aceptable, en °C
θ_{se}	Temperatura superficial exterior, en °C
μ	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional
G	Ritmo de producción de la humedad interior, en kg/h
Δv	Exceso de humedad interior $v_i - v_e$, en kg/m ³
Δp	Exceso de presión de vapor interior $P_i - P_e$, en Pa
n	Tasa de renovación de aire, en h ⁻¹
R_v	Constante de gas para el agua = 462 Pa m ³ / (K·kg)
T	Temperatura en K
f_{Rsi}	Factor de temperatura de la superficie interior, adimensional
$f_{Rsi,min}$	Factor de temperatura de la superficie interior mínimo, adimensional
P	Presión de vapor del aire, en Pa
P_e	Presión de vapor del aire exterior, en Pa
P_i	Presión de vapor del aire interior, en Pa
P_n	Presión de vapor del aire en la capa n, en Pa
P_{sat}	Presión de vapor de saturación, en Pa
R_n	Resistencia térmica de la capa n de un cerramiento, 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_T	Resistencia térmica total, en m ² ·K/W
S_{dn}	Espesor equivalente de la capa n de un cerramiento, en m
U	Transmitancia térmica, en W/m ² ·K
e	Espesor de una capa, en m

Apéndice C Datos climáticos

Tabla C.1 Datos climáticos mensuales de capitales de provincia, T en °C y HR en %

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	T _{med}	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
	HR _{med}	78	70	62	60	54	50	44	50	58	70	77	79
Alicante	T _{med}	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
	HR _{med}	67	65	63	65	65	65	64	68	69	70	69	68
Almería	T _{med}	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
	HR _{med}	70	68	66	65	67	65	64	66	66	69	70	69
Avila	T _{med}	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
	HR _{med}	75	70	62	61	55	50	39	40	50	65	73	77
Badajoz	T _{med}	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
	HR _{med}	80	76	69	66	60	55	50	50	57	68	77	82
Barcelona	T _{med}	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
	HR _{med}	73	70	70	70	72	70	69	72	74	74	74	71
Bilbao	T _{med}	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5
	HR _{med}	73	70	70	72	71	72	73	75	74	74	74	74
Burgos	T _{med}	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
	HR _{med}	86	80	73	72	69	67	61	62	67	76	83	86
Cáceres	T _{med}	7,8	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8
	HR _{med}	78	73	63	60	55	44	37	39	49	65	76	80
Cádiz	T _{med}	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
	HR _{med}	77	75	70	71	71	70	69	69	70	73	76	77
Castellón	T _{med}	10,1	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2
	HR _{med}	68	66	64	66	67	66	66	69	71	71	73	69
Ceuta	T _{med}	11,5	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1
	HR _{med}	87	87	88	87	87	87	87	87	89	89	88	88
Ciudad Real	T _{med}	5,7	7,2	9,6	11,9	16,0	20,8	25,0	24,7	21,0	14,8	9,1	5,9
	HR _{med}	80	74	66	65	59	54	47	48	57	68	78	82
Córdoba	T _{med}	9,5	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7
	HR _{med}	80	75	67	65	58	53	46	49	55	67	76	80
A Coruña	T _{med}	10,2	10,5	11,3	12,1	14,1	16,4	18,4	18,9	18,1	15,7	12,7	10,9
	HR _{med}	77	76	74	76	78	79	79	79	79	79	79	78
Cuenca	T _{med}	4,2	5,2	7,4	9,6	13,6	18,2	22,4	22,1	18,6	12,9	7,6	4,8
	HR _{med}	78	73	64	62	58	54	44	46	56	68	76	79
Girona	T _{med}	6,8	7,9	9,8	11,6	15,4	19,4	22,8	22,4	19,9	15,2	10,2	7,7
	HR _{med}	77	73	71	71	70	67	62	68	72	76	77	75
Granada	T _{med}	6,5	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4
	HR _{med}	76	71	64	61	56	49	42	42	53	62	73	77
Guadalajara	T _{med}	5,5	6,8	8,8	11,6	15,3	19,8	23,5	22,8	19,5	14,1	9,0	5,9
	HR _{med}	80	76	69	68	67	62	53	54	61	72	79	81
Huelva	T _{med}	12,2	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5
	HR _{med}	76	72	66	63	60	59	54	54	60	67	72	75
Huesca	T _{med}	4,7	6,7	9,0	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3
	HR _{med}	80	73	64	63	60	56	48	53	61	70	78	81
Jaén	T _{med}	8,7	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7
	HR _{med}	77	72	67	64	59	53	44	45	55	67	75	77
León	T _{med}	3,1	4,4	6,6	8,6	12,1	16,4	19,7	19,1	16,7	11,7	6,8	3,8
	HR _{med}	81	75	66	63	60	57	52	53	60	72	78	81
Lleida	T _{med}	5,5	7,8	10,3	13,0	17,1	21,2	24,6	24,0	21,1	15,7	9,2	5,8
	HR _{med}	81	69	61	56	55	54	47	54	62	70	77	82
Logroño	T _{med}	5,8	7,3	9,4	11,5	15,1	19,0	22,2	21,8	19,2	14,4	9,1	6,3
	HR _{med}	75	68	62	61	59	56	55	56	61	69	73	76
Lugo	T _{med}	5,8	6,5	7,8	9,5	11,7	14,9	17,2	17,5	16,0	12,5	8,6	6,3
	HR _{med}	85	81	77	77	76	76	75	75	77	82	84	85

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Madrid	T _{med}	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
	HR _{med}	71	66	56	55	51	46	37	39	50	63	70	73
Málaga	T _{med}	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
	HR _{med}	71	70	66	65	61	59	60	63	65	70	72	72
Melilla	T _{med}	13,2	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1
	HR _{med}	72	72	71	70	69	68	67	68	72	75	74	73
Murcia	T _{med}	10,6	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3
	HR _{med}	72	69	69	68	70	71	72	74	73	73	73	73
Ourense	T _{med}	7,4	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2
	HR _{med}	83	75	69	70	67	64	61	62	64	73	83	84
Oviedo	T _{med}	7,5	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7
	HR _{med}	77	75	74	77	79	80	80	80	78	78	78	76
Palencia	T _{med}	4,1	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4
	HR _{med}	84	77	71	70	67	64	58	59	63	73	80	85
Palma de Mallorca	T _{med}	11,6	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0
	HR _{med}	71	69	68	67	69	69	67	71	73	72	72	71
Palmas, Las	T _{med}	17,5	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3
	HR _{med}	68	67	65	66	65	67	66	67	69	70	70	68
Pamplona	T _{med}	4,5	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7
	HR _{med}	80	73	68	66	66	62	58	61	61	68	76	79
Pontevedra	T _{med}	9,9	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3
	HR _{med}	74	73	69	67	68	66	65	65	69	72	73	74
S,Sebastian	T _{med}	7,9	8,5	9,4	10,7	13,5	16,1	18,4	18,7	18,0	15,2	10,9	8,6
	HR _{med}	76	74	74	79	79	82	82	83	79	76	76	76
Salamanca	T _{med}	3,7	5,3	7,3	9,6	13,4	17,8	21,0	20,3	17,5	12,3	7,0	4,1
	HR _{med}	85	78	69	66	62	58	50	53	62	74	82	86
Santa Cruz de Tenerife	T _{med}	17,9	18,0	18,6	19,1	20,5	22,2	24,6	25,1	24,4	22,4	20,7	18,8
	HR _{med}	66	66	62	61	60	59	56	58	63	65	67	66
Santander	T _{med}	9,7	10,3	10,8	11,9	14,3	17,0	19,3	19,5	18,5	16,1	12,5	10,5
	HR _{med}	71	71	71	74	75	77	77	78	77	75	73	72
Segovia	T _{med}	4,1	5,2	7,1	9,1	13,1	17,7	21,6	21,2	17,9	12,6	7,3	4,3
	HR _{med}	75	71	65	65	61	55	47	49	55	65	73	78
Sevilla	T _{med}	10,7	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1
	HR _{med}	79	75	68	65	59	56	51	52	58	67	76	79
Soria	T _{med}	2,9	4,0	5,8	8,0	11,8	16,1	19,9	19,5	16,5	11,3	6,1	3,4
	HR _{med}	77	73	68	67	64	60	53	54	60	70	76	78
Tarragona	T _{med}	10,0	11,3	13,1	15,3	18,4	22,2	25,3	25,3	22,7	18,4	13,5	10,7
	HR _{med}	66	63	59	59	61	60	59	62	67	70	68	66
Teruel	T _{med}	3,8	4,8	6,8	9,3	12,6	17,5	21,3	20,6	17,9	12,1	7,0	4,5
	HR _{med}	72	67	60	60	60	55	50	54	59	66	71	76
Toledo	T _{med}	6,1	8,1	10,9	12,8	16,8	22,5	26,5	25,7	22,6	16,2	10,7	7,1
	HR _{med}	78	72	59	62	55	47	43	45	54	68	77	81
Valencia	T _{med}	10,4	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18,3	13,7	10,9
	HR _{med}	63	61	60	62	64	66	67	69	68	67	66	64
Valladolid	T _{med}	4,1	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8
	HR _{med}	82	72	62	61	57	52	44	46	53	67	77	83
Vitoria	T _{med}	4,6	6,0	7,2	9,2	12,4	15,6	18,3	18,5	16,5	12,7	7,5	5,0
	HR _{med}	83	78	72	71	71	71	69	70	70	74	81	83
Zamora	T _{med}	4,3	6,3	8,3	10,5	14,0	18,5	21,8	21,3	18,7	13,4	8,1	4,9
	HR _{med}	83	75	65	63	59	54	47	50	58	70	79	83
Zaragoza	T _{med}	6,2	8,0	10,3	12,8	16,8	21,0	24,3	23,8	20,7	15,4	9,7	6,5
	HR _{med}	76	69	60	59	55	52	48	54	61	70	75	77

Otros documentos relacionados

UNE EN ISO 6946:2012	Elementos y componentes de 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 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 ISO 13788: 2002	Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo.
UNE EN ISO 10211:2012	Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados.
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.



**Documento de Apoyo al Documento Básico
DB-HE Ahorro de energía
Código Técnico de la Edificación**

DA DB-HE / 3

Puentes térmicos

Mayo 2014

Índice

1	Objeto	2
2	Los puentes térmicos en la eficiencia energética del edificio	2
2.1	Definiciones	2
2.2	Clasificación de los puentes térmicos en el CTE	2
2.3	Transmisión de calor y condensaciones en los puentes térmicos	3
2.4	Formulación de la transmisión de calor considerando los puentes térmicos	3
2.5	Transmitancia térmica lineal ψ y puntual X	4
2.6	Sistemas de dimensiones para el cálculo de ψ	6
3	Métodos para el cálculo de puentes térmicos	8
3.1	Métodos detallados	8
3.2	Métodos simplificados	8
3.3	Otras simplificaciones para la consideración de los puentes térmicos	9
3.4	Resistencia superficial	9
4	Condensaciones superficiales en los puentes térmicos	10
4.1	Riesgo de formación de condensaciones superficiales	10
4.2	Limitación del riesgo de formación de moho	10
5	Atlas de puentes térmicos	13
5.1	Parámetros y criterios de cálculo	13
5.2	Pilares integrados en fachada	14
5.3	Jambas	16
5.4	Dinteles	19
5.5	Alféizares	21
5.6	Capitalizados	24
5.7	Frentes de forjados	26
5.8	Cubiertas planas	27
5.9	Esquinas	29
5.10	Forjados inferiores en contacto con el aire exterior	30
5.11	Suelos en contacto con el terreno	32
Apéndice A	Terminología	34
Apéndice B	Notaciones y unidades	36
Otros documentos de referencia		37

1 Objeto

El objeto de este documento es caracterizar el comportamiento higrotérmico de los *puentes térmicos* más comunes, así como describir los fundamentos y métodos de cálculo que permitan su evaluación en el cumplimiento de las exigencias definidas en el Documento Básico DB HE relativas a demanda energética y consumo energético, y las exigencias definidas en el Documento Básico HS relativas a condensaciones superficiales.

El documento recoge una exposición de los fundamentos teóricos básicos para la mejor comprensión del efecto de los *puentes térmicos* en los edificios, lo que permite asimismo un uso eficaz del Atlas de *Puentes Térmicos* que se incluye al final del documento. El Atlas recoge la caracterización de los *puentes térmicos* para las soluciones constructivas más habituales, a la vez que proporciona criterios generales que permiten el uso coherente de otros atlas o catálogos de *puentes térmicos*.

2 Los puentes térmicos en la eficiencia energética del edificio

2.1 Definiciones

El Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico HE, sección HE1, define *puente térmico* como aquella zona de la *envolvente térmica* del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

La norma UNE-EN ISO 10211 define *puente térmico* como aquella parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a:

- a) penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales con diferente conductividad térmica;
- b) un cambio en el espesor de la fábrica;
- c) una diferencia entre las áreas internas o externas, tales como juntas entre paredes, suelos, o techos.

Además del efecto en la demanda energética del edificio, los *puentes térmicos* son partes sensibles de los edificios al aumentar en ellos el riesgo de formación de mohos por condensaciones superficiales debidas a la disminución de la temperatura de las superficies interiores (en condiciones de invierno).

Es, por tanto, necesario considerar el impacto de los *puentes térmicos* en la demanda energética de los edificios así como en el riesgo de formación de mohos.

2.2 Clasificación de los puentes térmicos en el CTE

El Documento Básico HE establece la clasificación tipológica siguiente de los *puentes térmicos*:

- a) *Puentes térmicos* integrados en los cerramientos:
 - i) pilares integrados en los cerramientos de las fachadas;
 - ii) contorno de huecos y lucernarios;
 - iii) cajas de persianas;
 - iv) otros *puentes térmicos* integrados;
- b) *Puentes térmicos* formados por encuentro de cerramientos:
 - i) frentes de forjado en las fachadas;
 - ii) uniones de cubiertas con fachadas;

- iii) cubiertas con pretil;
- iv) cubiertas sin pretil;
- v) uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno;
- vi) unión de fachada con losa o solera;
- vii) unión de fachada con muro enterrado o pantalla;
- c) Esquinas o encuentros de fachadas, que, dependiendo de la posición del ambiente exterior se subdividen en:
 - i) esquinas entrantes;
 - ii) esquinas salientes;
- d) Encuentros de voladizos con fachadas;
- e) Encuentros de tabiquería interior con cerramientos exteriores.

2.3 Transmisión de calor y condensaciones en los puentes térmicos

El efecto en el flujo de calor que producen los *puentes térmicos* en la *envolvente térmica* del edificio es la aparición de *flujos de calor bidimensionales* o *tridimensionales*, en lugar de un comportamiento uniforme que puede describirse suponiendo simplemente un *flujo unidimensional*.

Para calcular con precisión el comportamiento térmico global de la *envolvente térmica*, incluido el efecto de los *puentes térmicos*, se puede hacer uso de métodos numéricos, que permiten obtener resultados más fiables pero con mayor esfuerzo de modelado que con formulaciones simplificadas cuyos fundamentos se describen a continuación.

2.4 Formulación de la transmisión de calor considerando los puentes térmicos

La transmisión de calor a través de la *envolvente térmica*, entre los ambientes interior y exterior, se puede describir, de manera simplificada, mediante la siguiente expresión:

$$\Phi_T = \left(\sum U_i A_i + \sum \psi_j L_j + \sum \chi_k \right) (\theta_i - \theta_e) = U_m A_T (\theta_i - \theta_e) \quad (1)$$

donde:

- Φ_T flujo de calor por conducción [W];
- U_i *transmitancia térmica*¹ del elemento i de la *envolvente térmica* [W/m²K], de área A_i [m²];
- ψ_j *transmitancia térmica lineal* del encuentro j del edificio [W/mK] y L_j la longitud de ese encuentro [m];
- χ_k *transmitancia térmica del puente térmico puntual* k [W/K];
- U_m *transmitancia térmica media* de la *envolvente térmica* [W/m²K] incluido el efecto de los *puentes térmicos*;
- A_T superficie total de transmisión [m²].

Si despreciamos la contribución de los *puentes térmicos* puntuales:

$$\Phi_T = \left(\sum U_i A_i + \sum \psi_j L_j \right) (\theta_i - \theta_e) = U_m A_T (\theta_i - \theta_e) \quad (2)$$

¹ El valor de la resistencia superficial R_{si} empleada para el cálculo de la *transmitancia térmica* de los elementos está condicionado por el uso al que va destinado, cambiando según se emplee para el cálculo de flujos térmicos (demanda) o para el cálculo de temperaturas superficiales (condensaciones).

Se adoptan coeficientes diferenciados según el tipo de elemento y/o dirección del flujo térmico y del propósito del cálculo. La norma UNE-EN ISO 10211:2012 remite a la norma UNE-EN ISO 6946 para los valores de R_{si} empleados en el cálculo de flujos térmicos y a la UNE-EN ISO 13788 para el cálculo de condensaciones.

Para un análisis detallado de la resistencia superficial interior puede consultarse la norma (no vigente) UNE-EN ISO 10211-1:1995.

El primer término de la expresión (2) expresa el flujo de calor como superposición del comportamiento unidimensional (U) y el bidimensional (ψ) de la *envolvente térmica*.

El segundo término, asimila el comportamiento del conjunto a un *flujo unidimensional* equivalente, caracterizado por una *transmitancia térmica* media aplicable a la superficie del elemento estudiado.

A partir de estas expresiones, basadas en la superposición de comportamientos y en el comportamiento conjunto, es posible analizar de forma simplificada los *puentes térmicos*.

2.5 Transmitancia térmica lineal ψ y puntual χ

La *transmitancia térmica lineal* ψ describe la transferencia térmica adicional de un encuentro (un *puente térmico lineal*) en relación a la transferencia térmica unidimensional de referencia que se produce en los elementos adyacentes.

$$\psi = \frac{\Phi_{2D}}{L(\theta_i - \theta_e)} - \sum_n (A_i U_i) \quad (3)$$

donde:

- ψ *transmitancia térmica lineal* [W/mK];
- Φ_{2D} flujo de calor a través del elemento analizado mediante un modelo bidimensional [W];
- L longitud del encuentro [m];
- $\theta_i - \theta_e$ diferencia de temperaturas entre interior y exterior [K];
- U_i *transmitancia térmica* del elemento adyacente i [W/m²K];
- A_i superficie a la que se aplica el valor U_i [m²].

ψ permite resumir en un único parámetro el comportamiento complejo de un *puente térmico*, de forma similar a como U lo hace para un elemento con transmisión unidimensional².

El cálculo de la componente unidimensional se mantiene para toda la superficie de la *envolvente* en la que se sitúa el *puente térmico*, al medirse linealmente el efecto del puente (en ψ) y descontarse en este la transmisión unidimensional.

Se puede ver cómo se interrelacionan estas magnitudes en un ejemplo calculado con el programa KOBRA³:

² Para poder considerar el comportamiento del *puente térmico* como un efecto que se superpone al comportamiento unidimensional de los elementos adyacentes de referencia es necesario que bien los materiales tengan una *inercia térmica* despreciable, o que nos encontremos en una situación estática, sin variación de las temperaturas en el tiempo.

³ KOBRA SOFTWARE © Physibel, 2002. EUROKOBRA DATABASE © EUROKOBRA EEIG, 2002. Version 2.2. Disponible en <http://sts.bwk.tue.nl/bps/onderwijs/software/KOBRA/koudebruggen.htm>

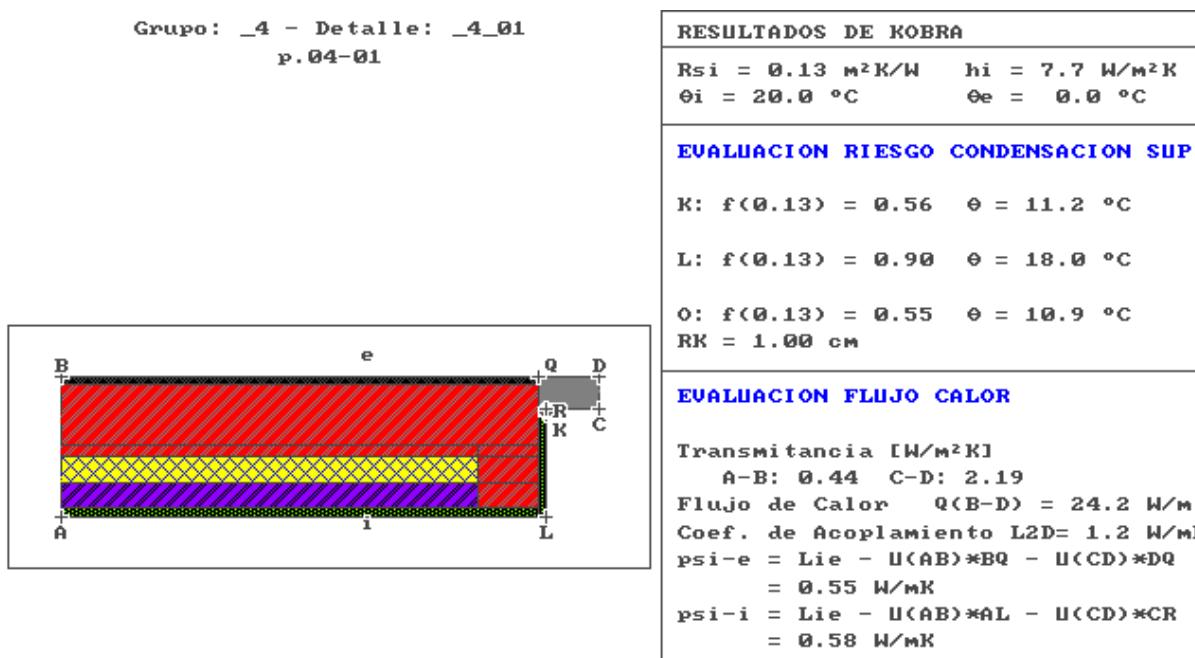


Figura 1. Evaluación de los flujos de calor con el programa Kobra

La figura 1 presenta los resultados de cálculo de un *puente térmico* correspondiente a una jamba de un hueco, que se ha simulado en el programa KOBRA, y en la que se presentan los distintos factores de la ecuación (2), así como los resultados obtenidos para una temperatura interior de 20°C y exterior de 0°C.

La *transmitancia térmica* que define el flujo unidimensional en el muro aparece en la figura como $U(AB)$, donde A y B son los puntos entre los que se evalúa aquella. De igual manera, la *transmitancia térmica* del marco aparece como $U(CD)$.

En la figura, $Q(B-D)$ es el flujo transversal de calor que atraviesa la superficie definida por BD, L_{2D} es el conocido como factor de acoplamiento, que equivale al flujo de calor dividido por la diferencia de temperaturas (20°C en este caso), considerando a efectos prácticos que su valor no depende de la diferencia de temperaturas con que se obtenga.

Sabiendo que las distancias $BQ = 0,800 + 0,115$ metros, y $DQ = 0,015 + 0,100$ metros es posible obtener los valores de las *transmitancias térmicas lineales*.

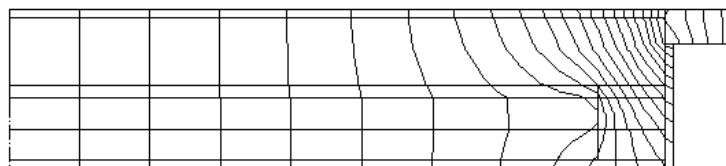


Figura 2. Líneas de flujo de calor

La figura 2 representa las líneas de flujo del detalle anterior. En ella se aprecia como en las proximidades del *puente térmico* estas son más densas, aumenta el flujo, y se curvan de manera que el flujo pasa a considerarse bidimensional en lugar del comportamiento unidimensional que se observa a cierta distancia del *puente térmico*.

La *transmitancia térmica puntual* χ tiene una formulación similar pero se suele despreciar al ser menor su impacto en el rendimiento térmico de la *envolvente* del edificio.

2.6 Sistemas de dimensiones para el cálculo de ψ

El punto de tránsito entre los tramos para los que se considera un *flujo unidimensional* constante define la superficie A_i de cada tramo a la que se aplica la U_i correspondiente, así como la arista sobre las que se mide la longitud L del *punte térmico*.

La posición de esos puntos de tránsito es arbitraria pero resulta conveniente situarla en lugares con un sentido geométrico o físico claro que facilite el cálculo. El criterio de colocación se conoce como *sistema dimensional* y es necesario indicar cuál es para poder calcular o emplear de forma coherente los valores de ψ obtenidos.

El siguiente ejemplo, también realizado con el programa KOBRA, muestra cómo se obtienen resultados diversos en función del *sistema dimensional*:

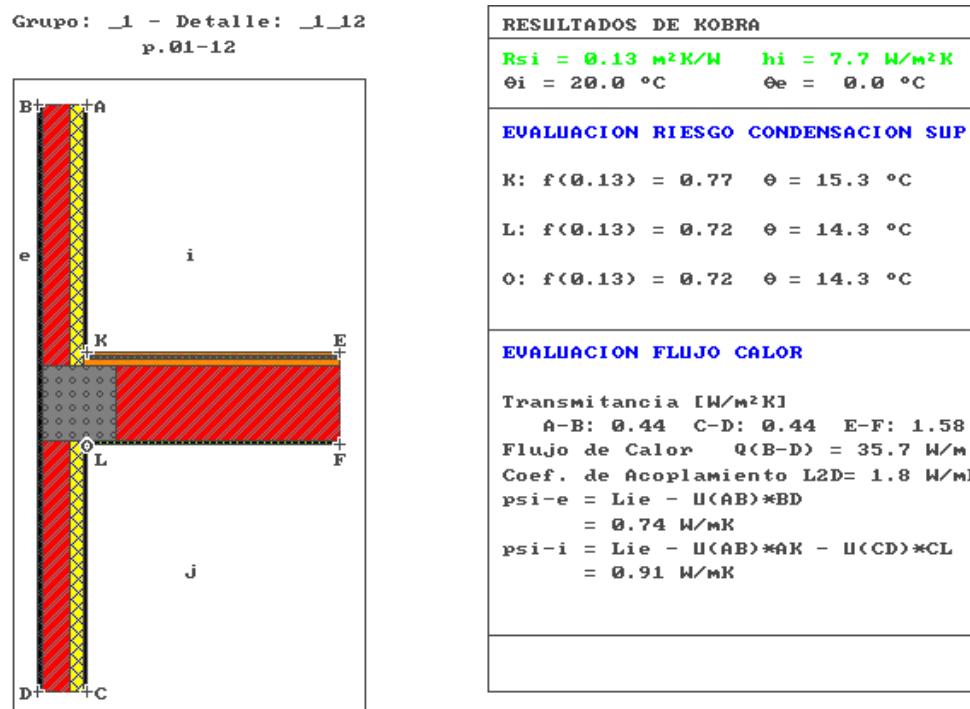


Figura 3. Incidencia del sistema de dimensiones en el cálculo de Ψ

En la figura 3 se considera un sistema de dimensiones interiores (AK + CL) para el cálculo de Ψ_i (ψ_i) y un sistema de dimensiones exteriores (BD) para el cálculo de Ψ_e (ψ_e).

En el sistema de dimensiones exteriores se aplica la *transmitancia térmica* del muro $U(AB)$ a toda la superficie externa BD, mientras que en el sistema de dimensiones interiores se aplica la *transmitancia térmica* $U(AB)$ solamente en los tramos AK y CL, excluyendo la zona interrumpida por el forjado.

Las dimensiones verticales de los dos paños de muro son de 100cm (AK, CL), el forjado de 35 cm, las capas del suelo 5,5 cm y el enlucido de techo 1,5cm.

$$\text{Longitud BD} = 1,000 + 0,055 + 0,300 + 0,015 + 1,000 = 2,370\text{m}$$

La superposición se representa gráficamente a continuación:

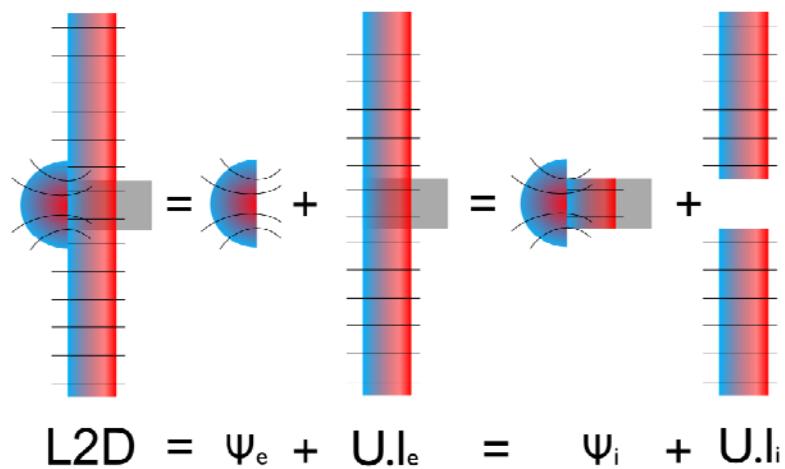


Figura 4. Significado de Ψ según la superposición realizada

En esta imagen aparecen representados los *flujos unidimensionales y bidimensionales*, así como la relación entre Ψ_e y Ψ_i , según se tomen las dimensiones exteriores (l_e) o interiores (l_i).

3 Métodos para el cálculo de puentes térmicos

A continuación se describen una serie de métodos, detallados y simplificados, con los que se aborda habitualmente el cálculo de *puentes térmicos*. La elección de uno u otro método depende de la información disponible, el nivel de modelización deseado y el uso final al que se destine el cálculo.

3.1 Métodos detallados

3.1.1 Método detallado con modelado tridimensional

En este método se evalúa el efecto global de los *puentes térmicos* mediante *simulación* con modelos tridimensionales de cálculo numérico. Es un método que exige un coste de modelización alto y que proporciona poca información previa a la simulación.

3.1.2 Método detallado con modelado bidimensional

Analiza el efecto de los *puentes térmicos* utilizando la formulación de la transmisión térmica simplificada expuesta con anterioridad, y supone la aplicabilidad del principio de superposición de flujos:

$$\Phi_T = \left(\sum U_i A_i + \sum \psi_j L_j \right) (\theta_i - \theta_e)$$

El método exige obtener la suma de los valores ψ y longitudes de cada *punte térmico* para obtener la componente bidimensional del flujo de calor, así como la suma del producto de las superficies y *transmitancias térmicas* de la *envolvente*, considerada con un comportamiento unidimensional.

Cuando no es posible calcular ψ de forma analítica se utilizan métodos numéricos y software específico de modelado bidimensional (como el empleado para elaborar las figuras 1, 2, 3 y 4) o se recurre a catálogos o atlas de detalles tipo con valores precalculados, como el que recoge este documento.

Los valores de L a los que se aplica cada ψ se obtienen por medición directa.

3.2 Métodos simplificados

Es posible realizar simplificaciones adicionales de la fórmula simplificada (2) para posibilitar el cálculo de la componente bidimensional de la transferencia de calor $\sum \psi_j L_j$ a partir de estimaciones de dicha componente. Las aproximaciones más habituales son:

3.2.1 Método simplificado con estimación de ψ :

Los valores de ψ_j se igualan para cada grupo de encuentros según las características generales del detalle, utilizando un valor representativo o tabulado para todos ellos, sin necesidad de realizar un cálculo individualizado.

3.2.2 Método simplificado con estimación de L :

Las longitudes L_j de cada detalle se estiman a partir de las características generales del edificio (tipología, compacidad...) o medidas globales (superficie, nº de plantas...), para evitar la medición directa.

3.2.3 Método simplificado con factor corrector de U :

La componente bidimensional en su totalidad se estima como una fracción de la componente unidimensional, de modo que:

$$\sum \psi_j L_j \Leftrightarrow \alpha \sum U_i A_i; \Phi_T = (1 + \alpha) \sum U_i A_i (\theta_i - \theta_e)$$

El valor de α varía en función de las características del edificio objeto y sus *puentes térmicos* o puede adoptar un valor constante.

El incremento debido a los *puentes térmicos* en la U_m indicada en (1) es:

$$\Delta U_{PT} = \frac{\sum (\psi_j L_j)}{\sum A_i}; \quad (3)$$

Esta expresión permite integrar el efecto de los *puentes térmicos* en el valor de la *transmitancia térmica unidimensional* y es la formulación que se adoptó en el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía” del años 2006 para incluir el efecto de los *puentes térmicos* integrados.

3.3 Otras simplificaciones para la consideración de los puentes térmicos

Cuando resulte conveniente usar un único valor de *transmitancia térmica lineal* para un tipo dado de *puente térmico* (p.e. pilares integrados en fachada), compuesto por varios subtipos (p.e. pilares de distintas dimensiones o configuración), se puede utilizar el valor obtenido como media ponderada de las *transmitancias térmicas lineales* de sus subtipos, según la expresión:

$$\psi_j = \frac{\sum (\psi_{ji} L_{ji})}{\sum L_{ji}}$$

donde:

- ψ_j la *transmitancia térmica lineal* resultante para la tipología de *puente térmico j* [W/mK];
- ψ_{ji} cada uno de los distintos valores de *transmitancia térmica lineal* para la tipología de *puente térmico j* [W/mK];
- L_{ji} cada una de las sumas totales de las longitudes de los *puentes térmicos* de tipo i dentro de la tipología j [m];

Las *transmitancias térmicas lineales* y las longitudes de los subtipos deben pertenecer a un *sistema dimensional* único antes de proceder a su ponderación.

3.4 Resistencia superficial

La obtención de la *transmitancia térmica* (U) de los elementos constructivos considera las propiedades térmicas de los materiales que lo componen así como unos coeficientes de película o resistencias superficiales que modelan los procesos de convección y radiación que se producen en las caras interior y exterior de los elementos.

El valor de la resistencia superficial está condicionado por el destino del cálculo, diferenciando entre el cálculo de flujos térmicos o de temperaturas, y también por la posición y disposición del elemento.

Así, se emplearán valores distintos para la evaluación de la demanda o el cálculo del riesgo de condensaciones y según se trate de un vidrio o un elemento, como un capialzado situado a cierta altura.

Para los cálculos relativos a este documento, la resistencia superficial exterior (R_{se}) se considerará igual a $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ y la resistencia superficial interior (R_{si}) tomará valores de la siguiente tabla:

Cálculo de temperaturas	R_{si} [m²·K/W]	Cálculo de flujos térmicos	R_{si} [m²·K/W]
Vidrios	0,13	Flujo vertical ascendente	0,10
Elementos en la mitad superior del espacio	0,25	Flujo horizontal	0,13
Elementos en la mitad inferior del espacio	0,35	Flujo vertical descendente	0,17
		Vidrios	0,13
		Esquinas de elementos	0,20

Valores obtenidos de las normas UNE-EN ISO 6946, UNE-EN ISO 10211, UNE-EN ISO 13788, UNE-EN ISO 10077-1 y UNE-EN ISO 10077-2.

4 Condensaciones superficiales en los puentes térmicos

4.1 Riesgo de formación de condensaciones superficiales

Otro de los efectos de los *puentes térmicos* es el aumento del riesgo de formación de condensaciones superficiales en la cara interior del elemento constructivo al existir puntos fríos en la zona afectada por el *punto térmico* como resultado del mayor flujo térmico en esas zonas.

Para analizar la posibilidad de condensaciones en los puntos fríos se utilizan los diagramas psicrométricos, que relacionan temperatura seca, humedad absoluta y humedad relativa.

La humedad absoluta es una magnitud que indica la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y se mide en gramos de agua por cada kilogramo de aire.

La cantidad agua que puede contener el aire en forma de vapor tiene un límite (humedad de saturación), que depende de la temperatura y es mayor (admita más vapor de agua) a mayor temperatura.

La proporción entre la cantidad de agua en forma de vapor que contiene el aire en relación a la cantidad de saturación, expresada como porcentaje, es conocida como *humedad relativa* (HR). Así, una *humedad relativa* del 100% significa que el aire ha alcanzado el límite de *humedad de saturación*. Para una humedad absoluta dada, la temperatura a la que se alcanza el 100% de humedad relativa se conoce como *temperatura de rocío*.

Así, cuando la temperatura del aire desciende por debajo de la temperatura de rocío el *exceso de humedad*, aquella cantidad de agua que ya no puede permanecer en forma de vapor, condensa en forma líquida.

Las superficies frías de los *puentes térmicos* son lugares propicios para la aparición de condensaciones de ese tipo.

Por ejemplo, si tenemos un espacio a 26°C de temperatura con una humedad relativa del 60%, la humedad absoluta es de 12,5 g/kg. Si la temperatura desciende a 23°C, la humedad relativa sube al 70%, manteniéndose la humedad absoluta en 12,5 g/kg. Si la temperatura baja de nuevo hasta los 21°C, la humedad relativa sería del 80% y, si llegamos a los 17,7°C, se alcanza el *punto de rocío* (100% de humedad relativa) y el vapor de agua comenzaría a condensar, eliminando el *exceso de humedad* absoluta en forma de agua, y manteniendo la *humedad relativa* en el 100%.

4.2 Limitación del riesgo de formación de moho

Las condensaciones superficiales suponen un riesgo para la salud al propiciar la formación de moho, habiéndose comprobado que este riesgo se incrementa significativamente al mantenerse una humedad relativa superior al 80% en una superficie durante varios días.

Esta condición puede simplificarse y reformularse exigiendo que la temperatura de la superficie interior supere la temperatura superficial aceptable, la que implica una humedad relativa superior al 80% en la superficie interior del cerramiento.

El método de los factores de temperatura permite hacer esa comprobación. Este consiste en comparar dos factores adimensionales: el *factor de temperatura de la superficie interior* (f_{Rsi}) y el *factor de temperatura útil sobre la superficie interior* ($f_{Rsi,min}$). El primero debe ser mayor que el segundo, para todos los meses del año:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$$

donde:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

- θ_{si} temperatura mínima en la superficie interior del cerramiento (°C);
 θ_i temperatura del ambiente interior (°C);
 θ_e temperatura del ambiente exterior (°C);
 $\theta_{si,min}$ temperatura superficial aceptable (°C).

El Documento de Apoyo DA DB-HE/2 “Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos” recoge los valores de $f_{Rsi,min}$ para las distintas zonas climáticas, obtenidas considerando las condiciones interiores de cálculo reglamentarias.

El cálculo del *factor de temperatura de la superficie interior* (f_{Rsi}) puede obtenerse⁴ mediante aplicaciones específicas que calculan dicho factor o a partir del cálculo de la temperatura mínima en la superficie interior.

El apartado 5 correspondiente al Atlas de *Puentes Térmicos* contiene indicaciones cualitativas sobre el riesgo de condensaciones para distintas soluciones constructivas.

Ejemplo de cálculo

La siguiente figura sirve para mostrar un ejemplo de comprobación del riesgo de condensaciones con el método simplificado.

En ella se simula una jamba, con una temperatura seca media mensual mínima del ambiente exterior igual a 0,0°C (de una localidad hipotética perteneciente a la zona climática E1), y una temperatura del ambiente interior de 20°C.⁵

La simulación con Kobra indica una temperatura superficial mínima para el punto O de 10,9°C.

⁴ A diferencia de los elementos planos con flujo unidimensional, en los *puentes térmicos* no es posible obtener una expresión simplificada para el cálculo del factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi} , por lo que es preciso recurrir a la simulación térmica, atlas o métodos simplificados ad-hoc.

⁵ Como se indica en la nota al pie 1, debe notarse que el valor de la resistencia térmica superficial interior R_{si} empleado para el cálculo de U del elemento es el adecuado al propósito de la obtención de las temperaturas superficiales y difiere generalmente de la empleada para la obtención de U para cálculos de flujos térmicos (por ejemplo, para la estimación de la demanda).

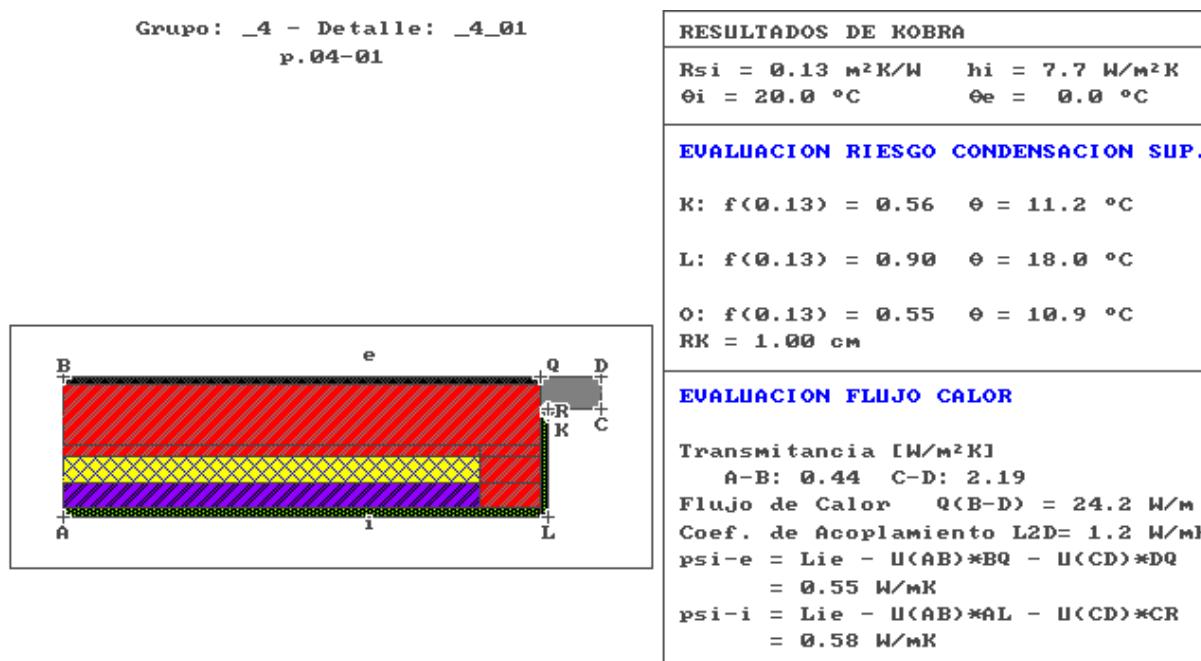


Figura 5. Evaluación de los flujos de calor con el programa Kobra

Calculamos el factor de temperatura de la superficie interior con los datos θ_{si} (punto O) = 10,9°C; θ_i = 20,0°C; θ_e = 0,0°C:

$$f_{Rsi} = (10,9 - 0) / (20 - 0) = 0,545$$

Para esa zona

$f_{Rsi,min}$ = Temperatura superficial aceptable (°C).

El valor de $f_{Rsi,min}$ para la zona climática E1 en la que se situaría la localidad elegida, para las distintas higrometrías, es la indicada en el Documento de Apoyo de Condensaciones es el que se recoge a continuación:

Categoría del espacio	E
Clase de higrometría 5	0,90
Clase de higrometría 4	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,64

Vemos que la condición $f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$ no se cumple para ninguna de las clases de higrometría, por lo que se prevé en todos los casos la producción de condensaciones con riesgo de formación de moho.

5 Atlas de puentes térmicos

Este apartado recoge en forma de atlas unos valores aproximados de la *transmitancia térmica lineal* ψ para las soluciones constructivas más comunes.

Estos valores se pueden emplear para el cálculo de la demanda energética mediante el método detallado con modelado bidimensional o mediante alguno de los métodos simplificados cuando no se disponga de valores más precisos.

Las soluciones se han agrupado por familias de detalles (pilares integrados en fachada, pilares en esquina, jambas...), y estas en grupos ordenados de mejor a peor comportamiento (menor a mayor valor de ψ).

Es importante destacar que, en general, se aprecia que el factor más determinante para mejorar el comportamiento de los detalles constructivos es mantener la continuidad del aislamiento de los cerramientos.

5.1 Parámetros y criterios de cálculo

A continuación se indican los parámetros y criterios empleados en la obtención de los valores que definen el comportamiento higrotérmico de los *puentes térmicos* de este atlas.

5.1.1 Salto térmico

Se ha considerado que el flujo de calor por cada grado de diferencia de temperatura (factor de acoplamiento) es independiente del salto térmico para los rangos de temperatura existentes en condiciones normales.

El salto térmico empleado en el cálculo responde a condiciones de invierno y es de 20°C, con $T_i = 20^\circ\text{C}$ y $T_e = 0^\circ\text{C}$.

5.1.2 Criterio dimensional

Se indica el criterio dimensional adoptado para el cálculo de ψ . Se ha considerado preferible utilizar el *sistema de dimensiones* interiores, ya que este es el más habitual en nuestro entorno normativo y el empleado por las herramientas oficiales para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios.

Adicionalmente, en el catálogo se indica el valor en el *sistema de dimensiones* exteriores puesto que este se emplea en algunos catálogos de países de nuestro entorno y puede resultar útil para su comparación.

5.1.3 Valores incluidos y uso de las tablas del atlas

Para obtener la *transmitancia térmica lineal* de elementos cuyas *transmitancias térmicas* no correspondan a las utilizadas en las tablas del atlas se puede llevar a cabo una interpolación o extrapolación a partir de los valores aportados en ellas.

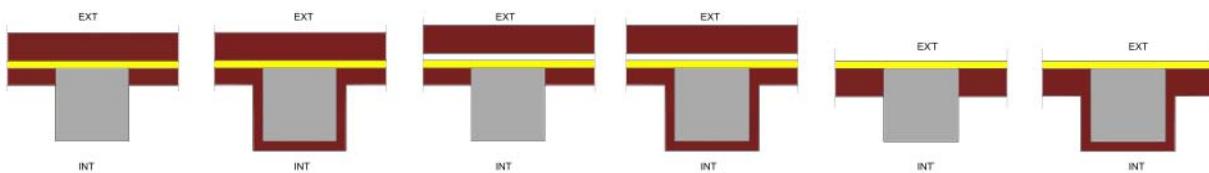
5.2 Pilares integrados en fachada

Se consideran los pilares de hormigón armado integrados en la fachada, de dimensiones $25 \times 25 \text{ cm}^2$ hasta $35 \times 35 \text{ cm}^2$, y sin considerar los pilares en esquina.

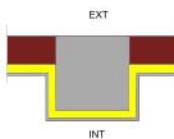
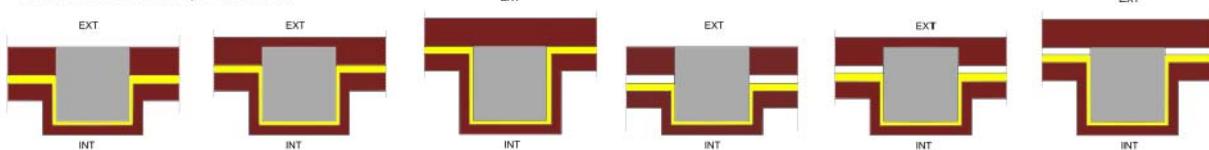
Se ha observado que la zona de formación de condensaciones se localiza en los rincones formados entre el pilar y la pared, así como el punto central de la cara interior del pilar.

Grupo 1: Pilares integrados en fachada con continuidad del aislamiento de fachada

Aislamiento continuo por el exterior del pilar



Aislamiento continuo por el interior



Transmitancia térmica lineal

El grupo 1 de pilares integrados en fachada contiene detalles en los que el aislamiento térmico de fachada no se interrumpe por la presencia del pilar. Se considera igualmente que el aislamiento es continuo aunque el que protege el pilar sea de otro tipo o espesor.

Esta continuidad bien resuelta hace que el *punto térmico* prácticamente desaparezca, obteniendo unos valores de *transmitancia térmica lineal* despreciables:

U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e, Ψ_i [W/mK]	
	Dimensiones pilar [cm x cm]	
	20x20 / 30x30	
0,73	0,02	
0,44	0,01	
0,31	0,00	
0,27	0,00	
0,24	0,00	

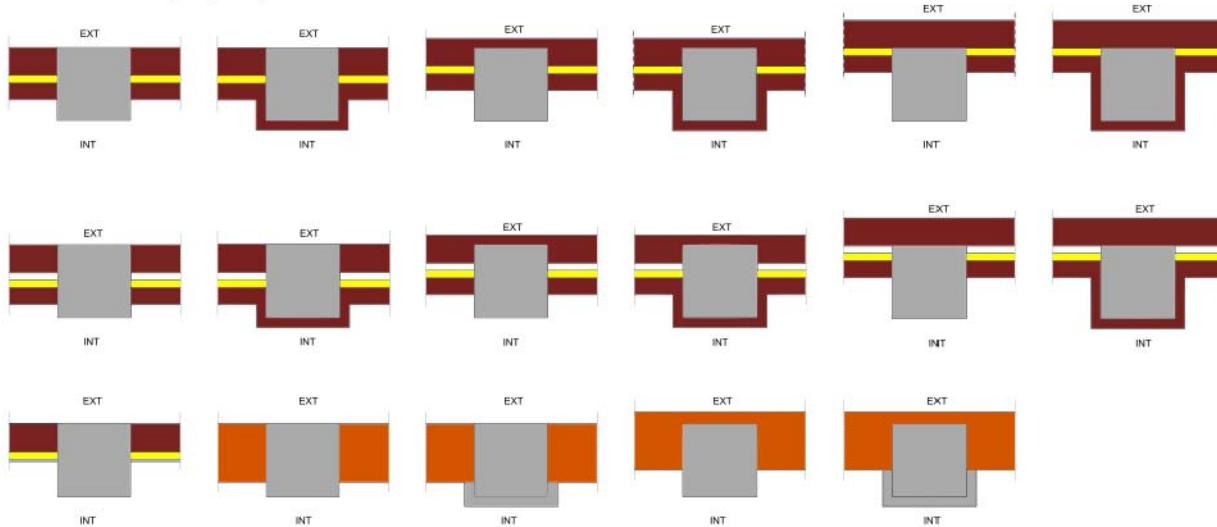
Condensaciones superficiales

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en las zonas climáticas D y E con muros de *transmitancia térmica* alta.

Grupo 2: Pilares integrados en fachada sin continuidad del aislamiento de fachada

Este grupo recoge los detalles de pilares integrados en fachada en los que se interrumpe la continuidad del aislante del muro o los detalles sin aislamiento térmico.

Aislamiento interrumpido por el pilar



Transmitancia térmica lineal

El comportamiento térmico de estos *puentes térmicos* es mucho más desfavorable que el de los detalles en los que el pilar está protegido mediante aislamiento térmico. La *transmitancia térmica lineal* tiene un valor alrededor de 1 para los pilares de 25x25 y aumenta con el incremento del tamaño del pilar.

	Dimensiones pilar [cm x cm]		
	25x25	30x30	35x35
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	1,03	1,20
	0,44	1,05	1,24
	0,31	1,00	1,20
	0,27	0,97	1,17
	0,24	0,94	1,15
			1,36
			1,40
			1,37
			1,35
			1,32

Condensaciones superficiales

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para todas las clases higrométricas en todas las zonas climáticas, exceptuado la zona climática α, con menores probabilidades en aquellas soluciones sin aislamiento.

5.3 Jambas

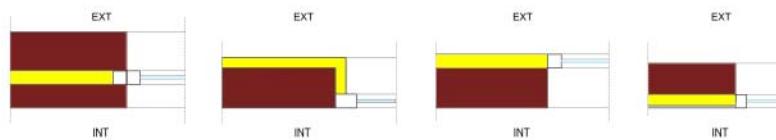
En esta familia se han hecho tres grupos en función de consideraciones constructivas y de propiedades térmicas. La característica fundamental que define el comportamiento térmico tiene que ver con la continuidad entre la carpintería y el aislante o su distancia de separación. Es necesario notar que los elementos intermedios entre el aislante y la carpintería han de ser de un material poco conductor para evitar el *punteo térmico*.

La zona de formación de condensaciones se localiza en la zona de unión entre la carpintería y el muro (o jamba).

Grupo 1: Jambas con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería

En este grupo se recogen los detalles que presentan una continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería de la ventana.

Continuidad entre aislamiento de fachada y carpintería



Transmitancia térmica lineal

Dado que se mantiene la continuidad entre ambos elementos el efecto de *punteo térmico* es muy bajo, y por tanto menor cuanto menor cuanto más baja es la *transmitancia térmica* del muro y la carpintería del hueco.

	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]					
	U_marco [W/m ² K]					U_marco [W/m ² K]					
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	
U_muro [W/m ² K]	0,73	0,31	0,12	0,08	0,05	0,04	0,38	0,17	0,12	0,07	0,05
	0,44	0,34	0,11	0,06	0,02	0,01	0,42	0,16	0,10	0,05	0,03
	0,31	0,14	0,05	0,03	0,01	0,01	0,22	0,11	0,07	0,04	0,03
	0,27	0,12	0,05	0,03	0,01	0,01	0,20	0,10	0,07	0,04	0,03
	0,24	0,12	0,05	0,03	0,01	0,01	0,20	0,10	0,07	0,04	0,03

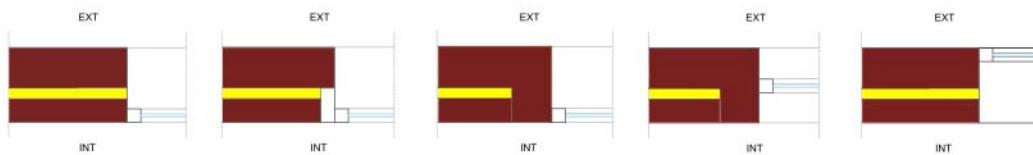
Condensaciones superficiales

Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

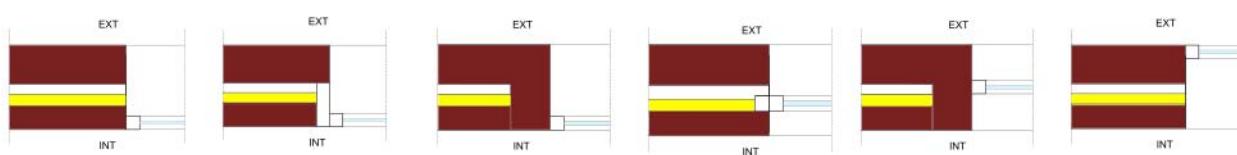
Grupo 2: Jambas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería

Grupo formado por los detalles de jambas en los que no existe continuidad entre la carpintería y el aislamiento. Aunque el comportamiento térmico de estos detalles es función de la distancia que separa ambos elementos, así como de sus valores de *transmitancia térmica*, se pueden establecer distintos niveles de agrupamiento para ofrecer características comunes.

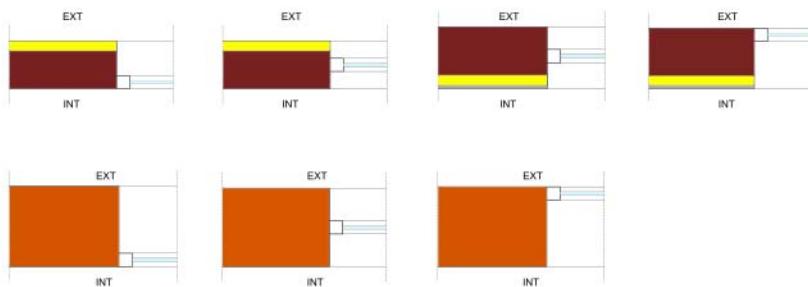
Fachadas de doble hoja sin cámara de aire o con cámara de muro y carpintería. Discontinuidad leve



Fachadas de doble hoja sin cámara de aire o con cámara no ventilada. Discontinuidad leve



Fachada de una hoja. Discontinuidad leve



Transmitancia térmica lineal

En este caso el efecto del *punto térmico* se debe al flujo de calor que atraviesa el material que separa la carpintería del aislamiento. Este efecto es mayor cuanto mayor es el nivel de aislamiento térmico del muro debido a que, cuanta más resistencia de este al paso de la energía, mayor es el porcentaje del flujo que se desvía hacia el *punto térmico*. El mismo efecto se produce con las carpinterías (salvo en las de U con valores muy altos).

	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U_marco [W/m ² K]					U_marco [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U _{muro} [W/m ² K]	0,73	0,47	0,39	0,40	0,41	0,41	0,47	0,39	0,40	0,41
	0,44	0,49	0,42	0,43	0,44	0,44	0,49	0,42	0,43	0,44
	0,31	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45	0,50	0,43	0,43	0,44
	0,27	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45	0,50	0,43	0,43	0,45
	0,24	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45	0,50	0,43	0,43	0,45

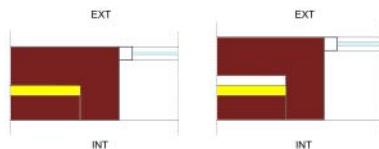
Condensaciones superficiales

Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

Grupo 3: Jambas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con una separación importante entre estos elementos

En estos detalles la separación entre la carpintería y el aislamiento es especialmente acusada, lo que produce un importante *punteo térmico*.

discontinuidad acusada entre aislamiento de fachada y carpintería



Transmitancia térmica lineal

El *punteo térmico* es acusado, hecho que confirman los valores de las tablas.

U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	0,51	0,48	0,49	0,50	0,51	0,58	0,53	0,52	0,52	0,52
0,44	0,55	0,53	0,54	0,55	0,56	0,63	0,58	0,58	0,58	0,58
0,31	0,57	0,55	0,56	0,57	0,58	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60
0,27	0,58	0,55	0,56	0,58	0,58	0,66	0,61	0,61	0,61	0,61
0,24	0,58	0,56	0,57	0,58	0,59	0,66	0,62	0,61	0,61	0,61

Condensaciones superficiales

Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

5.4 Dinteles

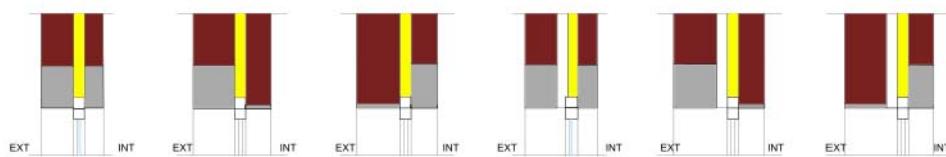
Grupo 1: Dinteles con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería

En este grupo se encuentran los detalles en los que el aislamiento presenta continuidad con la carpintería. El punto problemático en este caso es el precero, que puede actuar como *punto térmico* si no se cuida. Se ha observado que es especialmente perjudicial, a estos efectos, el uso de preceros metálicos que presenten mucha superficie al exterior y no estén protegidos.

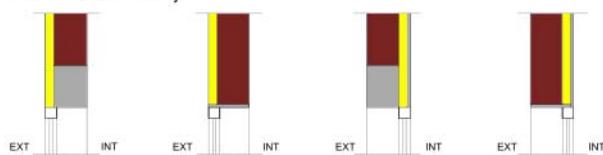
La zona de formación de condensaciones se sitúa en el encuentro de la carpintería con el muro y la utilización de un dintel metálico puede agudizar el efecto de punto frío de manera considerable.

Se ha observado la conveniencia de que los preceros de madera estén tratados por si llegan a humedecerse.

Fachadas de doble hoja



Fachadas de una hoja



Transmitancia térmica lineal

Los valores de *transmitancia térmica lineal*, en general, son bajos.

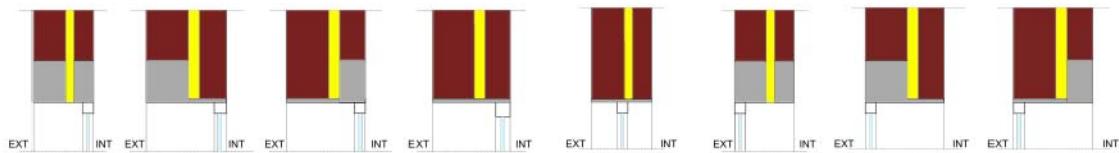
U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	0,30	0,11	0,10	0,12	0,13	0,30	0,11	0,10	0,12	0,13
0,44	0,32	0,11	0,10	0,11	0,12	0,32	0,11	0,10	0,11	0,12
0,31	0,16	0,07	0,08	0,09	0,10	0,16	0,07	0,08	0,09	0,10
0,27	0,14	0,06	0,06	0,08	0,09	0,14	0,06	0,06	0,08	0,09
0,24	0,14	0,05	0,06	0,08	0,09	0,14	0,05	0,06	0,08	0,09

Condensaciones superficiales

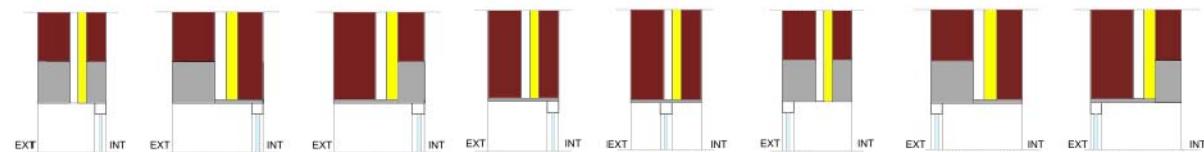
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

Grupo 2: Dinteles sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería

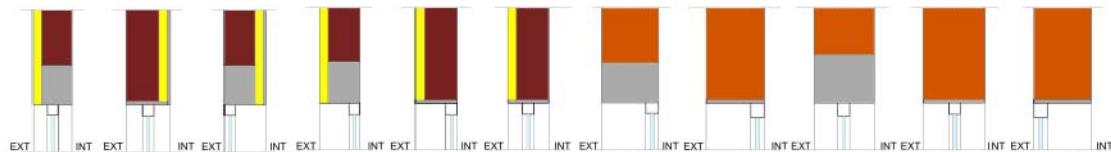
Fachadas de doble hoja sin cámara de aire o con cámara no ventilada



Fachadas de doble hoja con cámara de aire ventilada



Fachadas de una hoja



Transmitancia térmica lineal

Se aprecia en las tablas como la *transmitancia térmica lineal* aumenta cuando disminuyen las *transmitancias térmicas* de la carpintería y del muro. Es decir, que según aumenta el aislamiento térmico del muro el efecto de *puente térmico* se agudiza.

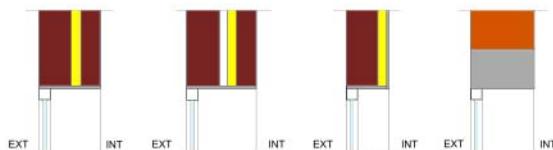
U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	0,62	0,60	0,62	0,64	0,65	0,62	0,60	0,62	0,64	0,65
0,44	0,69	0,67	0,68	0,70	0,71	0,69	0,67	0,68	0,70	0,71
0,31	0,73	0,70	0,72	0,74	0,74	0,73	0,70	0,72	0,74	0,74
0,27	0,74	0,72	0,73	0,75	0,76	0,74	0,72	0,73	0,75	0,76
0,24	0,75	0,73	0,74	0,76	0,77	0,75	0,73	0,74	0,76	0,77

Condensaciones superficiales

Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

Grupo 3: Dinteles sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con cargadero pasante y carpintería a haces exteriores

cargadero pasante, carpintería al exterior



Transmitancia térmica lineal

Cómo se aprecia en las tablas, su valor es alto debido al dintel metálico y a la distancia entre la carpintería y el aislamiento.

U _{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U _{marco} [W/m ² K]					U _{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85
0,44	0,88	0,88	0,89	0,91	0,92	0,88	0,88	0,89	0,91	0,92
0,31	0,93	0,93	0,94	0,96	0,96	0,93	0,93	0,94	0,96	0,96
0,27	0,95	0,94	0,96	0,97	0,98	0,95	0,94	0,96	0,97	0,98
0,24	0,97	0,96	0,97	0,99	1,00	0,97	0,96	0,97	0,99	1,00

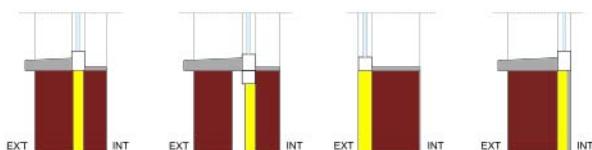
Condensaciones superficiales

Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

5.5 Alféizares

Grupo 1: Alféizares con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería

Continuidad entre el aislamiento de muro y la carpintería



Transmitancia térmica lineal

Al existir continuidad entre el aislamiento y la carpintería, el efecto de *punteo térmico* se reduce al aumentar la resistencia al paso de calor de los distintos elementos.

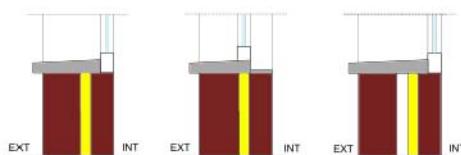
U _{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U _{marco} [W/m ² K]					U _{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	0,25	0,12	0,10	0,09	0,09	0,25	0,12	0,10	0,09	0,09
0,44	0,24	0,12	0,10	0,09	0,09	0,24	0,12	0,10	0,09	0,09
0,31	0,19	0,11	0,09	0,08	0,08	0,19	0,11	0,09	0,08	0,08
0,27	0,18	0,10	0,09	0,08	0,08	0,18	0,10	0,09	0,08	0,08
0,24	0,17	0,10	0,08	0,08	0,08	0,17	0,10	0,08	0,08	0,08

Condensaciones superficiales

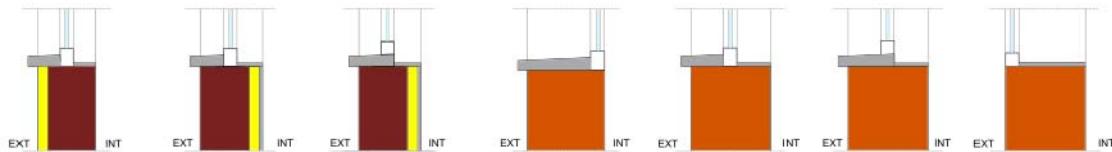
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

Grupo 2: Alfeizares sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, sin gran separación entre ambos elementos, y alfeizares en fachadas de una hoja sin aislamiento

Fachadas de doble hoja



Fachadas de una hoja



Transmitancia térmica lineal

La importancia de este *punto térmico* está determinada por la distancia entre el aislamiento y la carpintería.

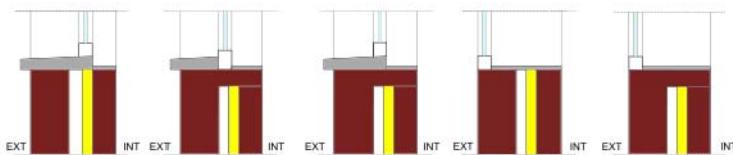
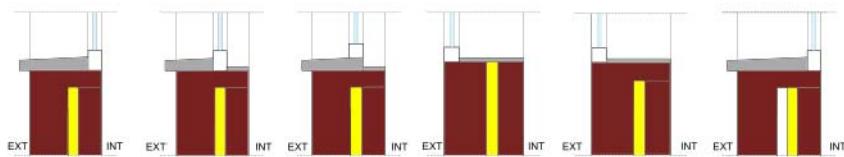
U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	0,20	0,14	0,13	0,13	0,13	0,20	0,14	0,13	0,13	0,13
0,44	0,23	0,16	0,15	0,15	0,15	0,23	0,16	0,15	0,15	0,15
0,31	0,24	0,17	0,16	0,16	0,17	0,24	0,17	0,16	0,16	0,17
0,27	0,25	0,18	0,17	0,17	0,17	0,25	0,18	0,17	0,17	0,17
0,24	0,25	0,18	0,17	0,17	0,17	0,25	0,18	0,17	0,17	0,17

Condensaciones superficiales

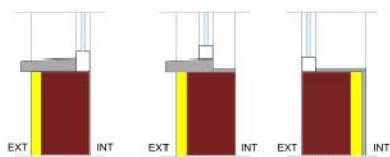
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

Grupo 3: Alfeizares sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería, con gran separación entre ellos

Fachadas de doble hoja



Fachadas de una hoja



Transmitancia térmica lineal

Los valores de la *transmitancia térmica lineal* se recogen en la siguiente tabla.

U _{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U _{marco} [W/m ² K]					U _{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	0,43	0,39	0,40	0,42	0,42	0,51	0,44	0,44	0,44	0,44
0,44	0,46	0,43	0,44	0,45	0,46	0,54	0,48	0,48	0,48	0,48
0,31	0,48	0,45	0,45	0,47	0,48	0,56	0,50	0,50	0,50	0,50
0,27	0,49	0,45	0,46	0,48	0,48	0,57	0,51	0,50	0,50	0,51
0,24	0,49	0,46	0,47	0,48	0,49	0,57	0,51	0,51	0,51	0,51

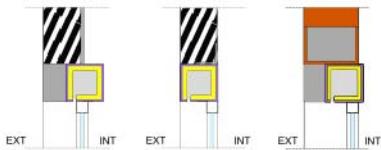
Condensaciones superficiales

Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

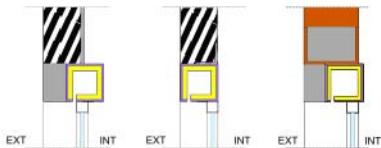
5.6 Capialzados

Grupo 1: Capialzados de PVC o madera con aislamiento

De madera o PVC, con aislamiento y cámara ligeramente ventilada.



De madera o PVC, con aislamiento y cámara muy ventilada.



Transmitancia térmica lineal

Los valores de *transmitancia térmica lineal* de estos detalles son muy bajos, hecho que señala la importancia de que la caja de persiana esté aislada.

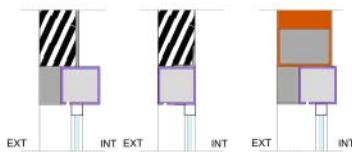
U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e, Ψ_i [W/mK]				
	U_{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	0,08	0,05	0,03	0,00	-0,01
0,44	0,11	0,08	0,06	0,03	0,02
0,31	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04
0,27	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04
0,24	0,13	0,09	0,08	0,05	0,03

Condensaciones superficiales

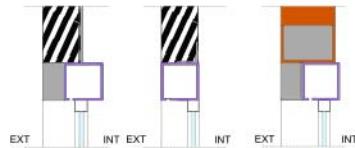
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

Grupo 2: Capialzados de PVC o madera sin aislamiento

De madera o PVC, sin aislamiento y cámara ligeramente ventilada.



De madera o PVC, sin aislamiento y cámara muy ventilada.



Transmitancia térmica lineal

La cámara muy ventilada del cajón de persiana somete a la pared interior del mismo a condiciones exteriores, por lo que se genera un *punto térmico* importante. El hecho de que la caja de persiana sea de un material poco transmisor, como madera o PVC, amortigua un poco este hecho, pero los valores de *transmitancia térmica lineal* siguen siendo muy altos.

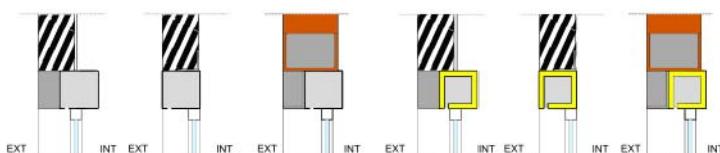
	Ψ_e, Ψ_i [W/mK]				
	U_{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,92	0,92	0,92	0,92
	0,44	0,97	0,97	0,97	0,97
	0,31	0,99	0,99	0,99	0,99
	0,27	1,01	1,01	1,01	1,01
	0,24	1,04	1,04	1,04	1,04

Condensaciones superficiales

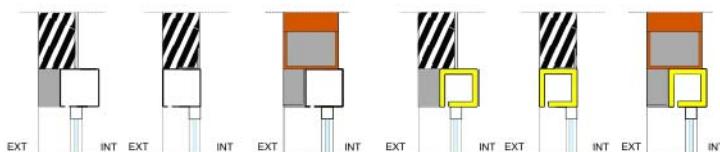
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

Grupo 3: Capialzados metálicos

Metálico, con o sin aislamiento y cámara ligeramente ventilada.



Metálico, con o sin aislamiento y cámara muy ventilada.



Transmitancia térmica lineal

Los efectos del *puente térmico* se agudizan en estos detalles al ser el capializado metálico y, por tanto, tener menor resistencia térmica.

U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e, Ψ_i [W/mK]				
	U_{marco} [W/m ² K]				
	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
0,73	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
0,44	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
0,31	1,44	1,45	1,45	1,44	1,44
0,27	1,49	1,48	1,48	1,48	1,48
0,24	1,51	1,52	1,52	1,52	1,52

Condensaciones superficiales

Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

5.7 Frentes de forjados

Grupo 1: Frentes de forjado con continuidad del aislamiento de fachada

Forjado no interrumpe el aislamiento



Transmitancia térmica lineal

Cuando el aislamiento pasa por delante del frente de forjado prácticamente no se produce *puente térmico*, de ahí los bajos valores que se obtienen para este grupo de detalles.

U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]			Ψ_i [W/mK]		
	Espesor forjado (cm)			Espesor forjado (cm)		
	25	30	35	25	30	35
0,73	0,02	0,02	0,02	0,25	0,29	0,33
0,44	0,01	0,01	0,01	0,15	0,17	0,19
0,31	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,13
0,27	0,00	0,00	0,00	0,09	0,10	0,12
0,24	0,00	0,00	0,00	0,08	0,09	0,10

Condensaciones superficiales

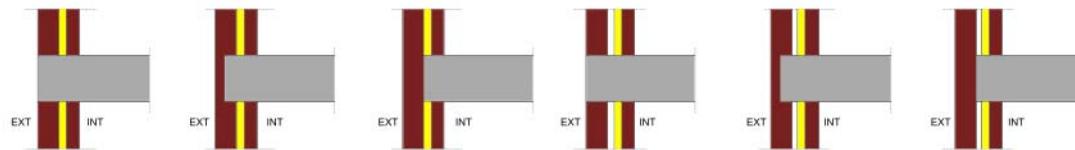
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para la clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E con cantos de forjado elevados.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en las zonas climáticas D y E, y en el resto de zonas climáticas, a excepción de la zona climática α, con muros de *transmitancia térmica* alta.

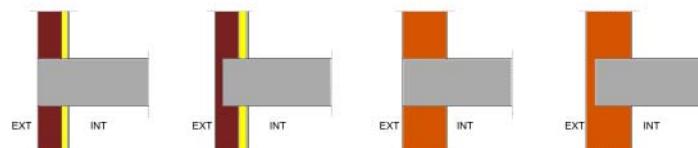
La zona de condensaciones se localiza en los rincones formados por el encuentro entre forjado y muro.

Grupo 2: Frentes de forjado sin continuidad del aislamiento de fachada

Fachadas de doble hoja



Fachadas de una hoja



Transmitancia térmica lineal

Al ser el hormigón armado un conductor relativamente bueno del calor se produce un *punteo térmico* en el encuentro entre el forjado y el muro. Este grupo tiene valores de *transmitancia térmica lineal* más desfavorables al no estar aislado el frente de forjado.

	Ψ_e [W/mK]			Ψ_i [W/mK]		
	Espesor forjado (cm)			Espesor forjado (cm)		
	25	30	35	25	30	35
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,64	0,70	0,76	0,88	0,97
	0,44	0,67	0,74	0,81	0,81	0,91
	0,31	0,65	0,72	0,79	0,75	0,84
	0,27	0,64	0,71	0,78	0,72	0,81
	0,24	0,62	0,69	0,76	0,70	0,78

Condensaciones superficiales

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para la clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas C, D y E, y en climas A y B con muros de *transmitancia térmica* alta.

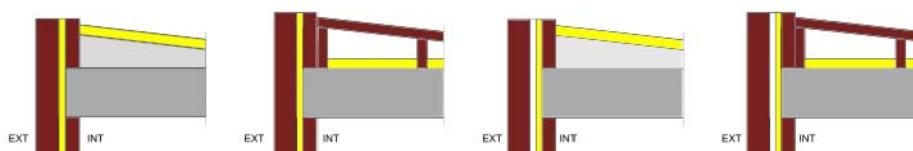
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en todas las zonas climáticas.

La zona de condensaciones se localiza en los rincones formados por el encuentro entre forjado y muro.

5.8 Cubiertas planas

Grupo 1: Cubiertas planas con continuidad entre el aislamiento de fachada y el de cubierta

Forjado no interrumpe el aislamiento en fachada



Transmitancia térmica lineal

La continuidad del aislamiento hace que los valores de la *transmitancia térmica lineal* sean muy bajos.

U _{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U _{cubierta} [W/m ² K]					U _{cubierta} [W/m ² K]				
	0,50	0,38	0,28	0,28	0,28	0,50	0,38	0,28	0,28	0,28
0,73	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,37	0,37	0,35	0,35	0,35
0,44	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,32	0,3	0,28	0,28	0,28
0,31	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,29	0,27	0,25	0,25	0,25
0,27	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,29	0,27	0,24	0,24	0,24
0,24	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,28	0,26	0,24	0,24	0,24

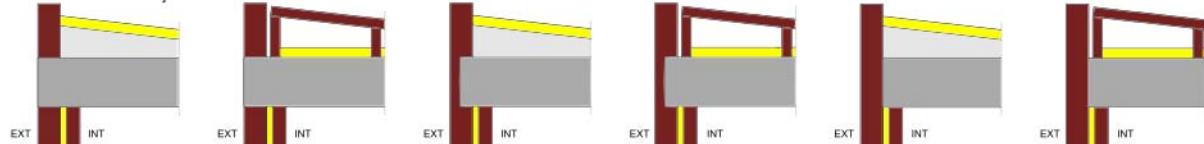
Condensaciones superficiales

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para la clase higrométrica 3 o inferior con muros de transmitancia térmica alta.

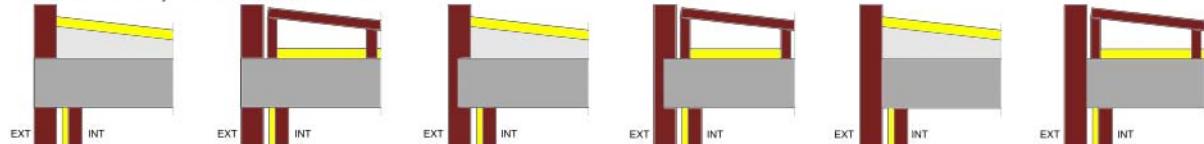
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en todas las zonas climáticas, a excepción de la zona climática α con muros de *transmitancia térmica* baja.

Grupo 2: Cubiertas planas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y el de cubierta

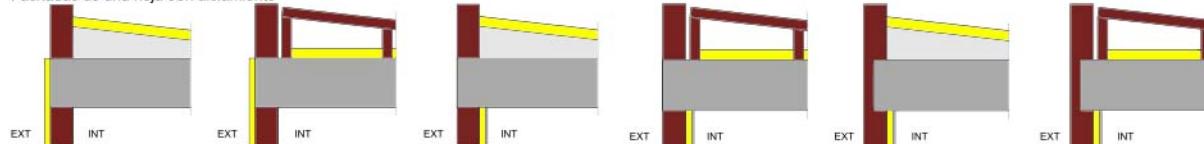
Fachadas de doble hoja sin cámara de aire o con cámara no ventilada



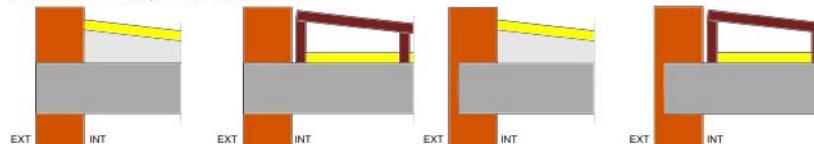
Fachadas de doble hoja con cámara de aire ventilada



Fachadas de una hoja con aislamiento



Fachadas de una hoja sin aislamiento



Transmitancia térmica lineal

La *transmitancia térmica lineal* es alta, y empeora al aumentar el valor de resistencia térmica de la cubierta.

U _{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U _{cubierta} [W/m ² K]					U _{cubierta} [W/m ² K]				
	0,50	0,38	0,28	0,28	0,28	0,50	0,38	0,28	0,28	0,28
0,73	0,58	0,64	0,69	0,69	0,69	0,93	0,96	0,99	0,99	0,99
0,44	0,62	0,68	0,73	0,73	0,73	0,90	0,93	0,96	0,96	0,96
0,31	0,60	0,66	0,71	0,71	0,71	0,85	0,88	0,91	0,91	0,91
0,27	0,58	0,64	0,69	0,69	0,69	0,82	0,85	0,88	0,88	0,88
0,24	0,56	0,62	0,67	0,67	0,67	0,80	0,83	0,85	0,85	0,85

Condensaciones superficiales

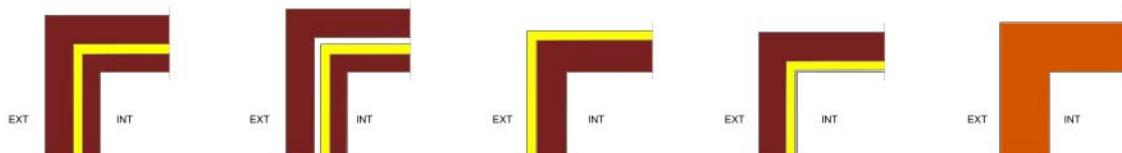
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para todas las clases higrométricas y todas las zonas climáticas.

La zona de condensaciones se localiza en el rincón formado por el encuentro entre cubierta y muro.

5.9 Esquinas

Grupo 1: Esquinas salientes (al exterior)

Esquinas salientes



Transmitancia térmica lineal

Este *punto térmico* se genera por razones geométricas y no constructivas, a pesar de lo cual es necesario tenerlo en cuenta para calcular los procesos energéticos.

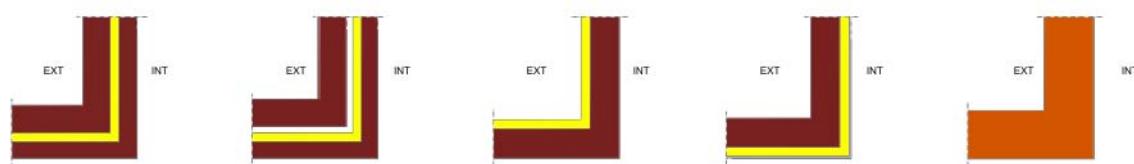
	Ψ_e [W/mK]	Ψ_i [W/mK]
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	-0,24
	0,44	-0,15
	0,31	-0,11
	0,27	-0,10
	0,24	-0,10

Condensaciones superficiales

Se ha observado que hay riesgo de formación de condensaciones superficiales para las clases de higrometría 4 o 5 en las zonas climáticas D y E y para las zonas A, B, C y D con muros de *transmitancia térmica* alta.

Grupo 2: Esquinas entrantes (al interior)

Esquinas entrantes



Transmitancia térmica lineal

Es el *punto térmico* inverso al anterior, de forma que el signo de la *transmitancia térmica* es el opuesto.

U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e	Ψ_i
	[W/mK]	[W/mK]
0,73	0,18	-0,16
0,44	0,12	-0,11
0,31	0,09	-0,08
0,27	0,08	-0,08
0,24	0,08	-0,07

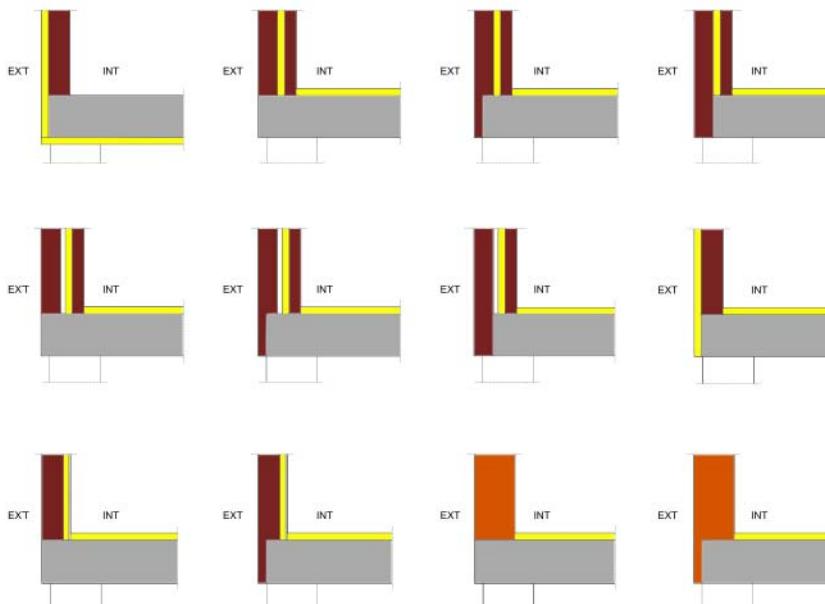
Condensaciones superficiales

El efecto del puente térmico no introduce un riesgo adicional de formación de condensaciones superficiales.

5.10 Forjados inferiores en contacto con el aire exterior

Grupo 1: Forjados inferiores en contacto con el aire con aislamiento sobre el forjado o con continuidad entre el aislamiento de fachada y del forjado

Aislamiento sobre el forjado o con la continuidad entre el aislamiento del forjado y la fachada



Transmitancia térmica lineal

La continuidad del aislamiento térmico entre la fachada y el forjado contribuye a un buen comportamiento del detalle constructivo, algo que se ve reflejado en los valores de *transmitancia térmica* de este grupo.

U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U_{suelo} [W/m ² K]					U_{suelo} [W/m ² K]				
	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32
0,73	-0,17	-0,17	-0,17	-0,18	-0,18	0,26	0,52	0,24	0,23	0,22
0,44	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,07	0,26	0,26	0,24	0,23	0,22
0,31	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	0,27	0,27	0,24	0,23	0,22
0,27	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,27	0,27	0,24	0,23	0,22
0,24	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,27	0,27	0,25	0,23	0,22

Condensaciones superficiales

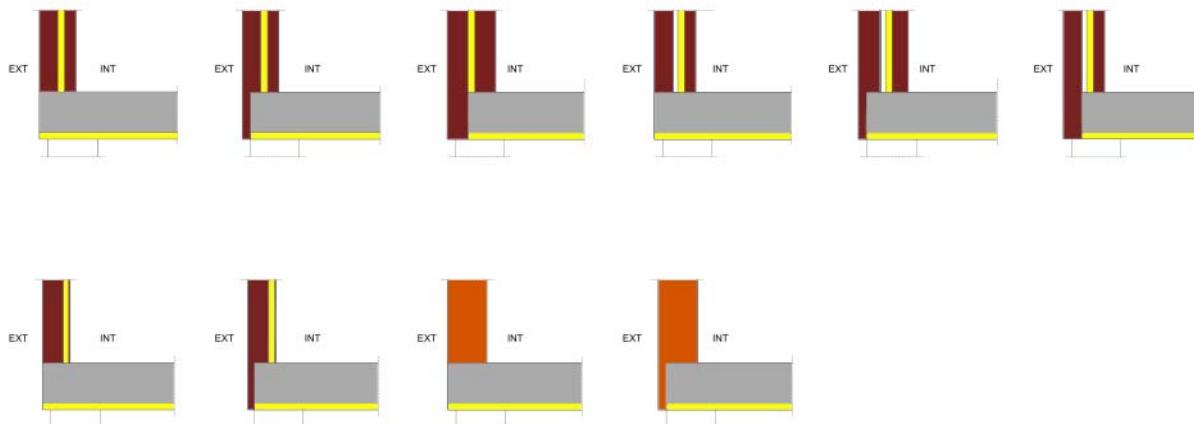
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E y en el resto de zonas con una *transmitancia térmica* de muro alta.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases de higrometría 4 y 5 en todas las zonas climáticas.

La zona de condensación se sitúa en el encuentro entre muro y fachada.

Grupo 2: Forjados inferiores en contacto con el aire con aislamiento bajo el forjado, sin continuidad entre el aislamiento de fachada y el del forjado

Aislamiento bajo el forjado, sin continuidad entre el aislamiento del forjado y la fachada



Transmitancia térmica lineal

Al no estar protegido el canto de forjado en estos detalles se produce un mayor flujo energético que el propio de los cerramientos. Este hecho se ve reflejado en las tablas, en las que se aprecia que la *transmitancia térmica lineal* aumenta según disminuye la *transmitancia térmica* de los cerramientos.

	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U_suelo [W/m ² K]					U_suelo [W/m ² K]				
	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32
U_muro [W/m ² K]	0,73	0,43	0,43	0,47	0,49	0,51	0,80	0,81	0,84	0,86
	0,44	0,51	0,52	0,56	0,58	0,61	0,79	0,79	0,82	0,84
	0,31	0,53	0,53	0,58	0,61	0,63	0,77	0,77	0,80	0,82
	0,27	0,53	0,53	0,58	0,61	0,63	0,76	0,76	0,79	0,81
	0,24	0,52	0,53	0,58	0,60	0,63	0,75	0,75	0,78	0,80

Condensaciones superficiales

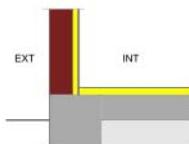
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales en todas las zonas climáticas y para todas las clases higrométricas.

La zona de condensación se sitúa en el encuentro entre muro y fachada.

5.11 Suelos en contacto con el terreno

Grupo 1: Suelos en contacto con el terreno con continuidad entre el aislamiento de fachada y de solera

Continuidad del aislamiento entre muro y solera



Transmitancia térmica lineal

El grupo de los detalles con mejor continuidad del aislamiento se caracteriza por unos valores de *transmitancia térmica lineal* exterior apreciables por la gran superficie exterior expuesta.

U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U_{solera} [W/m ² K]					U_{solera} [W/m ² K]				
	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32
0,73	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05	-0,06	0,31	0,30	0,23	0,19	0,15
0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,38	0,37	0,30	0,26	0,22
0,31	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,42	0,41	0,33	0,29	0,25
0,27	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,43	0,42	0,35	0,30	0,26
0,24	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,44	0,43	0,35	0,31	0,27

Condensaciones superficiales

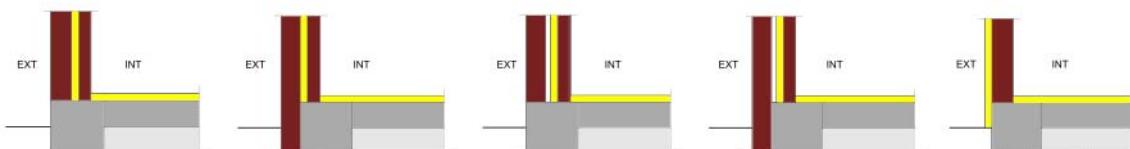
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases de higrometría 4 y 5 en todas las zonas climáticas.

La zona de condensación se sitúa en el encuentro entre muro y el suelo.

Grupo 2: Suelos en contacto con el terreno sin continuidad entre el aislamiento de fachada y de solera

Muros con aislamiento pero sin continuidad con el aislamiento de la solera



Transmitancia térmica lineal

Los valores de *transmitancia térmica* son algo peores que para el grupo 1. El *punteo térmico* se forma por razones geométricas y por la separación entre ambas líneas de aislamiento, la del muro y la de la solera. Esta discontinuidad definida no es muy significativa aunque se trata de una situación a evitar en la medida de lo posible.

U _{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U _{solera} [W/m ² K]					U _{solera} [W/m ² K]				
	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32
0,73	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,44	0,43	0,35	0,31	0,26
0,44	0,15	0,15	0,14	0,14	0,12	0,53	0,52	0,44	0,40	0,35
0,31	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,57	0,56	0,48	0,43	0,39
0,27	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,58	0,57	0,49	0,45	0,40
0,24	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,59	0,58	0,50	0,45	0,41

Condensaciones superficiales

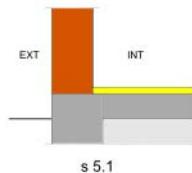
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases de higrometría 4 y 5 en todas las zonas climáticas.

La zona de condensación se sitúa en el encuentro entre muro y el suelo.

Grupo 3: Suelos en contacto con el terreno sin aislamiento en fachada

Muros sin aislamiento



Transmitancia térmica lineal

Estos valores se han obtenido para muros de termoarcilla de 24 y 29 cm, y sus valores son similares a los de los otros grupos, con la salvedad de que las *transmitancias térmicas* de los muros son mayores.

U _{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
	U _{solera} [W/m ² K]					U _{solera} [W/m ² K]				
	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32	0,53	0,52	0,42	0,37	0,32
0,89	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,34	0,34	0,27	0,23	0,18
0,84	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,39	0,38	0,31	0,27	0,23

Condensaciones superficiales

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E.

Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases de higrometría 4 y 5 en todas las zonas climáticas.

La zona de condensación se sitúa en el encuentro entre muro y el suelo.

Apéndice A Terminología

Envolvente (térmica): está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los *espacios habitables* con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las *particiones interiores* que delimitan los *espacios habitables* con *espacios no habitables* en contacto con el ambiente exterior.

Flujo unidimensional: se considera que el flujo de calor es unidimensional cuando las líneas de flujo son rectas. En ese caso, el comportamiento térmico estático se puede describir completamente por la resistencia térmica (R) [m^2K/W] o la *transmitancia térmica* (U) [W/m^2K] global del cerramiento.

Flujo bidimensional: se considera que el flujo es bidimensional cuando las líneas de flujo tienen curvatura pero pueden contenerse en planos paralelos.

En un modelo en el que no se tenga en cuenta la inercia térmica, el comportamiento térmico bidimensional se describe de forma simplificada como una superposición de procesos, uno unidimensional y otro bidimensional. El primero se caracteriza mediante su *transmitancia térmica* U y a él se añade un factor que representa la curvatura de las líneas de flujo. Este factor se denomina *transmitancia térmica lineal*, se representa por Ψ y tiene unidades de [W/mK].

Flujo tridimensional: se considera flujo tridimensional en una zona cuando los planos que contienen las líneas de flujo no son paralelos.

Puente térmico: zona de la *envolvente térmica* del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

Los *puentes térmicos* son partes sensibles de los edificios donde aumenta la probabilidad de producción de condensaciones.

Los *puentes térmicos* más comunes son:

- a) *Puentes térmicos* integrados en los cerramientos:
 - i) pilares integrados en los cerramientos de las fachadas;
 - ii) contorno de huecos y lucernarios;
 - iii) cajas de persianas;
 - iv) otros *puentes térmicos* integrados;
- b) *Puentes térmicos* formados por encuentro de cerramientos:
 - i) frentes de forjado en las fachadas;
 - ii) uniones de cubiertas con fachadas;
 - iii) cubiertas con pretil;
 - iv) cubiertas sin pretil;
 - v) uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno;
 - vi) unión de fachada con losa o solera;
 - vii) unión de fachada con muro enterrado o pantalla;
- c) Esquinas o encuentros de fachadas, que, dependiendo de la posición del ambiente exterior se subdividen en:
 - i) esquinas entrantes;
 - ii) esquinas salientes;
- d) Encuentros de voladizos con fachadas;
- e) Encuentros de tabiquería interior con cerramientos exteriores.

Puente térmico lineal: puente térmico con una sección transversal uniforme a lo largo de una dirección.

Sistema dimensional: sistema que determina el método para determinar la longitud (u otra magnitud) característica de un elemento constructivo.

Transmitancia térmica: flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

Transmitancia térmica lineal: flujo de calor, en régimen estacionario, para una longitud y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del *puente térmico* que se considera.

Transmitancia térmica puntual: flujo de calor, en régimen estacionario, para un punto y una diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del *puente térmico* que se considera.

Apéndice B Notaciones y unidades

Φ	Flujo de calor por conducción, en W
λ	Conductividad térmica, en W/m·K
θ_i	Temperatura interior, en K
θ_e	Temperatura exterior, en K
A	Superficie del elemento, en m ²
L	Longitud de un encuentro, en m
L_{2D}	Factor de acoplamiento, en W/m·K
L_{ji}	Longitud de los <i>puentes térmicos</i> de tipo i dentro de la tipología j, en m
R	Resistencia térmica, en m ² K/W
U	Transmitancia térmica, en W/m ² ·K
Ψ	Transmitancia térmica lineal, en W/m·K
Ψ_e	Transmitancia térmica lineal medida en sistema de dimensiones exteriores, en W/m·K
Ψ_i	Transmitancia térmica lineal medida en sistema de dimensiones interiores, en W/m·K
X	Transmitancia térmica puntual, en W·K

Otros documentos de referencia

UNE-EN ISO 10211:2012	Puentes térmicos en la edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados.
UNE-EN ISO 13370:2010	Prestaciones térmicas de edificios. Transmisión de calor por el terreno. Métodos de cálculo.
UNE-EN ISO 13788:2002	Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo
UNE-EN ISO 13789:2010	Prestaciones térmicas de los edificios. Coeficientes de transferencia de calor por transmisión y ventilación. Método de cálculo.
UNE-EN ISO 14683:2011	Puentes térmicos en la edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto.
UNE-EN ISO 6946:2012	Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo.