



**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 χ	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 Capialzados	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 *punte 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 *punte 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* [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* [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.

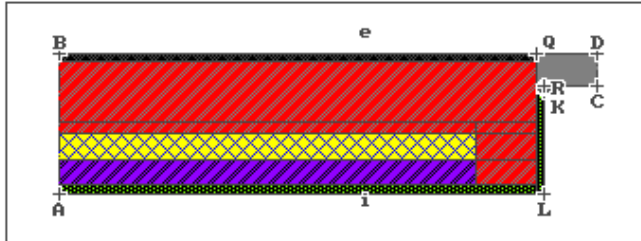
El cálculo de la componente unidimensional se mantiene para toda la superficie de la *envolvente* en la que se sitúa el *puente térmico*, al medirse linealmente el efecto del puente (en ψ) y descontarse en este la transmisión unidimensional.

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>

Grupo: _4 - Detalle: _4_01
p.04-01



RESULTADOS DE KOBRA	
Rsi = 0.13 m²K/W	hi = 7.7 W/m²K
θi = 20.0 °C	θe = 0.0 °C
EVALUACION RIESGO CONDENSACION SUP.	
K: f(0.13) = 0.56	θ = 11.2 °C
L: f(0.13) = 0.90	θ = 18.0 °C
O: f(0.13) = 0.55	θ = 10.9 °C
RK = 1.00 cm	
EVALUACION FLUJO CALOR	
Transmitancia [W/m²K]	
A-B: 0.44	C-D: 2.19
Flujo de Calor Q(B-D) = 24.2 W/m	
Coef. de acoplamiento L2D= 1.2 W/mK	
psi-e = Lie - U(AB)*BQ - U(CD)*DQ	
= 0.55 W/mK	
psi-i = Lie - U(AB)*AL - U(CD)*CR	
= 0.58 W/mK	

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*.

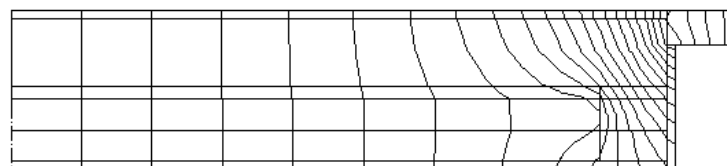


Figura 2. Líneas de flujo de calor

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 *punto 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*:

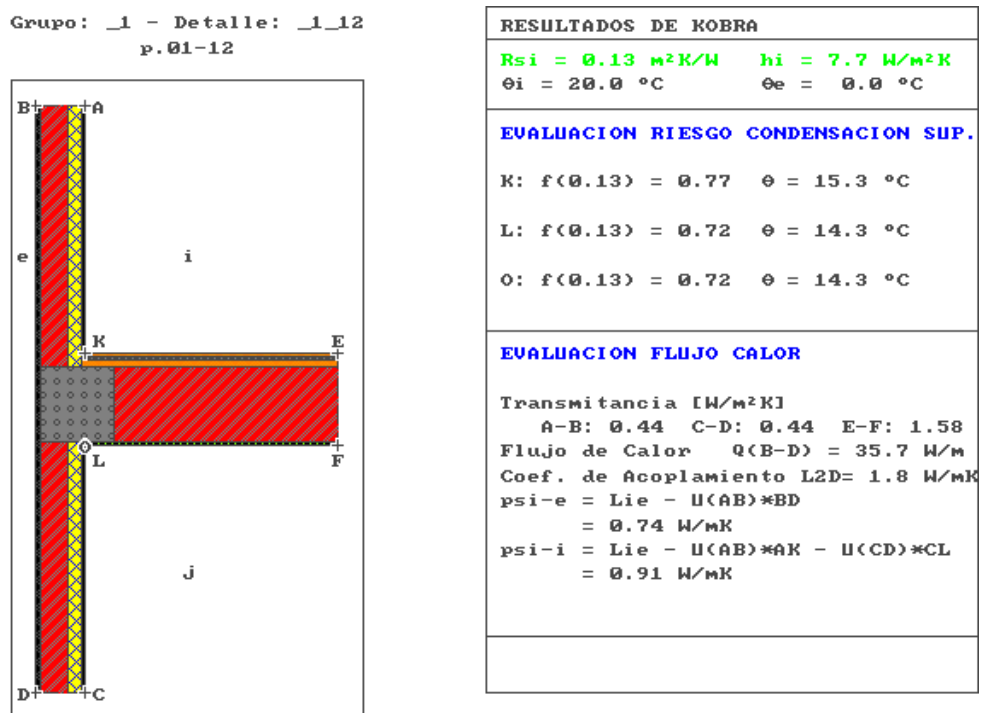


Figura 3. Incidencia del sistema de dimensiones en el cálculo de Ψ

En la figura 3 se considera un sistema de dimensiones interiores (AK + CL) para el cálculo de Ψ_i (ψ_{si-i}) y un sistema de dimensiones exteriores (BD) para el cálculo de Ψ_e (ψ_{si-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:

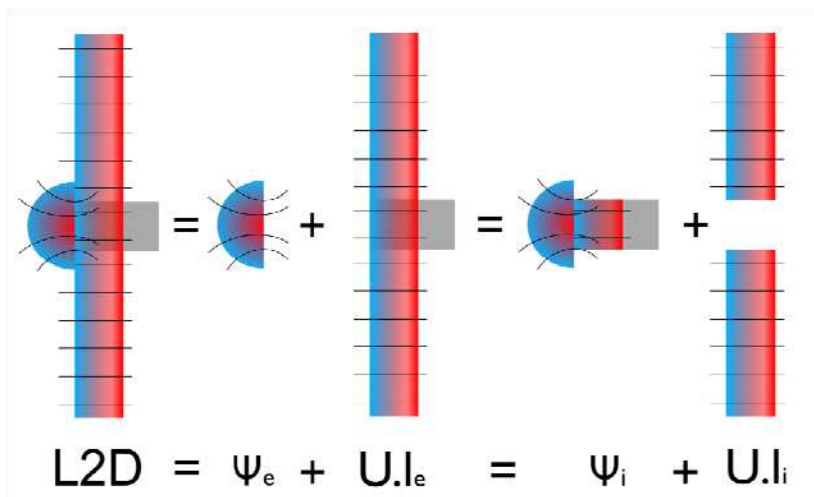


Figura 4. Significado de Ψ según la superposición realizada

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 *punto 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 *punto 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 *punto térmico* j [W/mK];
- ψ_{ji} cada uno de los distintos valores de *transmitancia térmica lineal* para la tipología de *punto 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 emplearían 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 m²·K/W y la resistencia superficial interior (R_{si}) tomará valores de la siguiente tabla:

<i>Cálculo de temperaturas</i>	R_{si} [m ² ·K/W]	<i>Cálculo de flujos térmicos</i>	R_{si} [m ² ·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 *puente 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 (admite 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.

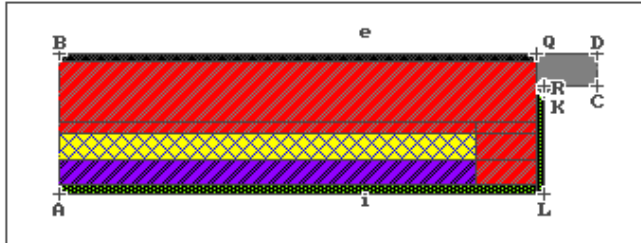
En ella se simula una jamba, con una temperatura seca media mensual mínima del ambiente exterior igual a 0,0°C (de una localidad hipotética perteneciente a la zona climática E1), y una temperatura del ambiente interior de 20°C.⁵

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).

Grupo: _4 - Detalle: _4_01
p.04-01



RESULTADOS DE KOBRA	
Rsi = 0.13 m²K/W	hi = 7.7 W/m²K
θi = 20.0 °C	θe = 0.0 °C
EVALUACION RIESGO CONDENSACION SUP.	
K: f(0.13) = 0.56	θ = 11.2 °C
L: f(0.13) = 0.90	θ = 18.0 °C
O: f(0.13) = 0.55	θ = 10.9 °C
RK = 1.00 cm	
EVALUACION FLUJO CALOR	
Transmitancia [W/m²K]	
A-B: 0.44 C-D: 2.19	
Flujo de Calor Q(B-D) = 24.2 W/m	
Coef. de Acoplamiento L2D= 1.2 W/mK	
psi-e = Lie - U(AB)*BQ - U(CD)*DQ	
= 0.55 W/mK	
psi-i = Lie - U(AB)*AL - U(CD)*CR	
= 0.58 W/mK	

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

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

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.

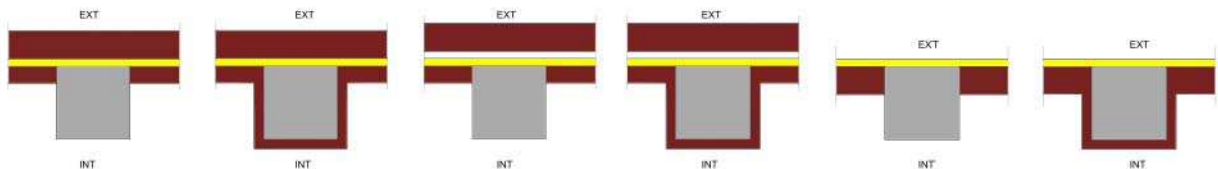
5.2 Pilares integrados en fachada

Se consideran los pilares de hormigón armado integrados en la fachada, de dimensiones 25x25 cm² hasta 35x35 cm², y sin considerar los pilares en esquina.

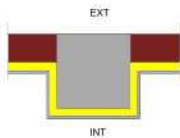
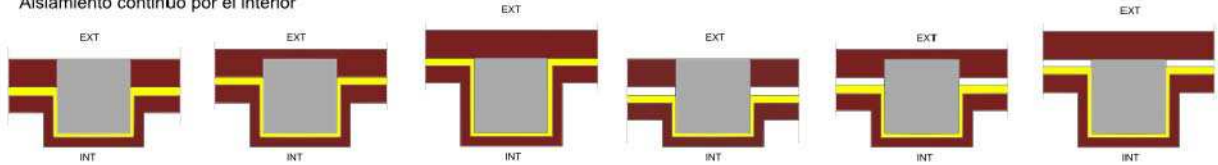
Se ha observado que la zona de formación de condensaciones se localiza en los rincones formados entre el pilar y la pared, así como el punto central de la cara interior del pilar.

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 *punte térmico* prácticamente desaparezca, obteniendo unos valores de *transmitancia térmica lineal* despreciables:

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

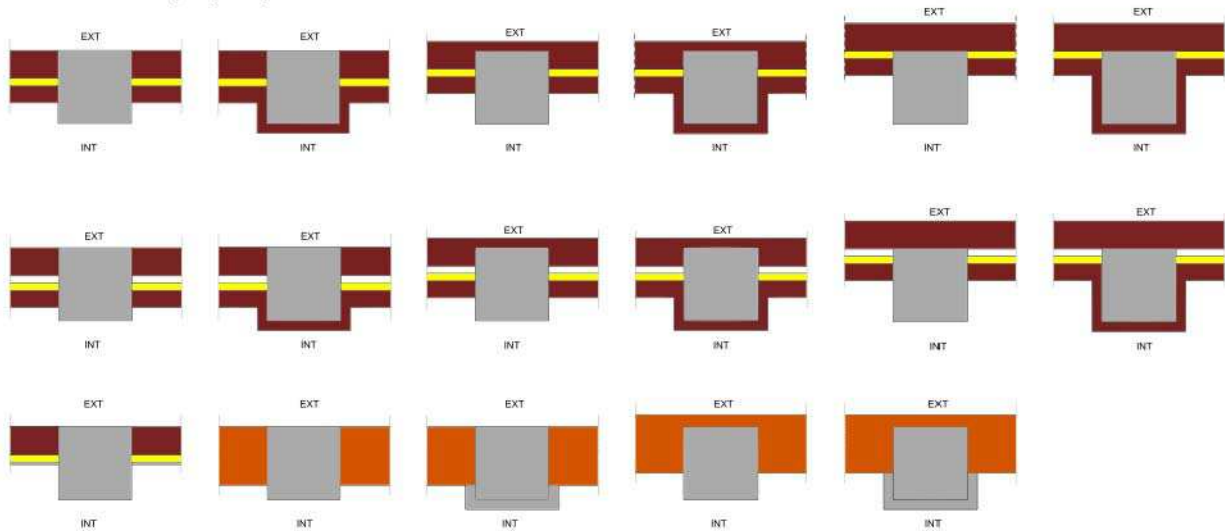
Condensaciones superficiales

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.

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

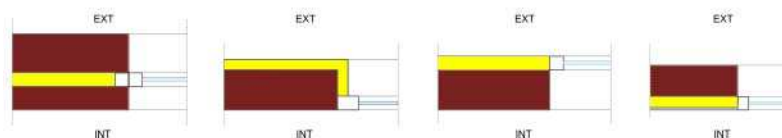
En esta familia se han hecho tres grupos en función de consideraciones constructivas y de propiedades térmicas. La característica fundamental que define el comportamiento térmico tiene que ver con la continuidad entre la carpintería y el aislante o su distancia de separación. Es necesario notar que los elementos intermedios entre el aislante y la carpintería han de ser de un material poco conductor para evitar el *puente 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 *puente térmico* es muy bajo, y por tanto menor cuanto menor cuanto más baja es la *transmitancia térmica* del muro y la carpintería del hueco.

	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	0,31	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

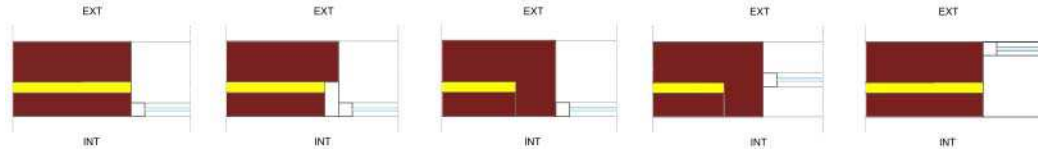
Condensaciones superficiales

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.

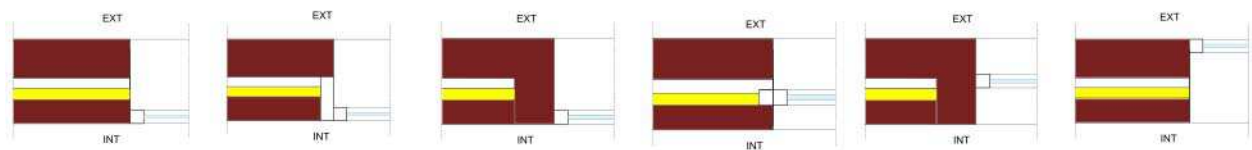
Grupo 2: Jambas sin continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería

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.

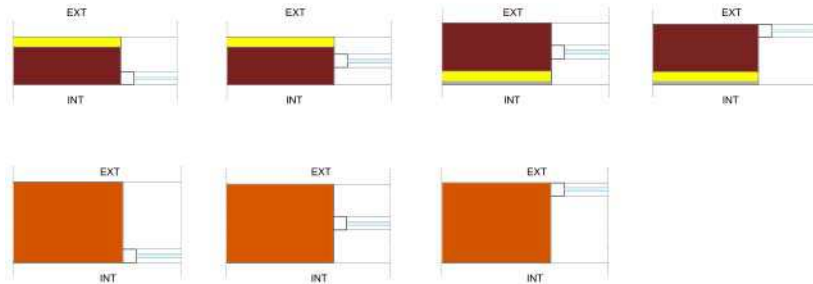
Fachadas de doble hoja sin cámara de aire o con cámara de muro y carpintería. Discontinuidad leve



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 *punte 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, cuanto más resistencia de este al paso de la energía, mayor es el porcentaje del flujo que se desvía hacia el *punte térmico*. El mismo efecto se produce con las carpinterías (salvo en las de U con valores muy altos).

	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	0,47	0,39	0,40	0,41	0,41	0,47	0,39	0,40	0,41	0,41
	0,44	0,49	0,42	0,43	0,44	0,44	0,49	0,42	0,43	0,44	0,44
	0,31	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45
	0,27	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45
	0,24	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45	0,50	0,43	0,43	0,44	0,45

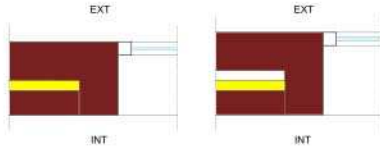
Condensaciones superficiales

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 *puente térmico*.

discontinuidad acusada entre aislamiento de fachada y carpintería



Transmitancia térmica lineal

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

		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	0,51	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

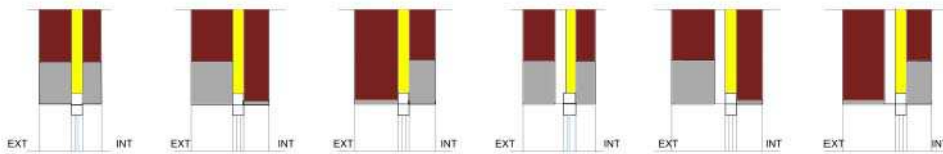
Grupo 1: Dinteles con continuidad entre el aislamiento de fachada y la carpintería

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 precerco, que puede actuar como *punte térmico* si no se cuida. Se ha observado que es especialmente perjudicial, a estos efectos, el uso de precercos metálicos que presenten mucha superficie al exterior y no estén protegidos.

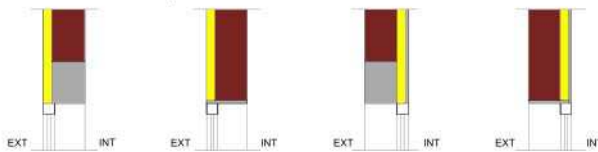
La zona de formación de condensaciones se sitúa en el encuentro de la carpintería con el muro y la utilización de un dintel metálico puede agudizar el efecto de punto frío de manera considerable.

Se ha observado la conveniencia de que los precercos 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.

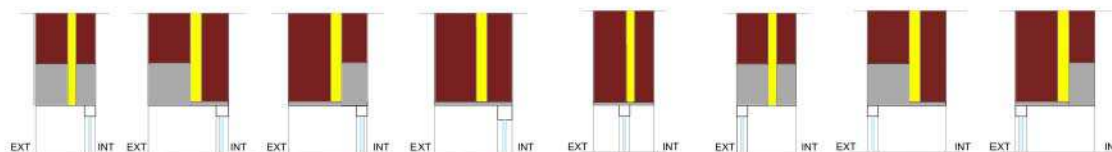
	U_{muro} [W/m ² K]	Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
	0,73	0,30	0,11	0,10	0,12	0,13	0,30	0,11	0,10	0,12	0,13
	0,44	0,32	0,11	0,10	0,11	0,12	0,32	0,11	0,10	0,11	0,12
	0,31	0,16	0,07	0,08	0,09	0,10	0,16	0,07	0,08	0,09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

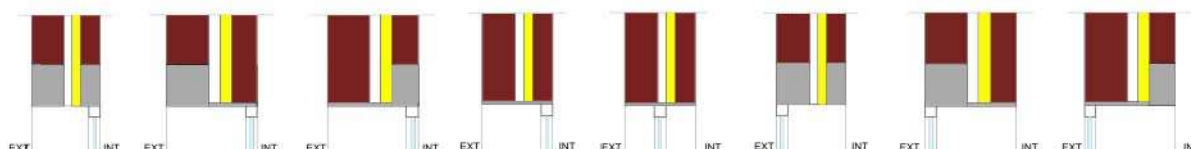
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

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

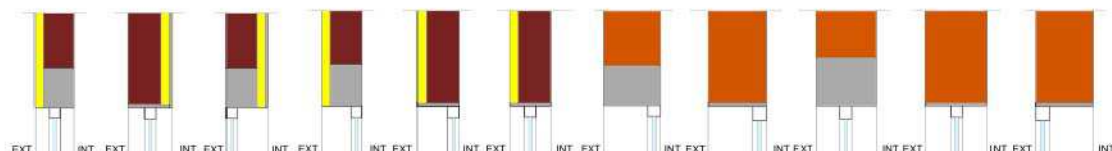
Fachadas de doble hoja sin cámara de aire o con cámara no ventilada



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 *punteo térmico* se agudiza.

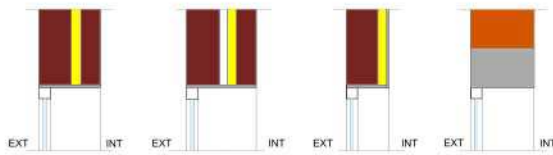
		Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,62	0,60	0,62	0,64	0,65	0,62	0,60	0,62	0,64	0,65
	0,44	0,69	0,67	0,68	0,70	0,71	0,69	0,67	0,68	0,70	0,71
	0,31	0,73	0,70	0,72	0,74	0,74	0,73	0,70	0,72	0,74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

		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	0,80	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

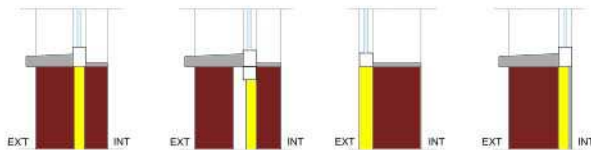
Condensaciones superficiales

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 *punto térmico* se reduce al aumentar la resistencia al paso de calor de los distintos elementos.

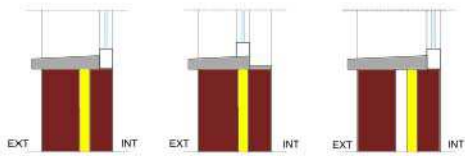
		Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,25	0,12	0,10	0,09	0,09	0,25	0,12	0,10	0,09	0,09
	0,44	0,24	0,12	0,10	0,09	0,09	0,24	0,12	0,10	0,09	0,09
	0,31	0,19	0,11	0,09	0,08	0,08	0,19	0,11	0,09	0,08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

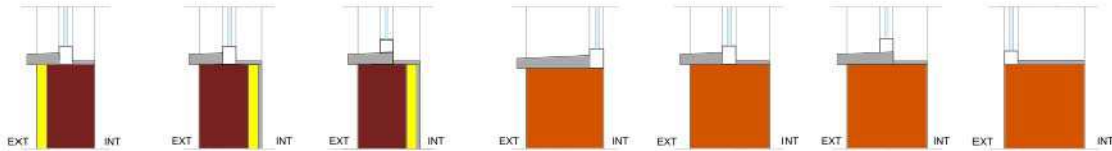
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

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.

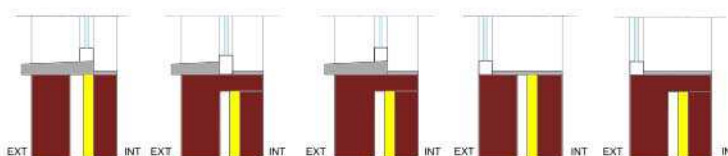
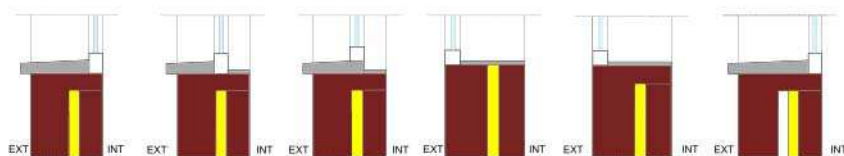
		Ψ_e [W/mK]					Ψ_i [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]					U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,20	0,14	0,13	0,13	0,13	0,20	0,14	0,13	0,13	0,13
	0,44	0,23	0,16	0,15	0,15	0,15	0,23	0,16	0,15	0,15	0,15
	0,31	0,24	0,17	0,16	0,16	0,17	0,24	0,17	0,16	0,16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

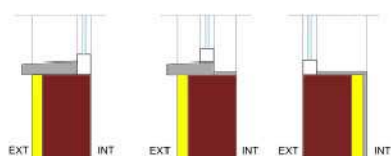
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

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.

		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	0,43	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

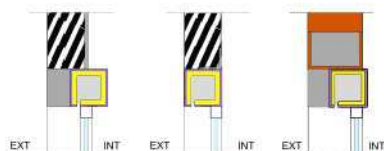
Condensaciones superficiales

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.

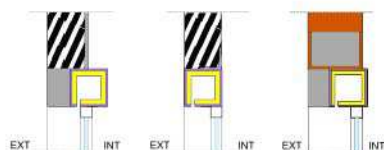
5.6 Capialzados

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.

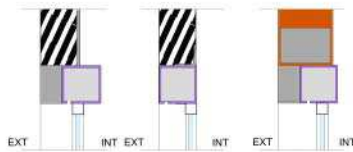
		Ψ_e, Ψ_i [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,08	0,05	0,03	0,00	-0,01
	0,44	0,11	0,08	0,06	0,03	0,02
	0,31	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04
	0,27	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04
	0,24	0,13	0,09	0,08	0,05	0,03

Condensaciones superficiales

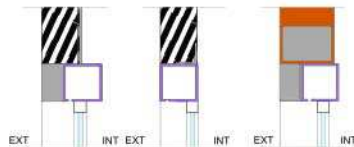
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

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 *punte 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.

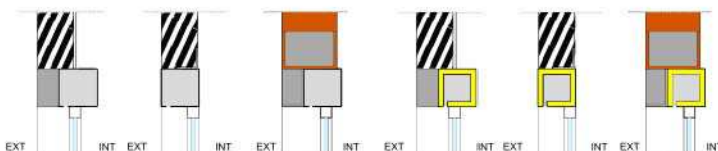
		Ψ_e, Ψ_i [W/mK]				
		U_{marco} [W/m ² K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	0,44	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	0,31	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	0,27	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	0,24	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04

Condensaciones superficiales

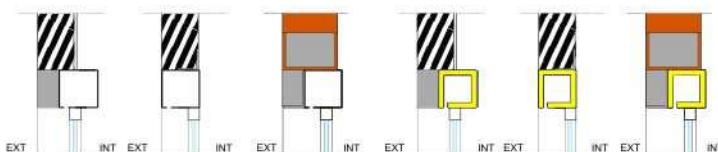
Como el resto de elementos del contorno de huecos, estos detalles son propensos a la formación de condensaciones superficiales, acentuándose en aquellos casos en los que se produce una zona con concentración del flujo térmico y con *transmitancia térmica* del muro alta.

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 *punte térmico* se agudizan en estos detalles al ser el capialzado metálico y, por tanto, tener menor resistencia térmica.

		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	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 *punte térmico*, de ahí los bajos valores que se obtienen para este grupo de detalles.

		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	0,02	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

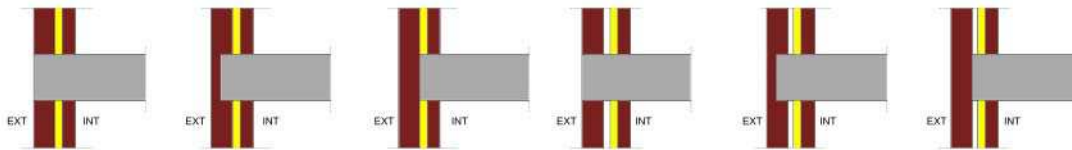
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para la clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E con cantos de forjado elevados.

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.

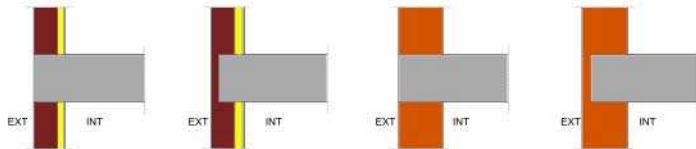
La zona de condensaciones se localiza en los rincones formados por el encuentro entre forjado y muro.

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.

	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	0,64	0,70	0,76	0,88	0,97	1,07
	0,44	0,67	0,74	0,81	0,81	0,91	0,99
	0,31	0,65	0,72	0,79	0,75	0,84	0,92
	0,27	0,64	0,71	0,78	0,72	0,81	0,89
	0,24	0,62	0,69	0,76	0,70	0,78	0,86

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.

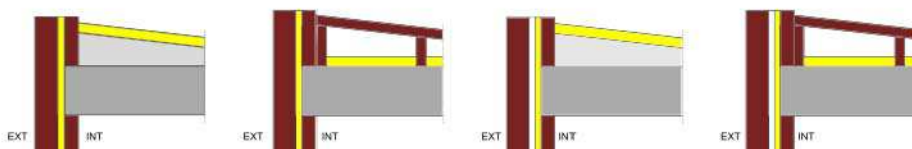
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en todas las zonas climáticas.

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.

		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
U_{muro} [W/m ² K]	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

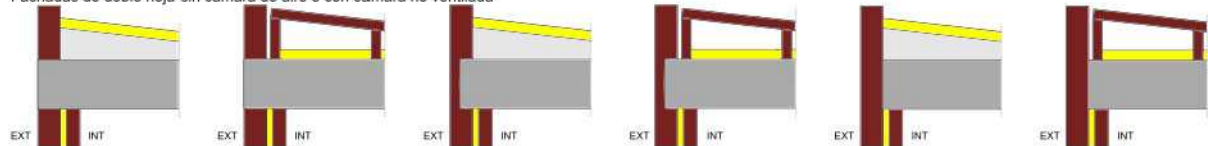
Condensaciones superficiales

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

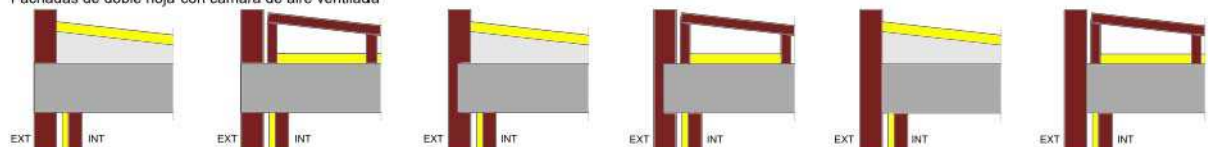
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para las clases higrométricas 4 y 5 en todas las zonas climáticas, a excepción de la zona climática α con muros de *transmitancia térmica* baja.

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

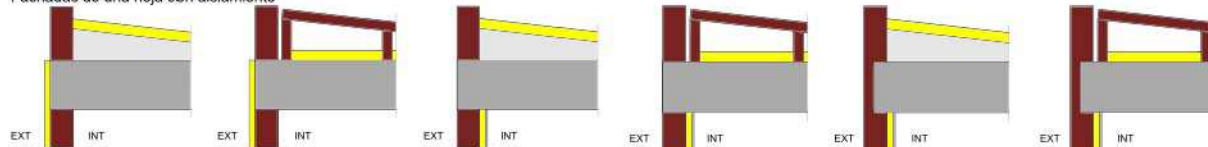
Fachadas de doble hoja sin cámara de aire o con cámara no ventilada



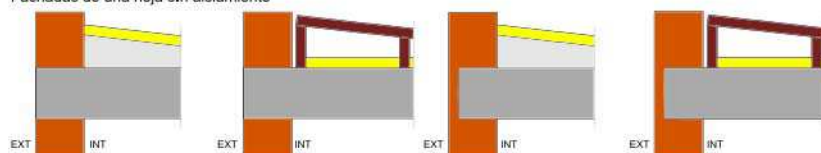
Fachadas de doble hoja con cámara de aire ventilada



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.

		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
U_{muro} [W/m ² K]	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

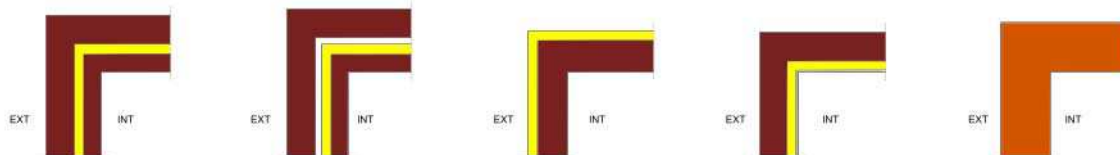
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para todas las clases higrométricas y todas las zonas climáticas.

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

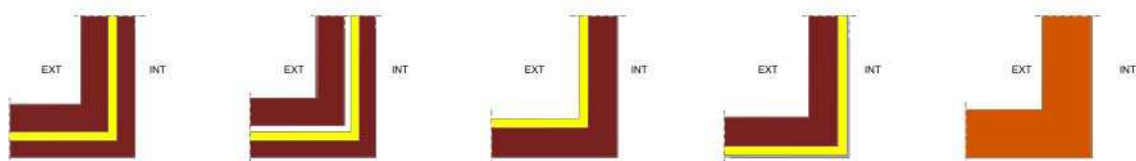
		Ψ_e [W/mK]	Ψ_i [W/mK]
U_{muro} [W/m ² K]	0,73	-0,24	0,11
	0,44	-0,15	0,08
	0,31	-0,11	0,06
	0,27	-0,10	0,06
	0,24	-0,10	0,05

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

		Ψ_e [W/mK]	Ψ_i [W/mK]
U_{muro} [W/m ² K]	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

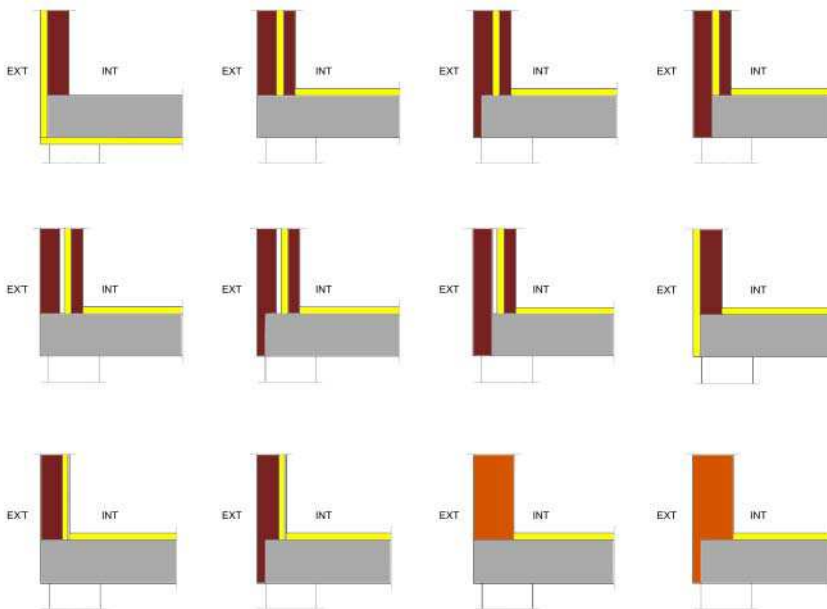
Condensaciones superficiales

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.

		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	-0,17	-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

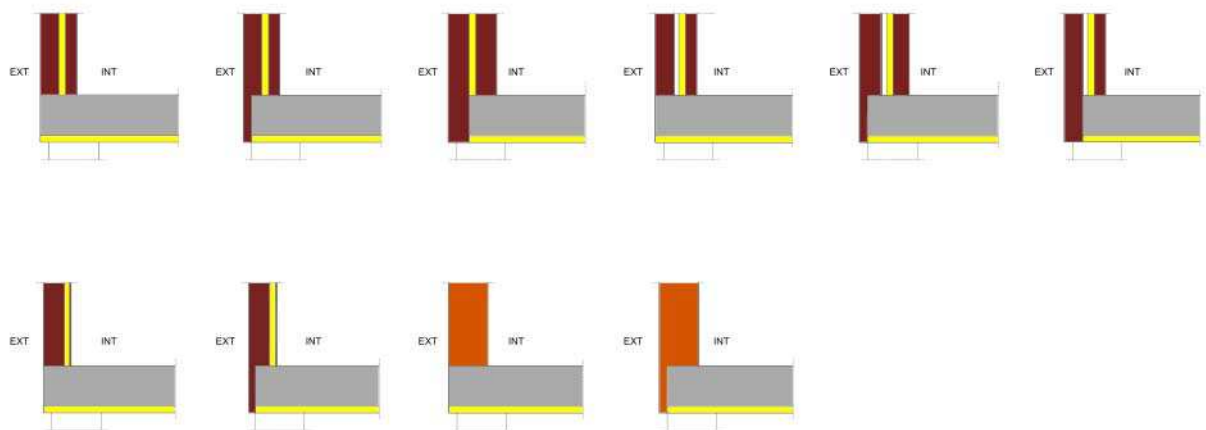
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E y en el resto de zonas con una *transmitancia térmica* de muro alta.

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 de 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.

	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	0,43	0,43	0,47	0,49	0,51	0,80	0,81	0,84	0,86	0,88
	0,44	0,51	0,52	0,56	0,58	0,61	0,79	0,79	0,82	0,84	0,86
	0,31	0,53	0,53	0,58	0,61	0,63	0,77	0,77	0,80	0,82	0,83
	0,27	0,53	0,53	0,58	0,61	0,63	0,76	0,76	0,79	0,81	0,82
	0,24	0,52	0,53	0,58	0,60	0,63	0,75	0,75	0,78	0,80	0,81

Condensaciones superficiales

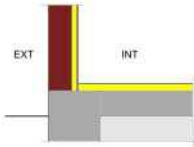
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales en todas las zonas climáticas y para todas las clases higrométricas.

La zona de condensación de 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.

	Ψ_e [W/mK]	Ψ_i [W/mK]									
		U_{solera} [W/m ² K]									
		0,53	0,52	0,42	0,37	0,32					
U_{muro} [W/m ² K]	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

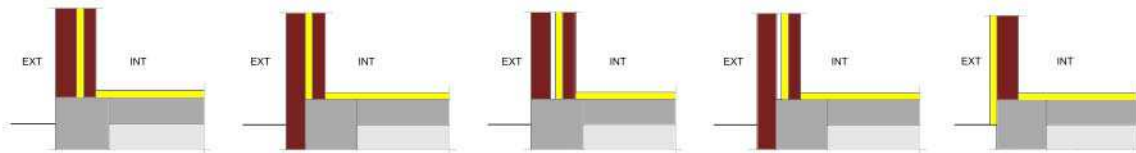
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E.

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 de 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 *puente 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.

		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
U_{muro} [W/m ² K]	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

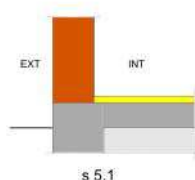
Se ha observado que hay riesgo de condensaciones superficiales para clase higrométrica 3 o inferior en las zonas climáticas D y E.

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 de 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.

		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
U_{muro} [W/m ² K]	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 de 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 *punte 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 *punte 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
χ	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.