

# PÉRDIDAS DE CALOR Y FORMACIÓN DE CONDENSACIONES EN LOS PUENTES TÉRMICOS DE LOS EDIFICIOS

MARÍA INÉS DÍAZ REGODÓN y JOSÉ ANTONIO TENORIO RÍOS

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja

## RESUMEN:

La sociedad demanda cada vez más la calidad de los edificios, como se manifiesta en la Ley de Ordenación de la Edificación y en la inminente aprobación del Código Técnico de la Edificación, y éste incide también en aspectos vinculados al bienestar de las personas, como el aislamiento térmico y el confort higrotérmico de los espacios que habitamos.

La presente comunicación se centra en los *puentes térmicos*, aquellas zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción y, por consiguiente, una minoración de la resistencia térmica respecto al resto de cerramientos.

El propósito de esta comunicación es dar una clara comprensión de los problemas que se derivan de los puentes térmicos: pérdidas de energía, condensaciones, formación de moho.

Es posible diseñar y construir cualquier tipo de edificio evitando sus efectos, sin embargo, una vez originados es difícil resolver sus adversas influencias.

## ABSTRACT:

In accordance with the Building Regulations Law and the upcoming passing of the Building Technical Code, our society demands more quality in buildings. Some aspects related to people's wellbeing, such as thermal insulation and hygrothermal comfort of the spaces must also be considered.

This presentation is about thermal bridges, that is, the parts of the building envelope where the otherwise uniform thermal resistance is significantly changed, and as a consequence, there is a minor thermal resistance compared to the rest of the closures.

The scope of this communication is a clear comprehension of the problems caused by thermal bridges: extra heat transfer, condensations, mould growth.

It is possible to design and build every kind of construction without thermal bridges, however it is difficult to solve their negative effects once they have taken place.

## 1. Definición y clasificación de puente térmico

### 1.1. Definición

Un **puente térmico** es una parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a:

- penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales de diferente conductividad térmica; y/o
- un cambio en el espesor de la fábrica; y/o
- una diferencia entre áreas interiores y exteriores, tales como intersecciones de paredes, suelos o techos<sup>1</sup>.

Al disminuir la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos, los puentes térmicos se convierten en partes sensibles de los edificios donde aumenta la posibilidad de producción de condensaciones superficiales, en la situación de invierno o épocas frías.

Además de los problemas de condensación y formación de moho, degradación de los elementos constructivos y el peligro para la salud de los ocupantes, los puentes térmicos llevan también a un incremento de pérdidas de calor, que llegan a ser relativamente más importantes, cuanto más aislados estén el resto de cerramientos.

Así pues, los aspectos a considerar son los siguientes:

- un eventual incremento de pérdidas de calor cuando se calculen las cargas, necesidades energéticas y niveles de aislamiento del edificio;
- un eventual riesgo de condensaciones y producción de moho resultante de la temperatura superficial interior de la zona del puente térmico.

### 1.2. Clasificación

Los puentes térmicos más comunes son de dos dimensiones y son conocidos como *puentes térmicos lineales*, los cuales se forman como uniones de dos o más elementos edificatorios (por ejemplo una ventana en una pared o la intersección de dos cerramientos) o son los lugares donde la composición estructural de un elemento edificatorio está cambiando (por ejemplo un pilar o una columna embebido en un cerramiento).

Esto conlleva un cambio del flujo de calor y por tanto de la temperatura superficial en la cara interior de un elemento constructivo.

La figura 1 muestra la localización típica de estos tipos de puentes térmicos bidimensionales. Fig 1.

Los puentes térmicos más comunes en la edificación y que se tendrán en cuenta en el análisis, podrían clasificarse en:

- 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;

<sup>1</sup> Definición según la norma UNE EN ISO 10 211-1:1995 "Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 1: Métodos generales de cálculo".

- b) puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos:
- i) frentes de forjado en las fachadas;
  - ii) uniones de cubiertas con fachadas;
    - cubiertas con pretil;
    - cubiertas sin pretil;
  - iii) uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno;
    - unión de fachada con losa o solera;
    - unión de fachada con muro enterrado o pantalla;
  - iv) esquinas o encuentros de fachadas, dependiendo de la posición del ambiente exterior respecto del interior, que se subdividen en:
    - esquinas entrantes;
    - esquinas salientes;
- c) encuentros de voladizos con fachadas;
- d) encuentros de tabiquería interior con fachadas.

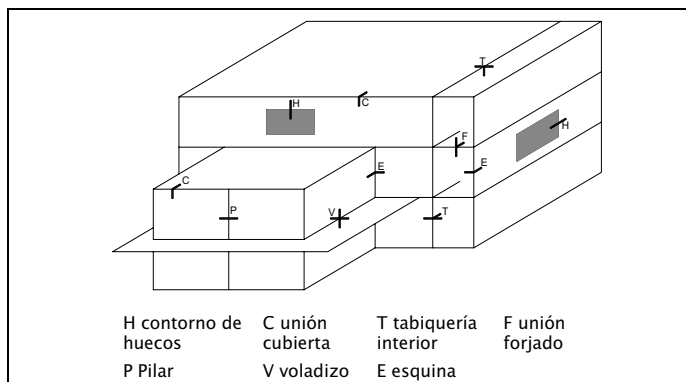


Figura1. Localización de los puentes térmicos lineales más comunes.

Además de los puentes térmicos lineales, existen también los puentes térmicos tridimensionales o *puntuales*, los cuales se forman cuando un cerramiento aislado térmicamente es perforado por otro elemento con una alta conductividad térmica (punto de puente térmico) o la intersección de tres esquinas. Fig. 2.

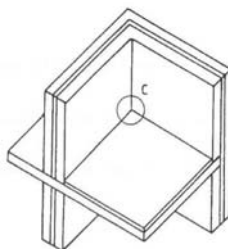


Figura 2. Puente térmico puntual

## 2. Pérdidas de energía debido a los puentes térmicos

### 2.1. Modelización térmica de un edificio

La distribución de temperaturas y el flujo de calor a través de una construcción pueden ser calculados si se conocen las condiciones de contorno y los detalles constructivos. Con este objetivo, se divide el modelo geométrico (el edificio) en un número de elementos teniendo en cuenta cada conductividad térmica homogénea.

El modelado de un edificio completo no es posible utilizando un modelo geométrico único. En la mayor parte de los casos el edificio puede ser compartimentado en varias partes (incluyendo el terreno si se considera adecuado) utilizando *planos de corte*. Esta partición se realizará cuidadosamente, con el fin de evitar cualquier diferencia entre los resultados del edificio compartimentado y el edificio considerado como conjunto. La elección de los planos de corte es de considerable importancia a los efectos de la partición en modelos geométricos idóneos. Los planos de corte se consideran adiabáticos (flujo térmico cero).

El modelo geométrico consta del elemento o elementos centrales, los elementos de flanco y a veces el terreno.

Dividido el modelo geométrico en un número de células, cada una de ellas posee un punto característico denominado nudo. Aplicando la ley de la conservación de la energía ( $\text{div } q = 0$ ) y la ley de Fourier ( $q = -\lambda \text{grad}\theta$ , con las condiciones de contorno, se obtiene un sistema de ecuaciones que son función de las temperaturas en los nudos. La solución de este sistema, ya sea por una técnica directa o por método iterativo, proporciona la temperatura de los nudos. La distribución de temperaturas dentro de cada célula de material se calculará por interpolación entre las temperaturas del nudo. A partir de la distribución de temperatura, se pueden calcular los flujos térmicos aplicando la ley de Fourier.

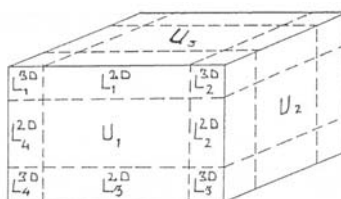


Figura 3. Envoltorio edificatorio dividido en modelos geométricos tridimensionales, bidimensionales y unidimensionales

### 2.2. Transferencia de calor en elementos constructivos homogéneos

El estudio de transferencia de calor en edificios se puede conseguir subdividiendo la estructura en distintos cerramientos (muros de fachada, huecos, suelos y cubiertas), para que así puedan calcularse separadamente las pérdidas de calor.

Este tipo de cálculo está normalmente basado en un **modelo unidimensional**, que asume que las fachadas son térmicamente homogéneas y están compuestas de un número de capas paralelas al flujo de calor, como muestra la figura 4.

La transferencia de calor se describe, en régimen estacionario y tomando algunas simplificaciones, mediante la transmitancia térmica del cerramiento ( $U$ ). Este valor da la pérdida de calor a través del elemento de construcción por unidad de superficie y diferencia de temperatura de los medios situados a cada lado del elemento que se considera ( $W/m^2 K$ ).

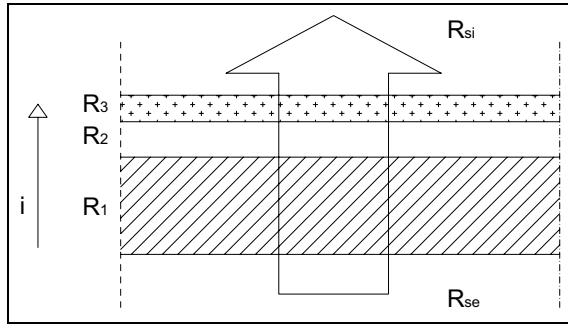


Figura 4. Flujo de calor (modelo unidimensional)

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

$$U = \frac{1}{R_T}$$

siendo

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

La resistencia térmica total  $R_T$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas debe calcularse mediante la expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

siendo

$R_1, R_2, \dots, R_n$  las resistencias térmicas de cada capa [ $m^2 K/W$ ];  
 $R_{si}$  y  $R_{se}$  las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [ $m^2 K/W$ ].

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

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

siendo

$e$  el espesor de la capa [ $m$ ].  
 $\lambda$  En caso de una capa de espesor variable se considerará el espesor medio. la conductividad térmica de diseño<sup>2</sup> del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos declarados<sup>2</sup> según la norma UNE EN ISO 10 456:2001 o tomada de documentos oficialmente reconocidos, [ $W/m K$ ].

<sup>2</sup> La norma UNE EN ISO 6946: 1997 "Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo" define el valor térmico de diseño como el valor de una propiedad térmica de un material o producto de edificación bajo condiciones específicas exteriores e interiores que pueden

Por lo tanto, la cantidad de calor transferido (= a la pérdida de calor transmitido  $\phi_t$ ) viene dada por:

$$\phi_t = U \cdot A \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e)$$

siendo

A el área de la superficie del elemento de construcción [ $m^2$ ];  
 $\theta_i - \theta_e$  la diferencia de temperatura entre el interior y el ambiente exterior [K].

### 2.3. Modelización de los puentes térmicos

A causa de las irregularidades discutidas arriba, el flujo de calor no será simplemente unidimensional, tendrá dos o tres características dimensionales, dando lugar a unas pérdidas de calor extra pero que podrán ser evaluadas a partir de cálculos de U unidimensionales.

Entre los medios interno y externo con temperaturas  $\theta_i$  y  $\theta_e$  respectivamente, el valor del flujo de calor por transmisión a través de la envolvente del edificio,  $\phi$ , puede calcularse mediante la ecuación:

$$\phi = H_T \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e)$$

La transmisión del coeficiente de pérdida de calor  $H_T$  se calcula mediante la ecuación:

$$H_T = L + L_s + H_u$$

donde

L es el coeficiente de acoplamiento térmico a través de la envolvente del edificio;  
 $L_s$  es el coeficiente de acoplamiento térmico del suelo de acuerdo con la norma UNE EN ISO 13 370:1999;  
 $H_u$  es el coeficiente de pérdida de calor a través de espacios no calefactados de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 13 789:2001.

Cuando se calcula el coeficiente de acoplamiento térmico L, se ignora a menudo el efecto de los puentes térmicos. Sin embargo, los edificios pueden poseer puentes térmicos significativos, cuyo efecto es aumentar la pérdida total del calor del edificio. En este caso, para obtener el correcto coeficiente de acoplamiento térmico, es necesario añadir los términos de corrección que comprende las transmitancias térmicas puntual y lineal tal como sigue:

$$L = \sum U_i \cdot A_i + \sum \Psi_k \cdot \ell_k + \sum \chi_j$$

donde

L es el coeficiente de acoplamiento térmico;  
 $U_i$  es la transmitancia térmica de la parte i de la envolvente del edificio;  
 $A_i$  es el área sobre la cual se aplica el valor de  $U_i$   
 $\Psi_k$  es la transmitancia térmica lineal del puente térmico lineal k;

considerarse típicas del comportamiento de ese material o producto cuando se incorpora a un componente de edificación.

$\ell_k$  es la longitud sobre la cual se aplica el valor  $\Psi_k$   
 $\chi_j$  es la transmitancia térmica puntual de puente térmico puntual j.

La modelización geométrica del puente térmico lineal se realiza mediante los planos de corte que dividen el elemento constructivo en un elemento central y uno elementos de flanco.

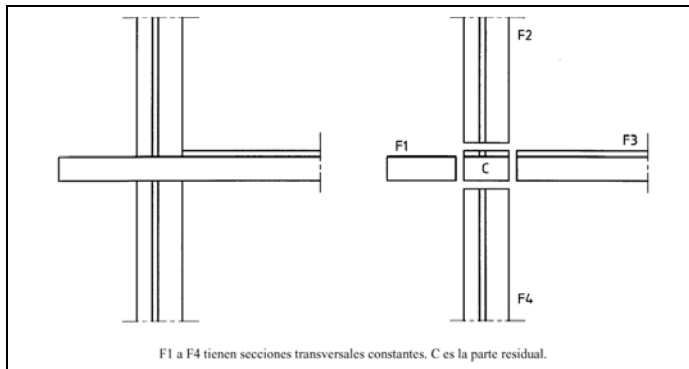


Figura 5. Modelo bidimensional con cuatro elementos de flanco y de un elemento central

Los elementos de flanco bidimensionales se componen de capas de material planas y paralelas al flujo de calor.

La longitud del elemento de flanco se define como la distancia entre el elemento central y el plano de corte, que aunque corta es de gran importancia en el resultado .

Los planos de corte deberán posicionarse como sigue:

- a 1 m al menos del elemento central si no hay un plano de simetría cerca;
- en general, en un plano de simetría si éste se encuentra a menos de 1 m del elemento central.

Generalmente la influencia de los puentes térmicos puntuales (en cuanto resultan de la intersección de los puentes térmicos lineales) pueden despreciarse y así el término de corrección que comprende los puentes térmicos puntuales pueden omitirse de la ecuación anterior. Si, no obstante, hay puentes térmicos puntuales significantes, entonces las transmitancias térmicas puntuales deberían calcularse de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 10211-1:2001.

Como se ha explicado anteriormente, los valores de  $\Psi$  y  $\chi$  dependen por un lado, de la configuración y de las conductividades térmicas de las capas de materiales, y, por el otro, de la manera en que el cálculo de transferencia de calor unidimensional se ha realizado.

El efecto del puente térmico (pérdida extra de calor) puede visualizarse por la concentración de líneas de flujo de calor, como se muestra en la segunda columna de los dibujos. Entre flujo y flujo pasa la misma cantidad de calor. Los flujos son perpendiculares a las isothermas (lugares geométricos que unen puntos a la misma temperatura) que definen el campo de temperaturas, también lineal (columna primera).

Las siguientes figuras muestran cuatro soluciones diferentes para un dintel de ventana.

En el primer y segundo caso, la concentración de líneas de flujo es claramente visible debido al efecto del puente térmico del mal aislamiento. En el tercero se produce un pequeño puente entre el cerramiento y el marco de la ventana. El cuarto caso parece ser la mejor solución.

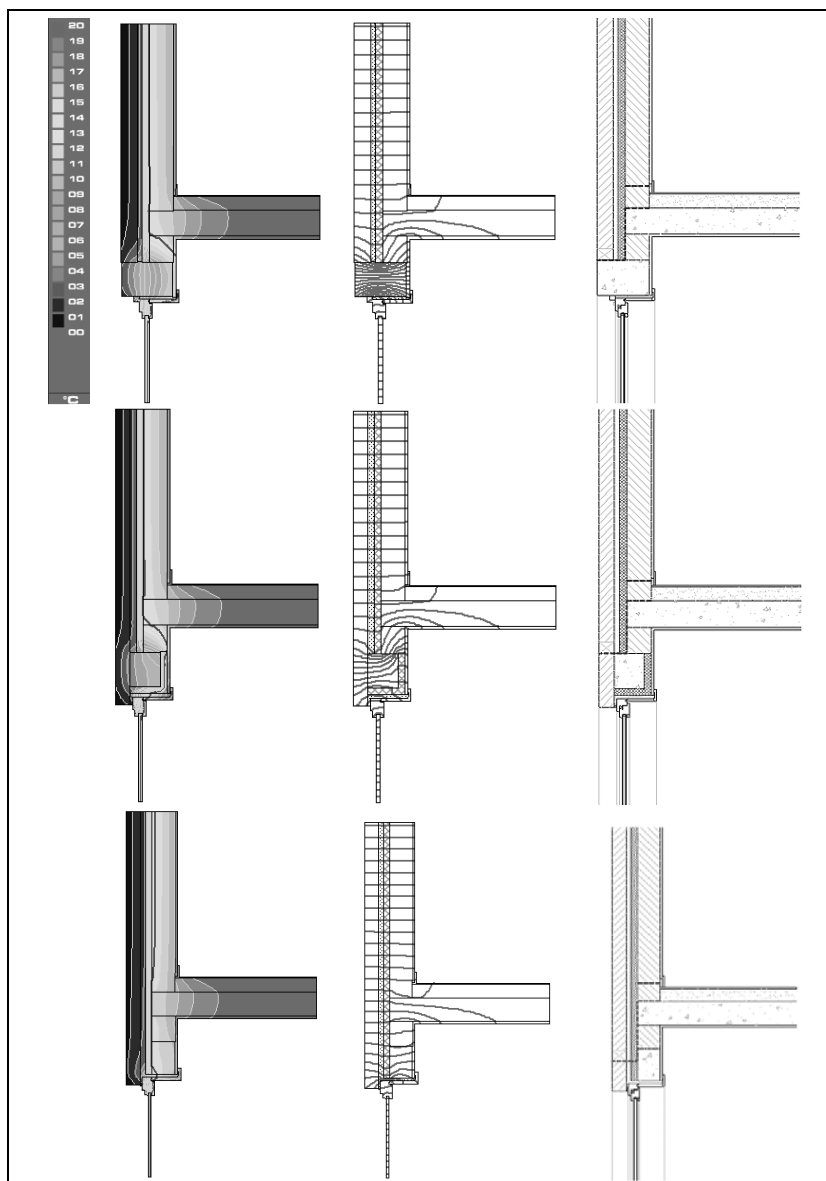


Figura 6. Diferentes soluciones de puente térmico de dintel de ventana (Ejemplos obtenidos del programa informático belga de evaluación de puentes térmicos: IAKOB, version 21/05/02 "Inventarisatie, Analyse&Optimalisatie van KoudeBruggen).



### 3. Formación de moho y condensaciones superficiales

#### 3.1. Desarrollo y consecuencias de la formación de moho

El moho es indeseable en los edificios por las siguientes razones siguientes:

- por estética, tiene una desagradable apariencia que se asocia además a sensaciones de inadecuado comportamiento higiénico;
- deteriora los materiales orgánicos en los que crece, tales como pinturas, siliconas, acabados, pieles, telas, etc.;
- puede producir reacciones alérgicas a los ocupantes (por ejemplo, dolores de cabeza, irritaciones nasales y del sistema digestivo, asma) debido a la inhalación de componentes volátiles y esporas que abundantemente se presentan en el ambiente;
- si el cuerpo humano lo absorbe (por ejemplo por vía digestiva) causa enfermedades debidas a la formación de sustancias cancerígenas y venenosas.

Independientemente de los tipos de moho, su formación es posible cuando se presentan las siguientes condiciones:

- un ambiente interior con suficiente oxígeno y temperaturas entre 0°C y 60°. Cada especie suele presentar una temperatura óptima para su desarrollo y crecimiento y un intervalo fuera del cual la vida sería teóricamente imposible. La banda ideal para la mayoría se sitúa entre 25° y 40 °C. En general se adaptan bien a los ciclos ligados a cambios higrotérmicos;
- un sustrato apropiado (por ejemplo pegamento de celulosa en paredes empapeladas, superficies pintadas, siliconas, madera, yesos, alfombras, ...)
- suficiente humedad en el ambiente y/o en los materiales de construcción.

Estas condiciones se hacen a menudo realidad en muchos tipos de edificios ya sea en periodos breves de tiempo o largos, por lo que no es sorprendente que la producción de moho aparezca con frecuencia.

La última condición mencionada (suficiente humedad) es muy importante porque el agua es un requisito esencial para el crecimiento de moho. El incremento del nivel de humedad de los componentes internos del edificio por un efecto higroscópico (absorción de la humedad del ambiente) en las capas de acabado aumentan considerablemente, y por consecuencia el riesgo de formación de moho.

El moho a menudo comienza en las esquinas, porque, entre otras razones, son lugares que, debido a la mínima circulación de aire, la condensación absorbida no puede secarse fácilmente.

Los problemas de moho surgen inicialmente en las habitaciones donde a se produce un alto nivel de humedad, por ejemplo en baños y cocinas. Sin embargo, a veces se observan importantes problemas en los dormitorios, lo que quiere decir que durante la noche, la producción de humedad de los cuerpos humanos no es evacuada suficientemente en estos dormitorios debido a la escasa eficiencia de los sistemas de ventilación. Además, durante el día, los dormitorios están a menudo no calefactados o inadecuadamente calefactados y ventilados por lo que es lógico que en estas circunstancias se produzcan.

### 3.2. Visión general de los parámetros de riesgo de condensación

La transferencia de humedad es un proceso muy complejo y el conocimiento de los mecanismos de transferencia, las propiedades de los materiales, las condiciones iniciales y las condiciones límite son a menudo insuficientes, inadecuadas y todavía en vías de desarrollo.

La transferencia de humedad puede causar daño a los materiales de construcción desprotegidos. Se puede aceptar temporalmente y en pequeñas cantidades, por ejemplo en ventanas y azulejos de los baños, si la superficie no absorbe la humedad y si se toman las medidas adecuadas para prevenir su contacto con materiales sensibles adyacentes.

Para evitar la formación y crecimiento de mohos es conveniente que la humedad relativa en las superficies no supere 0,8 durante varios días. La envolvente edificatoria debería estar diseñada para prevenirlo, suponiendo unas condiciones normales de uso de sus habitantes.

Además del clima exterior (temperatura del aire y humedad) influyen en la formación de condensaciones superficiales y la producción de moho cuatro parámetros principales:

- la calidad térmica de cada elemento de la envolvente edificatoria, representada por la resistencia térmica, puentes térmicos, geometría y resistencia superficial interior; la calidad térmica determina las temperaturas de la superficie interior y puede caracterizarse por el factor de temperatura de la superficie interior  $f_{Rsi}$ ;
- la humedad interior suministrada, que influye en el punto de rocío del aire;
- la temperatura interior del aire: una temperatura más baja es en general más crítico;
- el sistema de calefacción, que influye en el movimiento de aire y la distribución de temperatura en las habitaciones. Puede haber por tanto áreas localmente más frías que el resto, convirtiéndose éstas en puntos críticos.

### 3.3. Diseño para evitar las condensaciones y la formación de mohos<sup>3</sup>

En general se puede establecer que la presencia de condensaciones y la producción de humedad en edificios se debe en primer lugar a un inapropiado clima interior, ya sea por una insuficiente calefacción y ventilación y/o por la alta humedad producida.

La investigación científica deseosa de clarificar las condiciones para la formación de mohos y otros microorganismos ha revelado que los problemas pueden comenzar si la humedad relativa en la superficie interior está por encima de un cierto valor límite durante un tiempo suficiente. Esto puede trasladarse a la siguiente afirmación:

*La posibilidad de que se forme moho en una superficie es menor del 5% si la humedad relativa mensual media en dicha superficie permanece inferior al 80 %.*

La norma UNE EN ISO 13788: 2002 expone un método para diseñar la envolvente edificatoria con el fin de prevenir los efectos adversos de la humedad superficial crítica (como por ejemplo la formación de mohos).

La condensación superficial puede causar daños a los materiales de construcción desprotegidos que son sensibles a la humedad. La condensación superficial se puede aceptar temporalmente y en pequeñas cantidades, por ejemplo en ventanas o azulejos de baños, si

<sup>3</sup> Método de cálculo propuesto en la norma 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"

la superficie no absorbe humedad y si se toman las medidas adecuadas para prevenir su contacto con materiales adyacentes sensibles.

Por tanto, el riesgo de formación de mohos aparece si la humedad superficial permanece superior a 0,8 durante varios días, o lo que es lo mismo, si la temperatura superficial interior disminuye respecto a un valor límite.

### 3.3.1. Factor de temperatura de la superficie interior $f_{Rsi}$

El factor de temperatura  $f_{Rsi}$  de la superficie interior se define como el cociente entre la diferencia de temperatura superficial interior y la del ambiente exterior y la diferencia de temperaturas del ambiente interior y exterior:

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

Los métodos que permiten calcular el coeficiente térmico en elementos complejos se da en la norma ISO 10211-1.

### 3.3.2. Factor de temperatura útil sobre la superficie interior $f_{Rsi,min}$

El factor de temperatura útil sobre la superficie interior es el factor de temperatura mínimo aceptable sobre la superficie interior, por debajo del cual existe una alta probabilidad de que existan condensaciones y se forme moho (bajo unas condiciones favorables de humedad):

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

El factor de temperatura es un importante parámetro para evaluar el riesgo de condensaciones. Este factor, sin embargo, depende en buena parte de la elección del  $R_{si}$ .

### 3.3.3. Temperatura superficial interior mínima aceptable $\theta_{si,min}$

La temperatura superficial interior mínima aceptable  $\theta_{si,min}$  es muy importante en el punto más frío de la superficie interior de un elemento de edificación para definir su correspondiente factor de temperatura ( $f_{Rsi,min}$ ) que controla el riesgo de condensaciones. En concreto, la temperatura superficial interior del punto más frío se verifica y compara con la temperatura de rocío del ambiente interior  $\theta_{dp}$ .

$$\theta_{si,min} > \theta_{dp}$$

### 3.3.4. Temperatura de rocío del aire interior

Si a una cierta temperatura interior y a un cierto nivel de humedad, la temperatura de una habitación se reduce, entonces la humedad relativa en la habitación aumentará.

También llamada punto de rocío, la temperatura de rocío mide la humedad del ambiente, es la temperatura a la cual una muestra de aire húmedo llega a saturarse y comienza la

condensación. El punto o temperatura de rocío depende de la masa de vapor de agua contenida en el aire.

La temperatura de rocío es por tanto de una gran importancia en relación con la evaluación del riesgo de condensaciones en la superficie interior.

Los valores de las temperaturas de rocío mostradas en la tabla siguiente, corresponden a los máximos contenidos de humedad para cada temperatura. Para otros valores de humedad relativa el vapor de agua contenida puede ser leído gráficamente en el conocido diagrama o ábaco psicrométrico.

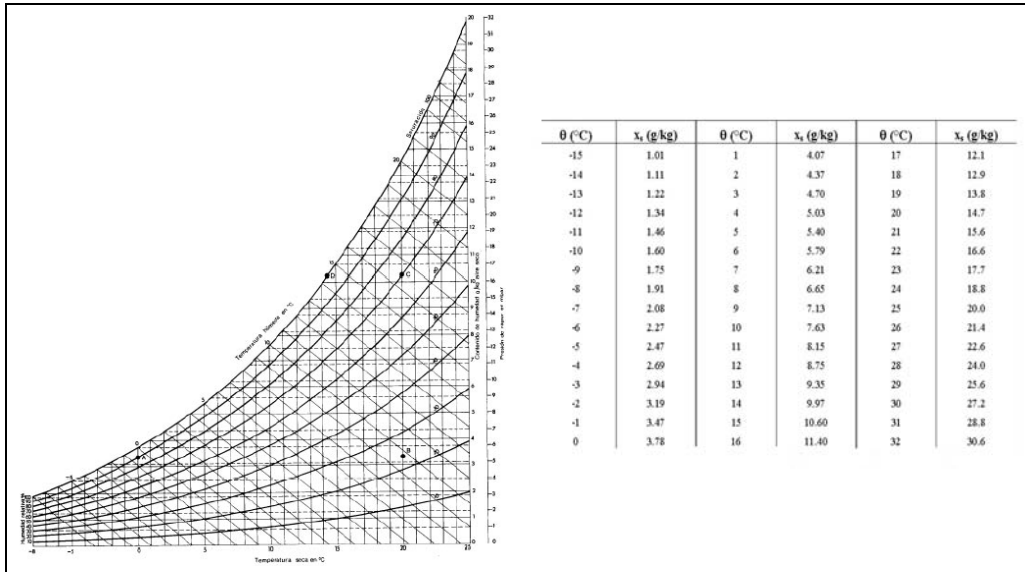


Figura 7. Ábaco psicrométrico y tabla que relaciona las temperaturas de rocío con la cantidad de humedad.

En el ábaco psicrométrico adjunto se muestra la interdependencia de la humedad relativa, en la escala a la izquierda, la temperatura seca en la escala horizontal, y la masa de vapor de agua por masa de aire seco con su equivalencia en presión de vapor, en mbar, en la escala de la derecha.

### 3.3.5. Humedad del ambiente interior

La humedad del ambiente interior puede deducirse de:

$$p_i = p_e + \Delta p$$

donde

- $p_i$  es la presión de vapor interior calculada [Pa];
- $p_e$  es la presión de vapor exterior calculada [Pa];
- $\Delta p$  es el exceso de presión de vapor interior del local [Pa].

O bien de:

$$v_i = v_e + \Delta v$$

donde

- $v_i$  es el volumen de aire interior húmedo [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];
- $v_e$  es el volumen de aire exterior húmedo [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];
- $\Delta v$  es el exceso de humedad interior [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

El exceso de humedad interior puede definirse como el ritmo de producción de humedad interior ( $G$  en  $\text{kg}/\text{h}$ ) en un espacio dividido por la tasa de renovación de aire [ $\text{h}^{-1}$ ] y por el volumen del local ( $V$  en  $\text{m}^3$ ):

$$\Delta v = \frac{G}{n \cdot V}$$

Según se detalla en el anexo A de la norma UNE EN ISO 13 788: 2002 se pueden establecer cinco clases de higrometría interior. La figura siguiente muestra los límites de  $\Delta v$  y  $\Delta p$  para cada clase. Para los cálculos se recomienda utilizar el límite superior de cada clase a menos que el diseñador pueda demostrar que las condiciones son menos severas. Se pueden utilizar datos medidos para obtener los valores aplicables en otros climas.

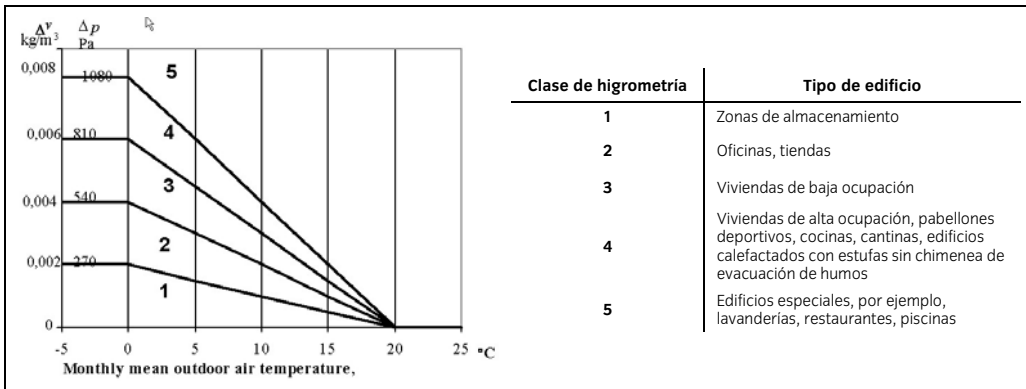


Figura 8. Variación de la humedad interior en función de las clases de higrometría y la temperatura exterior

### 3.3.6. Cálculo de la temperatura superficial interior mínima aceptable $\theta_{si,min}$ y el factor de temperatura de la superficie interior $f_{Rsi}$ para evitar las condensaciones superficiales

Para cada uno de los meses del año se deben efectuar las operaciones siguientes:

- determinar la temperatura del aire exterior, la humedad exterior y la temperatura interior;
- calcular la humedad relativa interior a partir de  $\Delta v$  o  $\Delta p$  o tomar una humedad relativa constante para un ambiente climatizado incluyendo los márgenes de seguridad definidos anteriormente;

- con una humedad relativa máxima aceptable en la superficie,  $\phi_{si}=0,8$ , calcular la humedad de saturación aceptable  $v_{sat}$  o la presión de saturación  $p_{sat}$  que representen el mínimo aceptable<sup>4</sup>:

$$v_{sat}(\vartheta_{si}) = \frac{v_i}{0,8} \quad \text{ó} \quad p_{sat}(\vartheta_{si}) = \frac{p_i}{0,8}$$

- determinar la mínima temperatura superficial aceptable  $\theta_{si,min}$  a partir de la mínima humedad de saturación aceptable

$$\theta_{si,min} = \frac{237.3 \log_e \left( \frac{P_{sat}}{610.5} \right)}{17.269 - \log_e \left( \frac{P_{sat}}{610.5} \right)}$$

- partiendo de la mínima temperatura superficial aceptable  $\theta_{si,min}$  y considerando la temperatura prevista del aire interior  $\theta_i$  y la temperatura exterior  $\theta_e$  se calcula el factor de temperatura mínimo  $f_{Rsi,min}$ .

Cada uno de los cerramientos del edificio se diseñará de tal forma que su  $f_{Rsi}$  sea superior a  $f_{Rsi,min}$ . El factor de temperatura se calculará para el mes más crítico, es decir, para el cual se obtiene el valor de  $f_{Rsi,min}$  más alto.

Para un diseño dado, **el factor de temperatura de la superficie interior  $f_{Rsi}$**  pueden calcularse a partir de la siguiente expresión:

- en el caso de flujos térmicos unidimensionales, que se producen en aquellos elementos planos tales como los *puentes térmicos integrados en los cerramientos*:

$$f_{Rsi} = (U^{-1} - R_{si}) / U^{-1}$$

- en el caso de flujos térmicos multidimensionales, que se producen en aquellos elementos tales como los *puentes térmicos formados por encuentros de cerramientos*, mediante la ayuda de un programa informático de cálculo sobre elementos finitos o similar de acuerdo con la norma UNE EN ISO 10 211-1:1995 y UNE EN ISO 10 211-2:2002

## 4. Evaluación práctica de puentes térmicos

### 4.1. Criterios y objetivos de la evaluación de puentes térmicos

Los puentes térmicos deben evitarse en la medida de lo posible, pero algunos de ellos serán casi inevitables (por ejemplo balcones, los alfeizares de las ventanas, voladizos, etc.). Por tanto es lógico limitar el efecto desfavorable de las pérdidas de calor y el riesgo de condensaciones a límites aceptables.

Ciertos puentes térmicos pueden evitarse en la fase de diseño de los edificios, ya sean de nueva planta u obras de restauración.

<sup>4</sup> El criterio  $\phi_{si} \leq 0,8$  se establece con el fin de prevenir el riesgo de formación de mohos. Se pueden aplicar otros criterios, por ejemplo  $\phi_{si} \leq 0,6$  para prevenir la corrosión.

Aquellos que sean inevitables o los que ya existan en edificios existentes, deben construirse o tratarse de la siguiente manera:

- que el impacto de energía sea bajo, es decir, que el valor global de  $U$  del elemento constructivo (incluido el efecto del puente térmico) sea menor que un cierto valor máximo (exigido por ejemplo por la normativa nacional) y/o que el efecto del puente térmico no suponga más de un porcentaje dado del total de la pérdida de calor a través del elemento constructivo;
- que el riesgo de condensaciones sea mínimo, es decir, que el factor de temperatura sea superior al valor crítico (éste valor debería determinarse a nivel nacional)

Por tanto, el primer objetivo de la evaluación de puentes térmicos es determinar la evolución de la temperatura en el elemento edificatorio y, más específicamente, la temperatura superficial en la cara interna del elemento, que controla el riesgo de condensaciones superficiales y la formación de moho.

Secundariamente, se evaluará también para la pérdida de calor extra que produce la existencia de puentes térmicos en el elemento edificatorio. Este se realiza mediante el cálculo de la transmitancia térmica lineal ( $\Psi$  para elementos del edificio bidimensionales) o transmitancia térmica puntual ( $\chi$  para elementos del edificio tridimensionales), que evalúan la pérdida de calor a través del elemento, incluyendo el efecto de puente térmico, menos la pérdida de calor sin el efecto de puente térmico.

## 4.2. Evaluación experimental de puentes térmicos

### 4.2.1. Ensayos de laboratorio

La evaluación de la pérdida de calor y la determinación de la transmitancia térmica lineal o puntual del puente térmico, puede ser ensayada experimentalmente en laboratorio. Esto puede hacerse usando métodos de ensayos normalizados en dos elementos del edificio idénticos, uno con y otro sin puente térmico.

Está claro que la aplicación del método está limitada a aquellos elementos del edificio que puedan ser ensayados bajo estas circunstancias -con o sin un puente térmico-, como por ejemplo perforaciones metálicas en paredes térmicamente aisladas.

La evaluación del factor de temperatura es posible en condiciones de laboratorio mediante la medición de la temperatura ambiente y de las temperaturas superficiales en ambas caras del cerramiento en condiciones de estado fijas. El grado de precisión, sin embargo, es bastante incierto porque los valores de  $h_i$  y  $h_e$ , que tienen un efecto importante en el resultado final, no son conocidos.

### 4.2.2. Ensayos in situ

Los ensayos in situ pueden evaluar solamente la temperatura ambiente y las temperaturas de la superficie de las dos caras del elemento edificatorio. Sin embargo a causa de la evolución del clima interior y exterior (temperatura, humedad, aire o velocidad del viento), las temperaturas fluctuarán. Bajo estas circunstancias, sólo se pueden obtener resultados significativos a partir de medidas tomadas a largo plazo, en las cuales el factor de temperatura húmeda obtenido tiene que ser interpretado con cuidado.

Para una correcta interpretación de los resultados deberían seguirse las siguientes líneas que se resumen a continuación:

- clima exterior: la temperatura y el grado de humedad del ambiente exterior se deben medir durante periodos mínimos de un mes; si no se toman medidas in situ, se pueden tomar como datos de entrada la temperatura exterior y la humedad relativa de la estación climática más próxima;
- clima interior: las mediciones y cálculos relativos al clima interior son los siguientes:
  - una medición continua de la temperatura y la humedad relativa por un periodo mínimo de un mes durante la estación de calefacción (preferentemente otoño);
  - un cálculo de la temperatura interior húmeda diaria, semanal y mensual y de la diferencia entre las presiones interior y exterior.
- factor de temperatura: al igual que las temperaturas interiores y exteriores, la temperatura superficial debe medirse en algunos puntos críticos y relevantes de la superficie interior durante un periodo mínimo de al menos dos semanas; si esta medida no fuera posible, el cálculo por ordenador puede dar los resultados necesarios.

#### 4.3. Métodos disponibles y precisión esperada para el cálculo de $\Psi$

La evaluación experimental de los puentes térmicos (en laboratorio o in situ) es costoso y laborioso y sólo se aplica a proyectos importantes o para validar cálculos informáticos de simulación. Las investigaciones han revelado además que para detalles constructivos sin cavidades, las diferencias entre los resultados de los cálculos numéricos y los ensayos es insignificante.

Por tanto, la evaluación de puentes térmicos puede realizarse con la ayuda de métodos numéricos basados en cálculos bi-dimensionales o tri-dimensionales de transferencia de calor, que en los últimos años ha evolucionado enormemente.

Cuando se selecciona un método particular, su precisión deberá reflejar la exactitud requerida para el cálculo de la pérdida de calor total, teniendo en cuenta las longitudes de los puentes térmicos lineales.

Se podrían establecer los siguientes métodos con sus respectivos márgenes de error:

- **método numérico** (5%)
- **catálogo de soluciones aceptadas** (20%)
- **manual de cálculo** (20%)
- **valores por defecto** (0%-50%)

Cuando los detalles no están aún diseñados pero está definido el tamaño y la forma principal de edificio, de tal forma que las áreas de los diferentes elementos de la envolvente edificatoria, tales como cubiertas, paredes, suelos, son conocidos sólo se puede hacer una estimación grosera de las contribuciones de los puentes térmicos sobre el total de la pérdida de calor. Esta estimación burda se puede realizar utilizando los valores por defecto de transmitancia térmica lineal  $\Psi$ .

Cuando en un estado posterior se llegan a conocer a grandes rasgos los detalles, los valores  $\Psi$  se podrán obtener con mayor exactitud para cada puente térmico lineal al comparar el particular detalle con la solución aceptada del catálogo que mejor se adapte.

Cuando se conozcan todos los detalles, podrán utilizarse todos los métodos para determinar  $\Psi$ , incluyendo los cálculos numéricos los cuales dan valores más precisos para  $\Psi$ .



### 4.3.1. Catálogos de puentes térmicos

Las soluciones constructivas de los catálogos de puentes térmicos se determinan a partir de unos parámetros fijos (por ejemplo materiales y dimensiones) por lo que son menos precisos que los cálculos numéricos.

En general, los ejemplos que se dan en estos catálogos no son exactamente igual que el detalle real a considerar, y así al aplicar el valor de  $\Psi$  específico del detalle del catálogo, introducimos una exactitud con relación al detalle real. No obstante, se puede utilizar el valor de  $\Psi$  dado por el catálogo siempre que las dimensiones y las propiedades térmicas del ejemplo del catálogo bien sean similares o menos favorables que a las del detalle considerado.

El catálogo deberá contener:

- guía clara de cómo los valores de  $\Psi$  derivan de los valores dados por el catálogo;
- dimensiones del detalle y valores de la transmitancia térmica de las partes térmicamente homogéneas del detalle;
- las resistencias de la superficie interna y externa que se utilizan para los cálculos de los valores dados en el catálogo.

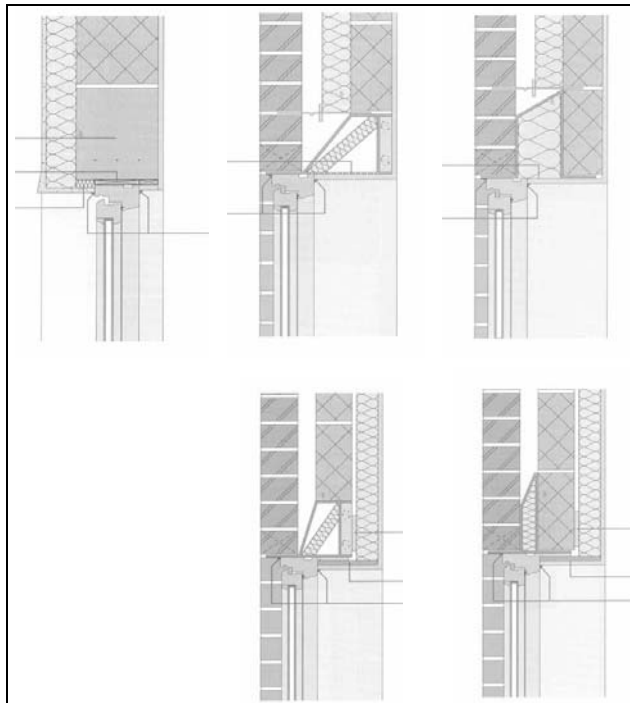


Figura 9. Ejemplo de catálogo, soluciones constructivas de dinteles de ventana en función de la situación del aislante en el cerramiento (Catálogo británico "Limiting thermal bridging and air leakage: Robust construction details for dwellings and similar buildings" Department for Environment, Food&Rural Affairs DEFRA, Transport Local Governmente Regions DTLR)

Cuando los detalles del puente térmico aún no están plenamente realizados, los catálogos aportan ejemplos útiles para diseñarlos. No obstante, los catálogos más flexibles utilizan bases de datos, donde se pueden variar las dimensiones y los materiales. En estos catálogos la exactitud dependerá del cálculo numérico.

El catálogo debería suministrar preferentemente información de las variaciones de la transmitancia térmica lineal en función de las conductividades térmicas o de las dimensiones de los componentes del puente térmico. Esto podría hacerse mediante coeficientes tabulados.

#### 4.3.2. Manual de cálculos

Existe una gran variedad de manuales de métodos de cálculo, con la intención de ser utilizados en calculadoras manuales o en un programa de ordenador. Sin embargo no se puede dar una indicación general de exactitud para estos métodos porque la mayoría de los métodos de cálculo se aplican solamente para un tipo específico de puente térmico (por ejemplo, construcciones con placas metálicas). Así pues, para un caso específico, un manual de cálculo en particular puede ser muy exacto pero fuera de este caso puede ser muy inexacto.

El manual de cálculo deberá contener:

- a) detalles de los tipos de construcción a los cuales se aplica;
- b) límites dimensionales para los cuales el método es válido;
- c) límites de la conductividad térmica de los materiales utilizados;
- d) valores de la resistencia superficial para ser utilizada;
- e) estimación de la exactitud (por ejemplo, error máximo).

#### 4.3.3. Valores por defecto de acuerdo con la norma EN ISO 14683

Este capítulo contiene valores por defecto de  $\Psi$  para unos 50 puentes térmicos lineales, algunos de ellos se encuentran muy fácilmente en edificación. Estos valores pueden utilizarse o bien cuando no hay detalles disponibles para el puente térmico en particular, o cuando no se requiere de un valor exacto para la evaluación total de la pérdida de calor y es suficiente con una estimación aproximada. Estos valores por defecto se han obtenido con la ayuda de cálculos numéricos y se basan en el modelo numérico bidimensional de acuerdo con la norma EN ISO 10211-2. Están estimados prudentemente a partir de parámetros que están siempre al lado de la seguridad.

Estas tablas se presentan con una serie de dibujos esquemáticos del puente térmico y su valor de  $\Psi$ . Para cada tipo de puente térmico se simulan cuatro situaciones, dependiendo de la situación del aislante térmico, la capa con mayor resistencia térmica:

- en la capa exterior,
- en la cara interior,
- en el interior del cerramiento
- La cuarta hipótesis se refiere al caso sin la capa de aislamiento típica, sino en la que el cerramiento en su totalidad está construido con un material de ciertas propiedades aislantes, como la albañilería ligera (hormigón celular, por ejemplo).






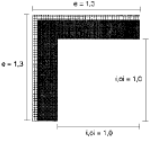
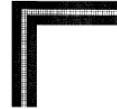


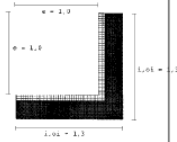
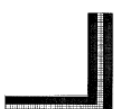


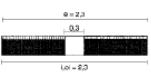



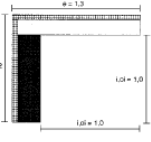
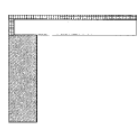
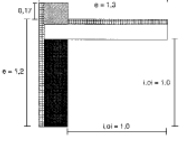
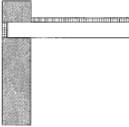
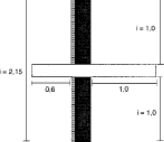
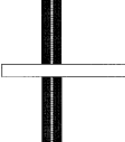
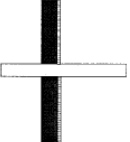
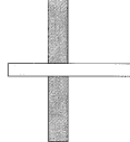
 Pared	 Pared ligera (incluyendo albanilería ligera y paredes compuestas de madera)	 Capa aislante	 Pilar	 Marco
<b>Esquinas</b>				
 <p><b>C1</b></p> $\Psi_e = -0,05$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$ $L^{2D} = 0,84$	 <p><b>C2</b></p> $\Psi_e = -0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$ $L^{2D} = 0,79$	 <p><b>C3</b></p> $\Psi_e = -0,20$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$ $L^{2D} = 0,70$	 <p><b>C4</b></p> $\Psi_e = -0,15$ $\Psi_{oi} = 0,05$ $\Psi_i = 0,05$ $L^{2D} = 0,81$	
 <p><b>C5</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = -0,20$ $\Psi_i = -0,20$ $L^{2D} = 0,71$	 <p><b>C6</b></p> $\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = -0,15$ $\Psi_i = -0,15$ $L^{2D} = 0,77$	 <p><b>C7</b></p> $\Psi_e = 0,15$ $\Psi_{oi} = -0,05$ $\Psi_i = -0,05$ $L^{2D} = 0,83$	 <p><b>C8</b></p> $\Psi_e = 0,05$ $\Psi_{oi} = -0,15$ $\Psi_i = -0,15$ $L^{2D} = 0,82$	
<b>Pilares</b>				
 <p><b>P1</b></p> $\Psi_e = 1,30$ $\Psi_{oi} = 1,30$ $\Psi_i = 1,30$ $L^{2D} = 2,09$	 <p><b>P2</b></p> $\Psi_e = 1,20$ $\Psi_{oi} = 1,20$ $\Psi_i = 1,20$ $L^{2D} = 2,01$	 <p><b>P3</b></p> $\Psi_e = 1,05$ $\Psi_{oi} = 1,05$ $\Psi_i = 1,05$ $L^{2D} = 1,83$	 <p><b>P4</b></p> $\Psi_e = 0,90$ $\Psi_{oi} = 0,90$ $\Psi_i = 0,90$ $L^{2D} = 1,76$	
<b>Tejados (continúa)</b>				
 <p><b>R9</b></p> $\Psi_e = -0,05$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$ $L^{2D} = 0,84$	 <p><b>R10</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,20$ $\Psi_i = 0,20$ $L^{2D} = 0,92$	 <p><b>R11</b></p> $\Psi_e = 0,05$ $\Psi_{oi} = 0,20$ $\Psi_i = 0,20$ $L^{2D} = 0,93$	 <p><b>R12</b></p> $\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,30$ $\Psi_i = 0,30$ $L^{2D} = 1,02$	
<b>Balcones</b>				
 <p><b>B1</b></p> $\Psi_e = 0,85$ $\Psi_{oi} = 0,85$ $\Psi_i = 0,90$ $L^{2D} = 1,57$	 <p><b>B2</b></p> $\Psi_e = 0,80$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,85$ $L^{2D} = 1,56$	 <p><b>B3</b></p> $\Psi_e = 0,75$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,80$ $L^{2D} = 1,50$	 <p><b>B4</b></p> $\Psi_e = 0,70$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,75$ $L^{2D} = 1,49$	

Figura 10. Ejemplos de los valores por defecto aportados por la norma UNE EN ISO 14683:2000.

## 5. Líneas de trabajo

La presencia de los puentes térmicos es habitual en cualquier edificio. Sin embargo la escasa bibliografía refleja un desconocimiento general o poco interés por el tema tratado. Es ahora en los últimos años, debido a la preocupación medioambiental y la concienciación de ahorro energético y bienestar higrotérmico cuando se empiezan a estudiar y reglamentar sus efectos.

En una configuración habitual de unas fachadas, empleando técnicas constructivas convencionales, a través de los puentes térmicos se produce una pérdida de calor del 20% de la energía total que pierde el edificio<sup>5</sup>. Esta cantidad, que es realmente importante, se traduce inexorablemente en un incremento del gasto en acondicionamiento en un porcentaje equivalente.

Teniendo en cuenta que constructivamente eliminar algunos tipos de puente térmico en ocasiones es imposible o puede suponer un coste muy elevado, previamente conviene saber en qué casos su efecto es realmente negativo o cuando su influencia es menor o nula.

Una línea de investigación podría enfocarse hacia el estudio, análisis y cuantificación de los efectos dañinos de los puentes térmicos, adaptado a las diferentes climatologías españolas y a la forma de construir de cada zona.

Los parámetros a controlar serían  $\Psi$ ,  $f_{Rsi}$  en función de la zona climática donde se ubique el edificio.

Habría que estudiar la mejora o incorporación de técnicas de aislamiento adecuadas y valorar su coste, tanto si hablamos de rehabilitación como edificios de nueva planta -no olvidemos que ciertos puentes térmicos pueden evitarse en la fase de diseño-.

Una manera interesante de abordar este estudio sería mediante la metodología de las "robust details", definida en las normativas inglesas. Se entiende por "solución robusta" aquella solución habitual, realizada con materiales y productos comunes y duraderos, basada en las técnicas y práctica industrial existente, concebida de tal forma que minimiza el riesgo de condensaciones, el riesgo de penetración al agua, las pérdidas extra de calor, exceso de infiltraciones, etc. Por tanto una solución constructiva es "robusta" cuando incorpora otros requisitos adecuados a la habitabilidad de los edificios y no sólo atiende a aspectos higrotérmicos. La compatibilidad con otros requerimientos, que en el caso español podrían encontrarse en el futuro Código Técnico de la Edificación, es fundamental para asegurar que el diseño constructivo de los elementos sea, a priori, factible y por tanto pueda hacerse realidad.

La tipología edificatoria, y por consiguiente el diseño constructivo de la envolvente edificatoria, está íntimamente ligada al uso del edificio, e incluso, en algunos casos, al área geográfica y/o climatológica.

En el caso concreto de un país como España podría establecerse como primera clasificación las siguientes tipologías:

- a) Viviendas unifamiliares aisladas
- b) Viviendas unifamiliares adosadas
- c) Viviendas plurifamiliares aisladas
- d) Viviendas plurifamiliares entre medianeras

<sup>5</sup> Comentario extraído del libro *Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental*, capítulo 7 Los puentes térmicos en la construcción. Javier Neila González, Cesar Bedoya Frutos, que a su vez lo toma de *Consideraciones sobre balances energéticos en edificación*, Juan Carlos Carrión y Francisco Sancho. Madrid. Montajes e instalaciones nº 203, pag 45 a 52

La Normativa europea (EN ISO 14683:1999): estima rangos en torno al 30% o más para puentes térmicos lineales.

Y la normativa inglesa (Building Regulations 2000, Approved Document L1 y L2) estima para el caso de viviendas, pérdidas asociadas a los encuentros de cerramientos y contorno de huecos mayores al 16% de la pérdida total y 10% para otros edificios.

- e) Oficinas
- f) Otros

El objetivo final de este estudio previo es analizar el porcentaje de puentes térmicos, y por tanto de pérdidas de calor y de área “crítica” respecto el total de cerramientos, y que sin duda está íntimamente relacionado con la tipología y construcción de la envolvente edificatoria.

El comportamiento frente a las condensaciones obligaría a considerar la cantidad de producción de vapor de agua del espacio donde se encuentre el elemento constructivo.

Una primera clasificación podría establecer tres niveles, en vez de los cinco que establece la norma UNE EN ISO 13788: 2002:

- 1) espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías y piscinas;
- 2) espacios en los que se prevea una alta producción de humedad, tales como cocinas industriales, duchas colectivas, restaurantes, pabellones deportivos u otros de uso similar;
- 3) espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad. Se incluyen en esta categoría el resto de los espacios excepto los indicados anteriormente.

La diversidad de puentes térmicos, debido a su ubicación en el propio edificio, la composición de los distintos elementos constructivos, etc. nos obligaría a “agrupar” o relacionar la casuística de los posibles puentes térmicos que nos encontremos en una edificación. Esta posible “agrupación en familias” podría plantearse:

- en relación con un tipo de fachada;
- en función de la posición del aislamiento:
  - por el exterior
  - Por el interior
  - Intermedio
  - Distribuido

Todas estas premisas deberían constituir un punto de partida a la hora de realizar un estudio higrotérmico de puentes térmicos, en función de la zona climática y tipología constructiva, con el fin de disminuir el efecto desfavorable de las pérdidas de calor y el riesgo de condensaciones a límites aceptables.

## 6. Bibliografía

**UNE EN ISO 10 211-1:1995** “Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 1: Métodos generales de cálculo”.

**Borrador de 2004-06-29, ISO 10211.**

**UNE EN ISO 10 211-2: 2002** “Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 2: Puentes térmicos lineales”.

**UNE EN ISO 14 683:2000** “Puentes térmicos en la edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto”.

**Borrador de 2004-06-14, ISO 14683.**

**UNE EN ISO 6 946: 1997** “Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo”.

**Borrador de 2004-06-29, ISO 6946.**

**UNE EN 12524:2000** “Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrótérmicas. Valores de diseño tabulados”.

**UNE EN ISO 13 370 : 1999** “Prestaciones térmicas de edificios. Transmisión de calor por el terreno. Métodos de cálculo”.

**EN ISO 13 788:2001** “Características higrótérmicas de los elementos y componentes de la edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo”.

**UNE EN 673:1998** “Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica, U. Método de cálculo.”

**UNE EN ISO 10 077-1: 2001** “Características térmicas de ventanas, puertas y contraventanas. Cálculo del coeficiente de transmisión térmica. Parte 1: Método simplificado”.

**UNE EN 410:1998** “Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos”.

**UNE EN ISO 10456: 2001** “Materiales y productos para la edificación. Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño”.

**Borrador de 2004-06-29, ISO 10456.**

**UNE EN 1 026: 2000** “Ventanas y puertas. Permeabilidad al aire. Método de ensayo”.

**UNE EN 12 207: 2000** “Puertas y ventanas. Permeabilidad al aire. Clasificación”.

**UNE EN ISO 9346: 1996** “Aislamiento térmico. Transferencia de masa. Magnitudes físicas y definiciones”.

**UNE EN ISO 10456: 2001** “Materiales y productos para la edificación. Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño”.

**UNE EN ISO 13789: 2001** “Prestaciones térmicas de los edificios. Coeficiente de pérdida por transmisión de calor. Método de cálculo”.

**UNE-EN 12831:2003** “Sistemas de calefacción en edificios. Método para el cálculo de la carga térmica de diseño”.

**EN 13187:1998** “Prestaciones térmicas de edificios. Detección cualitativa de irregularidades en cerramientos de edificios. Método de infrarrojos”.

**“Limiting thermal bridging and air leakage: Robust construction details for dwellings and similar buildings”,** Department for Environment, Food&Rural Affairs DEFRA, Transport Local Governmente Regions DTLR. Publicado por TSO, Londres, 2002. ISBN 0117536121.

**Reglementation Thermique 2000**, métodos de cálculo: Reglas ThC y ThE, ThBat que a su vez contiene las reglas ThI Caracterización de la inercia térmica de los edificios, ThS Cálculo del factor solar S de los componentes de los edificios y ThU Determinación de las características térmicas de los cerramientos de los edificios.

Building Regulations 2000, **en concreto los Approved Documents L1 “conservation of fuel and power in dwellings”, para viviendas, y L2 “conservation of fuel and power in buildings other than dwellings”, otros edificios, definen las prestaciones energéticas de los edificios.**

**USA-ASHRAE STANDAR 90.1-1999.**

**NBN B 62-301 y la NBN B 62-002**, norma belga.

**Model National Energy Code of Canada for Houses 1996 (MNECH) y Model National Energy Code of Canada for Buildings (MNECB).**

Programa informático IAKOB, version 21/05/02 "**Inventarisatie, Analyse&Optimalisatie van KoudeBruggen**". Department of Architecture. Hogeschool Voor Wetenschap&Kust, Saint Lucas Architectuur. Bélgica.

Tesis doctoral "**Aportación al estudio de las características termofísicas de los materiales homogéneos**". José Luis Esteban Saiz, 1985 UNED.

"**Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental**", capítulo 7 Los puentes térmicos en la construcción. Javier Neila González, Cesar Bedoya Frutos. Editorial Munilla-Lería. ISBN 84-891150-20-6.

Documento del **proyecto SAVE-KOPRACTICE** de la Unión Europea.

"**Thermal desing of buildins**", S. Szololay, Camberra, RAI.

Norma Básica de la Edificación **NBE-CT-79**, sobre Condiciones Térmicas en los Edificios.

Documento Básico Ahorro de Energía, sección HE 1 Limitación de la demanda energética, **Código Técnico de la Edificación**, normativa española.

**Directiva 2002/91/CE** de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

**Mandato M/343** de la Comisión Europea "Elaboration and adoption of standards for a methodology calculating the integrated energy performance of buildings and estimating the environmental impact, in accordance with the terms set forth in Directive 2002/91/EC".