

Por Carlos Castro. Arquitecto del dpto. técnico de Dow Building Solutions

PUNTES TÉRMICOS EN EDIFICACIÓN

32 informe

La *Exigencia básica de limitación de la demanda energética*, tal y como se recoge en el Documento Básico del Código Técnico de la Edificación, CTE HE1, supone un gran avance en el objetivo de mejorar la eficiencia energética de los edificios, a la vez que se mantienen condiciones adecuadas de bienestar térmico «...en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo...de humedades de condensación...y tratando adecuadamente los puentes térmicos...».

¿QUÉ ES UN PUENTE TÉRMICO?

Los puentes térmicos se producen como consecuencia de que un edificio, por aparentemente simple o pequeño que sea, trata de dar solución, o al menos, respuesta, a requisitos muchas veces contradictorios entre sí. Por tanto, cualquier enfoque realista va más allá de los materiales, involucrando

fuertemente el diseño, los sistemas constructivos y la instalación. Éste es el caso de los puentes térmicos y del detalle e instalación cuidadosos que se requieren.

En el análisis energético se parte habitualmente de una envolvente del edificio con *flujos unidimensionales* de calor a través de capas plano-paralelas de materiales, a modo de sándwich (**figura 1**).

Sin embargo, en la realidad constructiva la envolvente del edificio configura una geometría material compleja, con muchos detalles, juntas y encuentros diversos. Como resultado, en ciertas áreas, llamadas puentes térmicos, hay discontinuidades, tanto geométricas (esquinas, aristas) como materiales (interrupciones de la capa de aislamiento térmico), con el agravante de que a veces suman sus efectos (un pilar en esquina sin aislar) y el flujo de calor se vuelve *bi/tridimensional* (2-D, 3-D). Como resultado aumenta la densidad del flujo térmico y, en definitiva, surgen puntos débiles de transmisión (o transmitancia) térmica, con pérdidas de calor concentradas en ellos. En la **figura 2** se muestra el caso de un balcón que interrumpe la cámara del muro exterior.

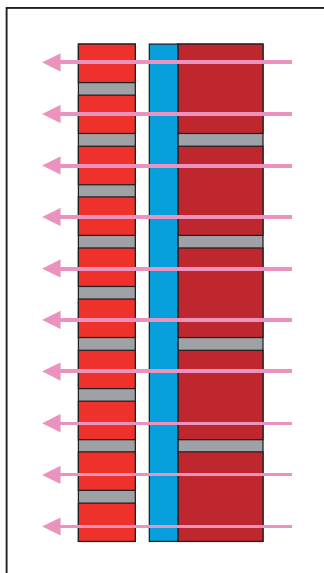


Figura 1: Flujo de calor unidimensional en un cerramiento de extensión infinita.

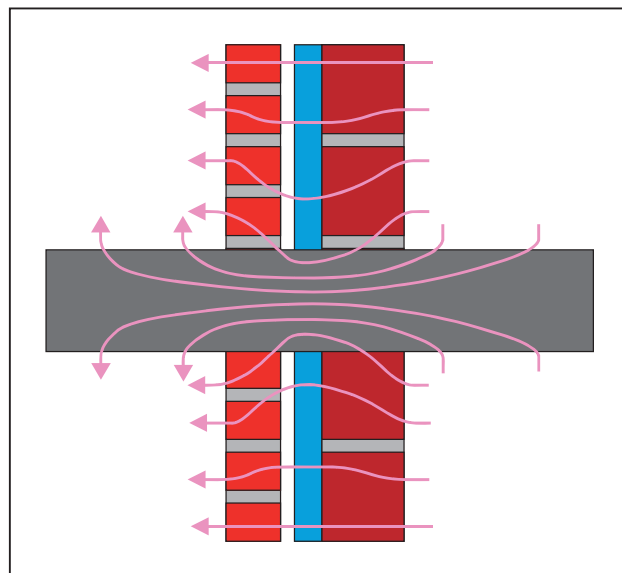


Figura 2: Flujo de calor bidimensional en cerramiento con puente térmico.

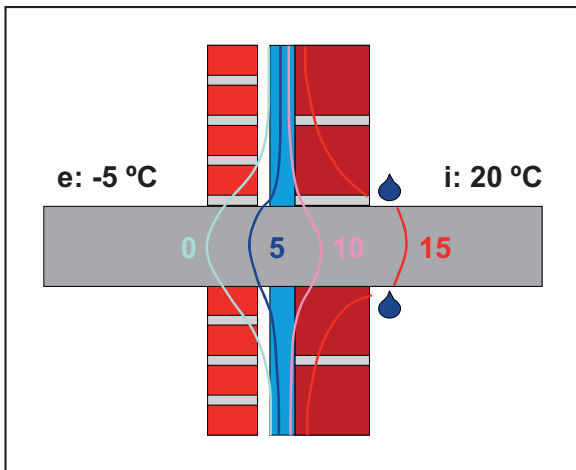


Figura 3: isotermas mostrando el efecto de «pared fría» por puente térmico.

EFFECTOS DE LOS PUENTES TÉRMICOS

Como se ha indicado, la envolvente del edificio presenta una geometría material compleja donde, en múltiples puentes térmicos, desaparece la composición de capas plano-paralelas de materiales. En tales casos el flujo de calor, según lo explicado, es bi o tridimensional, y coincide con zonas donde hay discontinuidad en el aislamiento térmico. En dichas zonas:

- La densidad de flujo de calor es relativamente elevada, aumenta la transmitancia térmica U (figura 2), y se produce un «puente de calor», con un efecto negativo para el objetivo de un uso racional de la energía. Así, por ejemplo, en un edificio de viviendas las pérdidas pueden aumentar entre un 20% y un 30% solamente por los puentes térmicos que interrumpen el muro con cámara (sin considerar los huecos).
- Si aumenta el valor U de transmitancia térmica, disminuye la temperatura superficial interior del cerramiento y, en definitiva, se produce un «puente frío» que puede originar condensación o desarrollo de moho (figura 3).

Según el diagrama de temperaturas en la sección constructiva del cerramiento se tiene que la temperatura superficial interior, θ_{si} , es igual a:

$$\theta_{si} = \theta_i - \frac{U}{h_i} (\theta_i - \theta_e)$$

Donde:

- θ_i es la temperatura del ambiente interior.
- θ_e es la temperatura del ambiente exterior:

- h_i es el coeficiente superficial interior de transmisión del calor.
- U es el coeficiente de transmisión de calor del cerramiento.

Por tanto, si aumenta U (como ocurre en los puentes térmicos), θ_{si} disminuye y aumenta el riesgo de condensaciones superficiales sobre la *pared fría* resultante. Se producirán condensaciones cuando $\theta_{si} =$ punto de rocío del ambiente interior. Sin embargo, antes de alcanzar la condensación superficial (100% de humedad relativa=saturación), se habrá comenzado a formar el temido moho, que se desarrolla con humedades relativas del 80%.

¿CÓMO SE CALCULAN LAS PÉRDIDAS DE CALOR EN LOS PUENTES TÉRMICOS?

Hay tres modos de abordar el cálculo de las pérdidas de calor a través de los puentes térmicos:

- *Coficiente lineal de transmisión de calor.* Se utiliza en la **opción general** para la verificación de CTE HEI. Representa el suplemento de pérdidas de calor, θ , que se debe sumar a las pérdidas del cerramiento-tipo (sin puentes térmicos), $\Sigma U_j A_j$, para obtener las pérdidas de calor en el puente térmico, $Q/\Delta\theta$:

$$\theta + \Sigma U_j A_j = Q/\Delta\theta \text{ [W/m} \cdot \text{K]}$$

- *Coficiente útil medio de transmisión de calor:*

$$U_m = Q/\Delta\theta \Sigma A_j \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$$

Se utiliza en la *opción simplificada* para la verificación de CTE HEI. Este concepto requiere que el número de puentes térmicos por unidad de superficie sea conocido de antemano. Por ello es interesante para puentes térmicos repetidos y para construcciones prefabricadas.

- *Coficiente de acoplamiento térmico* entre dos ambientes (i,j) definido como:

$$L_{ij} = Q/\Delta\theta \text{ [W/m} \cdot \text{K]}$$

Es la definición más simple. Contiene los efectos de puentes tanto bi como tridimensionales (esquinas y rincones). Su uso está muy limitado actualmente, pero puede crecer dada su sencillez.

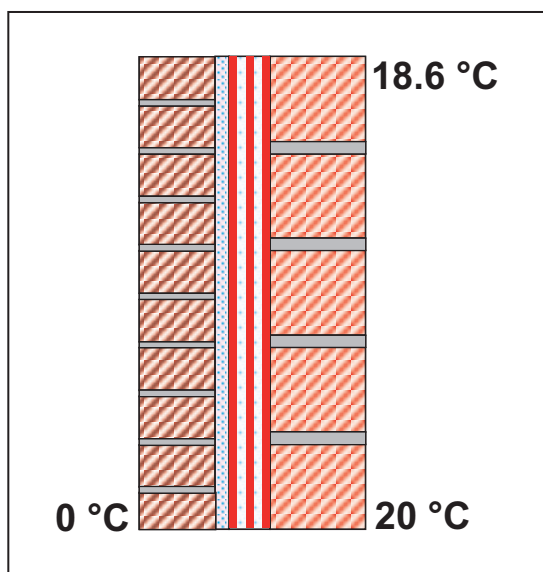


Figura 4: Temperatura superficial interior con flujo unidimensional.

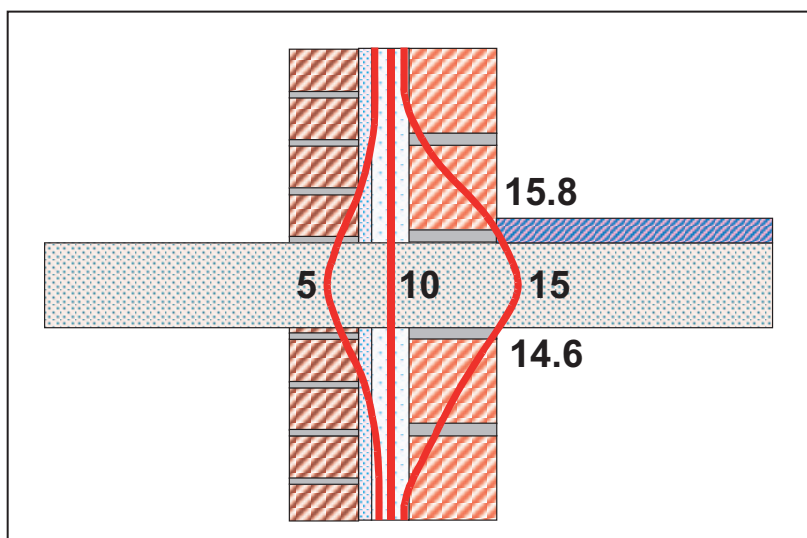
RIESGO DE CONDENSACIÓN Y FACTOR DE TEMPERATURA DE LOS PUENTES TÉRMICOS

Según se ha explicado, la temperatura superficial interior, θ_{si} , de una pared disminuye allí donde se localice un puente térmico. Por ello, a veces se denomina a los puentes térmicos como *puentes fríos*.

En el ejemplo adjunto (figura 4) de un típico muro con cámara, la temperatura superficial interior unidimensional (es decir, sin puente térmico) alcanza 18.6 °C, calculada con una temperatura exterior de 0 °C y una temperatura interior de 20 °C.

Si se divide la diferencia entre la temperatura superficial interior y la temperatura exterior, θ_{si}

Figura 5: Temperatura superficial interior con flujo bidimensional (puente térmico).



– θ_e , por la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior, $\theta_i - \theta_e$, se obtiene un número adimensional, llamado **factor de temperatura de la superficie interior**. Como es independiente de la diferencia de temperaturas, caracteriza al cerramiento mismo. Para el muro 1-D propuesto, se obtiene un factor de: $f = (18.6 - 0)/(20 - 0) = 0.93$. Equivaldría a la temperatura superficial interior si $\theta_e = 0$ °C y $\theta_i = 1$ °C.

Se puede calcular también entonces el factor de temperatura para el puente térmico, formado por el balcón que interrumpe el muro con cámara, obteniéndose una temperatura superficial interior mínima de 14.6 °C (figura 5): al dividir la diferencia (14.6 – 0) por la diferencia de temperaturas supuesta entre interior y exterior (20 – 0), se obtiene un factor de temperatura de: $f = (14.6 - 0)/(20 - 0) = 0.73$.

La eventualidad de una condensación superficial depende no sólo de la temperatura superficial, sino también de la humedad del aire. Sin embargo, para viviendas se ha solido requerir, como regla empírica, un factor de temperatura mínimo de 0.7 a fin de evitar la condensación superficial y el desarrollo del moho. En el ejemplo propuesto se cumple dicho requisito por poco margen. En este sentido cabe precisar que si hubiera sido un puente térmico tri-dimensional (el típico rincón en el techo...), el factor de temperatura mínimo recomendado es todavía más bajo.

LA FUNCIÓN DEL AISLAMIENTO TÉRMICO

En cuanto a las pérdidas de calor, ya se ha señalado la importancia del aislamiento térmico. Para corregir adecuadamente el puente térmico sirve un espesor relativamente pequeño, que restablece en gran medida el flujo térmico unidimensional. La posición del aislamiento térmico parece no ser un parámetro importante en el caso de pérdidas de calor: las pérdidas de calor a través de la discontinuidad del aislamiento térmico son aproximadamente las mismas para un sistema de aislamiento por el exterior que para un sistema de aislamiento por el interior o uno intermedio, con el aislamiento en cámara. Los parámetros clave aquí son la anchura de la discontinuidad y la conductividad térmica del material de la discontinuidad.

En cuanto al riesgo de condensaciones, el factor crucial es la posición del aislamiento: si se coloca por el exterior del cerramiento (figura 6) y hay una

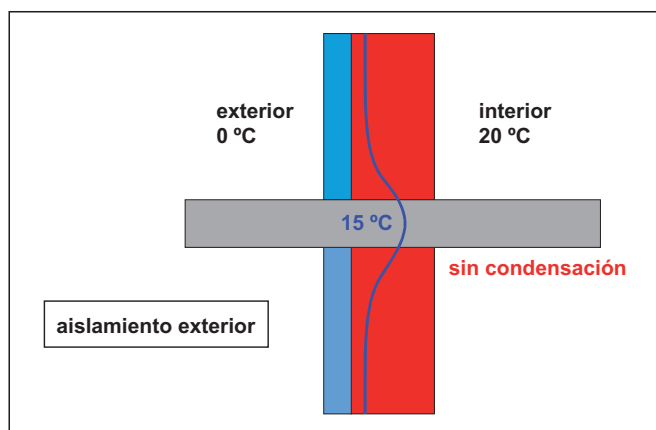


Figura 6: Puente térmico en aislamiento por el exterior.

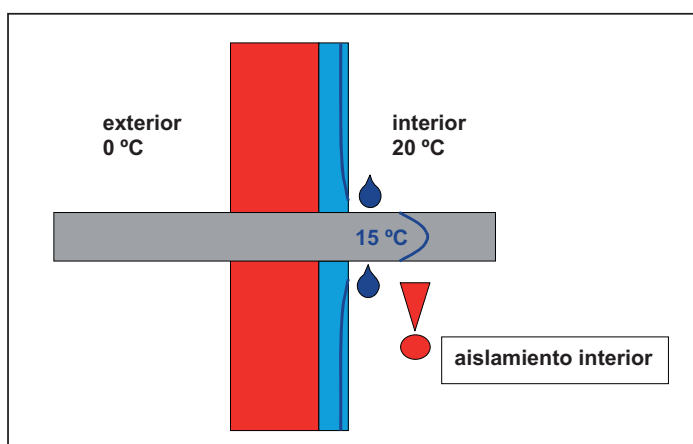
discontinuidad en la capa de aislamiento térmico, el efecto sobre la temperatura superficial interior es mínimo pues, al tener el «abrigo» de aislante por el exterior; el cerramiento en su conjunto está caliente, con lo que se «diluye» el efecto de puente térmico de la discontinuidad.

Todo lo contrario si se coloca el aislamiento por el interior del cerramiento (figura 7): el cerramiento está frío en su conjunto y la discontinuidad del aislamiento tendrá efectos máximos sobre la temperatura de la superficie interior en la zona del puente térmico. Por supuesto, el aislamiento en cámara es una situación intermedia. Por consiguiente, bajo este punto de vista, cuanto más al exterior se instale el aislamiento térmico, mejor.

Añadamos dos funciones más del aislamiento asociadas al menor riesgo de condensaciones:

- Se evitan daños en la construcción ocasionados por las humedades (fisuraciones, suciedad, moho, etc.).
- Se evita la radiación fría debida a la baja temperatura superficial del puente térmico, con lo que aumenta el confort térmico.

Figura 7: Puente térmico en aislamiento por el interior.



SOLUCIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS MEDIANTE PLANCHAS DE POLIESTIRENO EXTRUIDO (XPS) STYROFOAM™ IB-A

El producto adecuado para puentes térmicos es **STYROFOAM™ IB-A**, planchas de poliestireno extruido (XPS) de Dow en característico color azul. Gracias a su estructura de célula cerrada presentan una excelente resistencia a la absorción de agua y a la difusión del vapor de agua, conservando sus propiedades aislantes durante toda la vida útil del edificio.

STYROFOAM™ IB-A, mediante su acabado superficial rugoso ofrece una superficie apropiada para revestir con yeso o para pegar con los morteros cola usuales en construcción.

Asimismo, por sus óptimas características mecánicas (son planchas rígidas) se pueden fijar mecánicamente y, en general, se trabajan con toda sencillez. ■

™ Marca Registrada de The Dow Chemical Company («Dow») o cualquier filial de Dow