

El aislamiento de los puentes térmicos en la construcción (I)

1. Introducción

En los elementos constructivos que constituyen la piel del edificio ocasionalmente existen puntos en los que se rompe su configuración habitual, por la modificación de su espesor o la presencia de otros materiales. Esto es debido a la presencia de elementos constructivos, estructurales o instalaciones que precisan de esa ruptura o la fuerzan: la estructura perimetral, los capialzados de las persianas, las hornacinas de los radiadores, las cabezas de los forjados, etc.

En la mayoría de los casos, estas rupturas de la configuración de la membrana de cerramiento representan una reducción de su resistencia térmica, convirtiéndose en vías rápidas para la salida o entrada del calor en el edificio; por ese motivo, a esos puntos se les denomina puentes térmicos. Si bien, las ventanas y claraboyas podrían considerarse también puentes térmicos, si comparamos su resistencia térmica (1) con la del resto del cerramiento, al no ser viable actualmente la mejora de su resistencia térmica hasta el punto de igualarla a la del cerramiento opaco, se las considera partes independientes de la fachada y no puentes térmicos.

En una configuración habitual de estas fachadas, mediante el empleo de 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 (2). Esta cantidad,

que es realmente importante, se traduce inexorablemente en un incremento del gasto en acondicionamiento en un porcentaje equivalente. Por ese motivo, se debería dar más importancia al análisis y tratamiento de los puentes térmicos en la edificación, ya sea mediante técnicas correctivas o preventivas.

2. Tipos de puentes térmicos

Los puentes térmicos responden a diferentes configuraciones formales y a distintos comportamientos energéticos. En función de su forma pueden clasificarse en puentes regulares, cuando están confinados entre caras planoparalelas y perpendiculares a la fachada, o irregulares, cuando no se cumple esa condición (Fig. 1). Sin embargo, su clasificación más generalizada, por tratarse de la que aporta mayor interés, se basa en su comportamiento energético, con lo que se denominan puentes térmicos simples o de heterogeneidad superficial simple y puentes térmicos complejos o de heterogeneidad superficial compleja. La heterogeneidad que se menciona en esta clasificación hace referencia al diferente comportamiento térmico que se produce en el cerramiento, pues en el caso de modificarse los materiales de la fachada o su espesor, la nueva solución puntual difícilmente conserva las características térmicas del resto del cerramiento. Este efecto

F. JAVIER NEILA GONZALEZ
y CESAR BEDOYA FRUTOS
*Dpto. de Construcción y
Tecnología Arquitectónicas.
ETSAM. UPM*

(1) En la actualidad se está investigando en materiales aislantes transparentes; una vez comercializados, estos materiales permitirán que los vidrios de las ventanas alcancen resistencias térmicas equivalentes a las de las zonas opacas, sin eliminar la visibilidad y el paso de la luz.

(2) J.C. Carrión y F. Sancho. Consideraciones sobre balances energéticos en edificación. MONTAJES E INSTALACIONES nº 203, pág. 45 a 52.

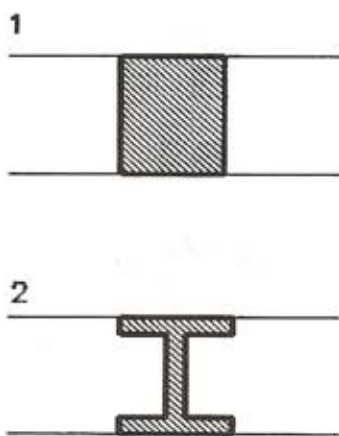


Fig. 1. Tipos de puentes térmicos.
1. Puente regular.
2. Puente irregular.

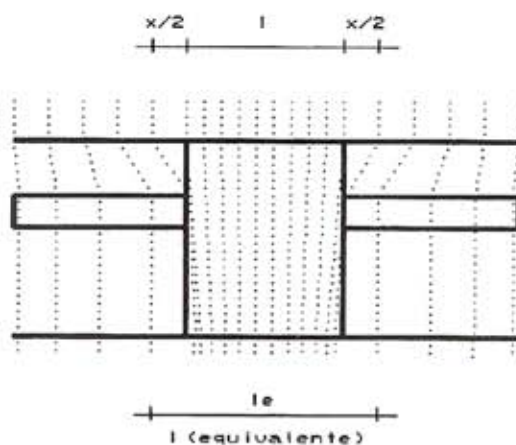


Fig. 2. Puente térmico regular, pero de heterogeneidad compleja al producirse en él flujos de calor laterales importantes.

se constata al analizar las diferencias de temperatura superficial entre el puente térmico y el resto de la superficie. En el caso de que no existan grandes modificaciones, es decir, en los cerramientos homogéneos, las líneas de flujo de calor que atraviesan el cerramiento lo harán perpendicularmente a la fachada, con lo que se crea un flujo unidireccional. Si no se conservan las características y el cerramiento es, por tanto, heterogéneo térmicamente, las líneas de flujo tenderán a curvarse buscando las zonas del cerramiento que les ofrezcan mayor facilidad, es decir, los puentes térmicos (Fig. 2). En este segundo caso el flujo de calor es bidireccional o, incluso, tridimensional si es una esquina.

Cuando el cerramiento es heterogéneo, el efecto térmico del puente es superior a su dimensión real en una cuantía variable denominada con la letra x en la figura 2, que da lugar a una dimensión virtual del puente denominada longitud equivalente, cuyo valor es la suma de la longitud real l y del valor del incremento, x . El aislante en esta zona pierde efectividad, pasando a formar térmicamente parte del puente térmico, que tomará el aspecto de un puente regular, pero de mayor dimensión. De este modo se puede analizar el problema con un modelo unidireccional en el que no hay flujo lateral.

El grado de homogeneidad o heterogeneidad de un cerramiento se cuantifica con el coeficiente de heterogeneidad superficial. Este coeficiente se calcula relacionando las diferencias de temperaturas entre el ambiente y la superficie de la pared en la zona del puente y en la zona normalmente aislada, mediante la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{T_i - T_{si}^p}{T_i - T_{si}^n} \quad (1)$$

En esta expresión T_i es la temperatura interior, T_{si}^p la temperatura superficial interior a la altura del puente térmico y T_{si}^n la temperatura superficial interior en la zona normalmente aislada.

Las temperaturas superficiales, tanto la exterior, como la interior son función de la resistencia térmica superficial exterior o interior de la capa límite (3), del coeficiente de transmisión de calor del cerramiento y de la diferencia de temperaturas entre los ambientes interior y exterior.

$$T_{si} = T_i - \frac{K}{h_i} \cdot (T_i - T_e) \quad (2)$$

$$T_{se} = T_e + \frac{K}{h_e} \cdot (T_i - T_e) \quad (3)$$

La relación entre las temperaturas superficiales y los puentes térmicos es absoluta, ya que surge en las zonas donde existe un diferente coeficiente de transmisión de calor, y las temperaturas superficiales son función de un sumando directamente proporcional al coeficiente K . Estas temperaturas también están relacionadas directamente con los coeficientes superficiales de transmisión de calor y con el salto térmico, pero ambos son idénticos para cualquier

(3) En las capas de aire próximas a los sólidos, denominadas capas límite, el movimiento del aire se realiza a una velocidad inferior a la de la zona libre, con un gradiente que va desde una velocidad cero, en contacto con el sólido, a la de libre movimiento; su dimensión está entre 12 y 19 mm.

zona del cerramiento que conserve su posición, forma y orientación (4). Se considera que un cerramiento es heterogéneo térmicamente cuando el coeficiente de heterogeneidad de la temperatura superficial interior es superior a 1,50, en fachadas ligeras, e igual o inferior a 2,00, en fachadas pesadas (5).

3. Efectos térmicos del puente

La longitud virtual de un puente térmico depende del grado de heterogeneidad de la fachada en la que se encuentre. Cuanto mayor sea la heterogeneidad, es decir mayor sea la diferencia entre la temperatura superficial en el puente y en el resto, mayor tendencia tendrán las líneas de flujo a escapar por el puente y, por tanto, mayor será el incremento x que habrá que aplicar y mayor será el efecto del puente. Sin embargo, si el grado de heterogeneidad es pequeño, al existir una menor diferencia entre las resistencias térmicas de las distintas zonas del cerramiento, las líneas de flujo no tendrán tanta necesidad de buscar puntos específicos de salida; por este motivo el efecto del puente térmico es mayor en los cerramien-

(4) Los coeficientes superficiales de transmisión de calor dependen fundamentalmente de la posición del cerramiento, por su relación con el movimiento convectivo del aire, pero también de la forma, textura y grado de exposición al viento.

(5) La NBE-CT 79 considera fachada ligera la que tiene un peso igual o inferior a 200 kg/m². Un cerramiento formado por medio pie de ladrillo perforado, 5 cm de aislante, un tabique de ladrillo hueco sencillo y un tendido de yeso pesa 265 kg/m², por tanto, es una fachada pesada.

tos muy aislados que en los poco aislados.

En la Tabla I (6) se muestran los valores del incremento x que hay que aplicar a un puente térmico. Los valores de este incremento son función, según se muestra en la figura 3, de los espesores de cerramiento que existen entre el aislamiento y la cara interior (e_i) y entre el aislamiento y la cara exterior (e_e). Estos valores son válidos para cerramientos con un material aislante cuya conductividad térmica sea inferior a $0,060 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, prácticamente todos los aislantes, y en los que la distancia entre puentes sea superior a tres veces la anchura del muro, también algo totalmente habitual.

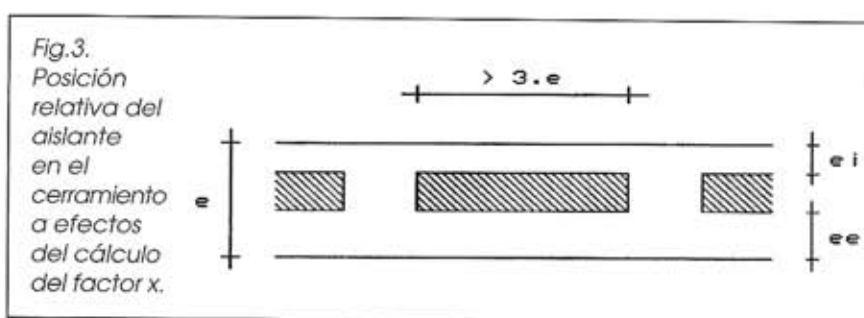
Como se aprecia en la Tabla I, los incrementos superiores se producen en los muros de mayor espesor, ya que en ellos se alcanzan mayores resistencias térmicas, y para una relación entre espesores de 0,5, es decir, el aislamiento situado exactamente en el centro del cerramiento.

4. Criterios de cuantificación de los efectos de los puentes térmicos

Los puentes térmicos afectan a la habitabilidad de los locales donde se encuentran de diferentes maneras, por lo que es necesario analizar su efecto también desde distintos puntos de vista. Los puentes térmicos afectarán al consumo energético del local, ya que son puntos térmicamente débiles por los que se pierde el calor más rápidamente; afectarán al bienestar, ya que en ellos, al alcanzarse temperaturas superficiales más bajas que en las zonas normalmente aisladas, se incrementan las pérdidas del cuerpo por radiación y se reduce la temperatura media radiante del local (7); y afectará a la patología del cerramiento, ya que el riesgo de

(6) Los datos de la Tabla I, que se han obtenido de la NBE-CT 79, sólo son aplicables al caso concreto para el que se generaron; sin embargo, al tratarse de cantidades siempre reducidas pueden generalizarse sin alteraciones significativas.

(7) Al reducirse la temperatura media radiante de un local es necesario aumentar la temperatura ambiente para compensar, mediante la convección, el incremento de pérdidas por radiación que se producen, lo que supone un mayor consumo energético.



condensaciones superficiales es mayor en los puntos en los que la temperatura superficial es más baja.

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 que casos su efecto es realmente negativo o cuando su influencia es menor o nula. Las comprobaciones necesarias deben hacerse sobre los aspectos mencionados en el párrafo anterior:

- EE Efecto energético
- EB Efecto sobre el bienestar
- EP Efecto patológico

La primera de estas comprobaciones se realiza aplicando la expresión (1), para analizar el grado de heterogeneidad de la fachada. Deben cumplirse las siguientes limitaciones:

- EE = $\rho \leq 1,50$ (fachada ligera)
- EE = $\rho \leq 2,00$ (fachada pesada)

La segunda de las comprobaciones se hace cuantificando el efecto que tiene sobre el bienestar el incremento de las pérdidas por radiación hacia el puente. Una reducción máxima de la temperatura del puente con respecto a la temperatura de la pared aislada de 2 a 4°C puede considerarse aceptable. Teniendo en cuenta que mientras en un cerramiento aislado la temperatura superficial interior es de 1 a 2 grados inferior a la del ambiente, en la zona del puente podrá ser de 4 a 5 grados inferior. Esto se puede cuantificar mediante la expresión (4), son aceptables los resultados inferiores a $0,25$.

$$EB = \frac{T_i - T_{st}^p}{T_i - T_e} < 0,25 \quad (4)$$

La tercera y última de las comprobaciones consiste en analizar el riesgo de condensaciones en los puentes térmicos (8). El cálculo preciso de este riesgo se efectúa comprobando si la temperatura de rocío es superior a la temperatura superficial de la pared a la altura del puente, caso en el que habría condensaciones. Sin embargo, de una forma aproximada, al no producirse habitualmente condensaciones superficiales para diferencias entre la temperatura de la pared y la del ambiente inferiores a 4°C , se puede comprobar aplicando la siguiente expresión:

$$EB = \frac{T_i - T_{st}^p}{4} < 1,00 \quad (5)$$

Si se aplican estas expresiones a un caso concreto para

(8) Las condensaciones superficiales sobre puentes térmicos son las más peligrosas de todas, ya que al depositarse las humedades sobre una superficie reducida, su efecto es mucho mayor que si la misma cantidad de agua se repartiera sobre toda la superficie del cerramiento.

Tabla I
Incrementos de la longitud del puente térmico (cm)

$\frac{e_i}{e_i + e_e}$	$e_i + e_e$		
	$\leq 10 \text{ cm}$	15 cm	$\geq 20 \text{ cm}$
0*	1,9	2,0	2,9
0,1	5,1	6,0	7,9
0,2	7,2	8,9	10,8
0,3	8,5	10,4	12,5
0,4	8,9	11,2	11,4
0,5	9,1	11,4	13,6
0,6	9,1	11,2	13,4
0,7	8,9	10,9	12,2
0,8	8,2	10,1	12,3
0,9	7,3	8,9	10,8
1,0**	5,8	7,2	8,8

*: Aislamiento interior. **: Aislamiento exterior



comprobar los resultados, un cerramiento formado por medio pie de ladrillo perforado, 6 cm de material aislante, un tabique de hueco sencillo y un tendido de yeso interior de 1 cm, su coeficiente de transmisión de calor y sus temperaturas superficiales tienen los siguientes valores:

$$K^n = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{si}^n = 18,96 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{se}^n = -2,43 \text{ }^\circ\text{C}$$

Si en ese cerramiento existiera un puente térmico formado por un soporte de hormigón armado embebido en la fachada en toda su profundidad y con su mismo espesor, únicamente recubierto interiormente por el tendido de yeso, los valores anteriores diferirán notablemente:

$$K^p = 2,90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{si}^p = 12,66 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{se}^p = 1,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

Los tres coeficientes mencionados anteriormente toman los siguientes valores (9):

$$EE = 7,06 < 2,00$$

$$EB = 0,32 < 0,25$$

$$EP = 1,84 < 1,00$$

Ninguno de los tres coeficientes se encuentra dentro de los límites adecuados. Por tanto, este puente térmico debe corregirse para evitar las condensaciones, que en él se van a producir, y los problemas energéticos y relativos al bienestar. Si el puente térmico se cubriera interiormente pegando un aislante rígido, del tipo del vidrio celular, sólo con 2 cm de espesor, se obtendrían los siguientes resultados.

$$K^p = 1,25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{si}^p = 16,84 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{se}^p = -1,28 \text{ }^\circ\text{C}$$

(9) Para unas condiciones de temperatura exterior de -3°C e interior de 20°C .

Los nuevos valores de los coeficientes para el puente aislado de este modo son:

$$EE = 3,03 < 2,00$$

$$EB = 0,14 < 0,25$$

$$EP = 0,79 < 1,00$$

Con esta corrección, los efectos negativos del puente térmico se habrían reducido notablemente. Habría desaparecido el riesgo de condensaciones superficiales y la pérdida notable del nivel de bienestar, pero no se habría eliminado el efecto energético, ya que su coeficiente de heterogeneidad sería aún demasiado alto. La corrección definitiva, que llevaría este coeficiente a su valor máximo de 2,00, se podría alcanzar con un aislamiento de 4 cm aproximadamente.