



El aislamiento de los puentes térmicos en la construcción (y II)

5. Coeficientes de transmisión de calor de los puentes térmicos

El cálculo de la carga térmica de un local comprende dos sumandos: las pérdidas por transmisión y las pérdidas por renovación de aire. La expresión con la que se calcula el primer sumando es la siguiente:

$$\Sigma K \cdot S \cdot \Delta T$$

En este sumatorio se incluyen los diferentes elementos que constituyen el cerramiento: ventanas, puertas, muros, capialzados, etc. Lógicamente, aquí deben tenerse en cuenta los puentes térmicos con su superficie virtual y su coeficiente de transmisión de calor.

Dado que la dimensión virtual del puente afecta a la dimensión del muro en el que se encuentra, una valoración global del muro, en la que se incluya zona aislada y puente, y para la que se obtendría un coeficiente de transmisión de calor medio, puede resultar muy cómodo ⁽¹⁰⁾. Este coeficiente medio tomará la siguiente forma:

$$\begin{aligned} K_{\text{medio}} &= \frac{\Sigma K \cdot S}{\Sigma S} = \\ &= \frac{K_n \cdot l_n \cdot h + K_p \cdot l_p \cdot h}{(l_n + l_p) \cdot h} = \\ &= \frac{K_n \cdot l_n + K_p \cdot l_p}{L} \quad (6) \end{aligned}$$

en la que:

K_n : Coeficiente de transmisión de calor de la zona del muro normalmente aislada ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

l_n : Longitud virtual de la zona normalmente aislada (m).

K_p : Coeficiente de transmisión de calor de la zona del muro normalmente aislada ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

l_p : Longitud virtual del puente térmico (m).

h : Altura interior del cerramiento (m).

L : Longitud total del cerramiento (m).

Si se desarrolla esta expresión para un puente térmico creado por un soporte de hormigón de forma regular paralelepédica (Fig. 4), y se incorpora el incremento x , se obtiene:

$$\begin{aligned} K_{\text{medio}} &= \frac{K_n \cdot (L - l - x) + K_p \cdot (l + x)}{L} = \\ &= \frac{K_n \cdot L + (K_p - K_n) \cdot (l + x)}{L} \\ K_{\text{medio}} &= K_n + (K_p - K_n) \cdot \\ &\cdot \frac{l + x}{L} \quad (7) \end{aligned}$$

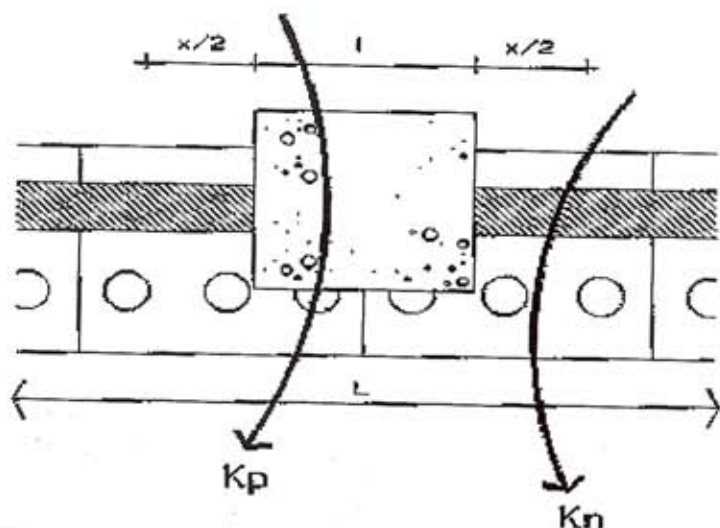
El segundo sumando de la expresión (7) es el incremento que se produce sobre el valor del K del muro, si en éste no hubiera ningún puente térmico. Este incremento aumenta al crecer el coeficiente de transmisión de calor del puente (K_p), como era previsible. También es tanto mayor cuanto mayor

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

⁽¹⁰⁾ La 1ª parte de este artículo se publicó en el número 280, enero de 1995.

⁽¹⁰⁾ Esto únicamente será válido cuando sólo exista un puente térmico, sea de tipo vertical y cubra totalmente la altura del muro; si existe más de un puente térmico, el valor de K del muro que debe utilizarse en las siguientes expresiones será el valor medio obtenido con el caso anterior.

Fig. 4. Puente térmico formado por un soporte de hormigón embebido en la fachada.



sea la longitud del puente (l) y cuanto menor sea el muro en el que se encuentra (L). Pero también aumenta al disminuir el coeficiente de transmisión de calor de la zona del muro normalmente aislada (K_n).

Esto demuestra la afirmación realizada con anterioridad, en la que se decía que el efecto del puente térmico era mayor en los cerramientos muy aislados, K_n pequeño, que en los cerramientos poco aislados, K_p grandes; en una situación límite, al estar la zona normal igual de mal aislada que la zona del puente y al ser sus coeficientes de transmisión de calor iguales, este sumando sería nulo.

En un tratamiento singular están los soportes metálicos embebidos en fachada, por tratarse de puentes de formas irregulares y con una elevada conductividad térmica. La NBE-CT 79 propone un coeficiente de transmisión de calor para estas piezas que las asi-

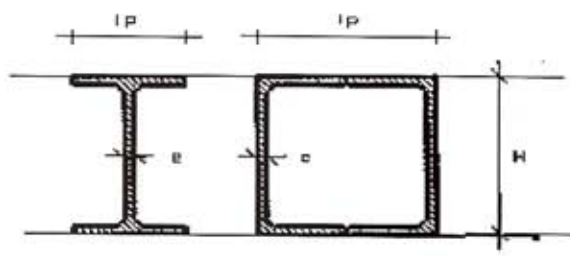
mila a piezas de heterogeneidad simple en las que la anchura equivalente del puente es la propia longitud del ala del perfil. Se incorpora, de este modo, en el valor de la resistencia térmica del puente el efecto secundario sobre las zonas del cerramiento colindantes. La expresión de la resistencia térmica total equivalente de un puente térmico formado por un perfil metálico IPN o IPE es la siguiente:

$$R_T = \frac{1}{K} = \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} \right) \cdot \frac{1}{1 + (e/l_p)} + \frac{H}{\lambda} \cdot \left(\frac{l_p}{e} + \frac{l_p}{H} \right) \quad (8)$$

En la expresión anterior, λ es el coeficiente de conductividad térmica de la pieza, que al tratarse de

acero es $58 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$; el resto de símbolos son los que aparecen en la figura 5. Otra pieza metálica habitual en cerramientos es el soporte formado por una doble UPN en cajón. Igualmente la NBE-CT 79 proporciona una expresión para su cálculo bajo las

Fig. 5. Puente térmico creado por soporte metálico embebido en la fachada.



mismas premisas que para la pieza anterior:

$$R_T = \frac{1}{K} = \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_c} \right) \cdot \frac{1}{1 + (e/l_p)} + \frac{H}{\lambda} \cdot \frac{l_p}{e} \quad (9)$$

Si en cualquiera de estas piezas el puente no llega a las caras interior o exterior del cerramiento y, por tanto, hay algún tipo de capa de cubrición, su resistencia deberá añadirse a la obtenida en las expresiones (8) y (9) para obtener el K definitivo.

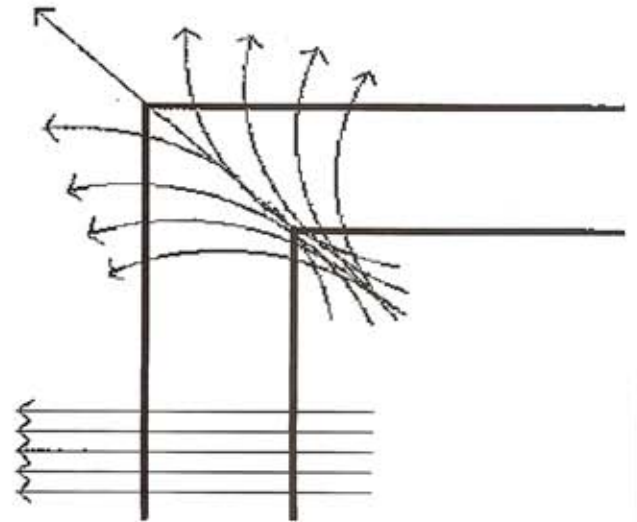
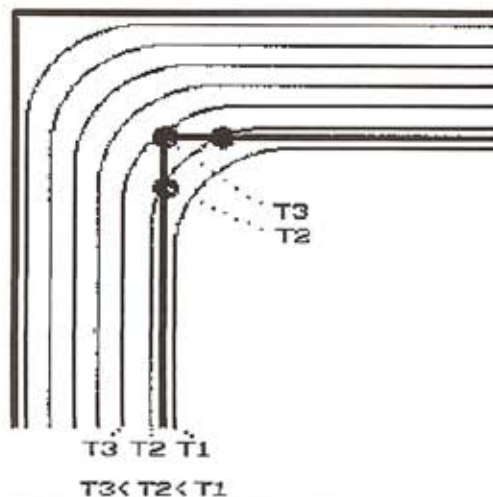
Zonas particularmente interesantes del edificio son los encuentros en esquina, pues, aunque en ellos no se produzca una discontinuidad de los materiales y, por tanto, no sean estrictamente puentes térmicos, en ellas se produce una disminución de la temperatura superficial. Este fenómeno se produce debido al aumento de superficie expuesta al exterior en relación con la zona interior. Mientras que por un fragmento de superficie interior se produce una salida de línea de flujo hacia una superficie exterior equivalente, en la esquina, por una línea interior, la del encuentro de los planos laterales, se produce la salida de líneas de flujo correspondientes a la superficie exterior de la esquina (Fig. 6). La proporción en este segundo caso es muy desfavorable, por lo que se produce una deformación de la isoterma, según se acerca a la esquina, y se reduce su temperatura superficial.

El coeficiente de transmisión de calor de un puente térmico de esquina se calcula de forma diferente si se trata de un puente homogéneo, generalmente aquel en el que no se produzca una ruptura del aislamiento (Fig. 7), o heterogéneo, cuando si existe esa ruptura, ya sea por la presencia de un soporte, caso muy habitual, o por cualquier otro motivo (Fig. 8).

Una forma simplificada de evaluar el cálculo del coeficiente de transmisión de calor de un puente térmico de esquina se logran al igualar las pérdidas de calor que

Fig. 6. Puente térmico de esquina.

T1: Temperatura superficial en la zona normalmente aislada.
 T2: Temperatura superficial cerca de la esquina.
 T3: Temperatura superficial en la esquina.



se producen por la superficie exterior de la esquina, evaluadas con un coeficiente de transmisión de calor superficial ($K \cdot S \cdot \Delta T$), con las que se producen a través de la esquina interior, evaluadas con un coeficiente de transmisión de calor lineal ($k \cdot h \cdot \Delta T$).

Si se trata de un puente homogéneo como el de la figura 7, la superficie exterior de enfriamiento se podría considerar coincidente con la dimensión real de la esquina (A), en cuyo caso la expresión

que iguala las pérdidas de calor queda del modo siguiente:

$$Q = K \cdot S \cdot \Delta T = k \cdot h \cdot \Delta T \quad (10)$$

$$K \cdot (2 \cdot A \cdot h) = k \cdot h$$

$$k = 2 \cdot A \cdot K \quad (11)$$

Si la esquina es heterogénea como la de la figura 8, la esquina tendrá una superficie adicional

cuantificable con el parámetro x , de tal modo que la expresión (10), de flujos de calor, se altera y pasa a ser:

$$K \cdot [(2 \cdot A + x) \cdot h] = k \cdot h$$

$$k = (2 \cdot A + x) \cdot K \quad (12)$$

El coeficiente de transmisión de calor superficial de la esquina será el valor medio para los diferentes recorridos que realicen las líneas de flujo, ya que en cada caso el recorrido, y por tanto el espesor

Fig. 7. Esquina con puente térmico homogéneo.

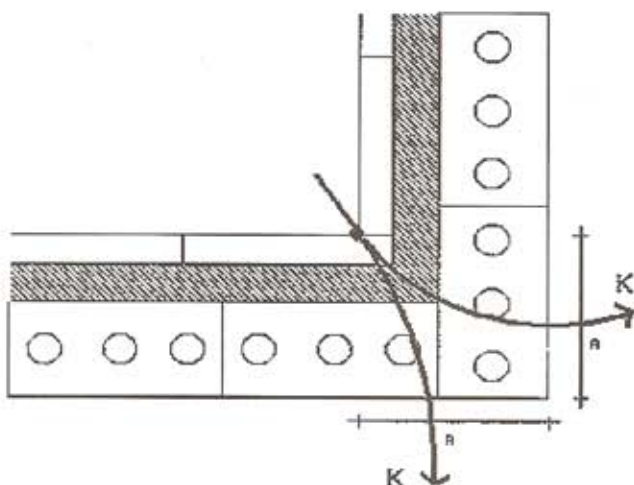
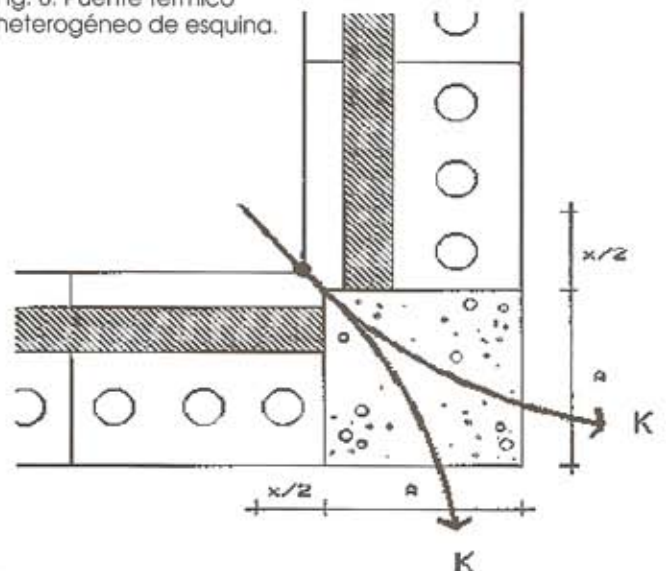


Fig. 8. Puente térmico heterogéneo de esquina.



aparente, es diferente. En la Tabla II se muestran algunos de los valores que toma este coeficiente de transmisión de calor para esquinas. Los dos casos que se analizan son, el primero, el de un soporte embebido de hormigón armado de forma cuadrada con una de sus caras en contacto con el ambiente exterior y un recubrimiento interior, según se muestra en la figura 8, y el segundo, con un recubrimiento exterior adicional de medio pie de ladrillo perforado de cara vista.

Otro punto singularmente problemático del edificio, fundamentalmente por su difícil solución, es el puente térmico que se produce en la cabeza del forjado. Si bien un soporte podría estar exento de la fachada, el forjado debe introducirse en el cerramiento para dar hermeticidad al interior del local, y aunque se podría dar continuidad al material aislante delante de la cabeza del forjado, esto supondría dejar en una posición de alta inestabilidad al elemento de fábrica que, por el exterior, debe proteger al material aislante.

El coeficiente de transmisión de calor medio de la fachada que incluye un puente térmico de forjado se calcula con la expresión (7), en la que L toma el valor de la altura libre de planta (h) más el canto del forjado (l).

$$K_{\text{medio}} = K_n + (K_p - K_n) \cdot$$

$$\frac{l+x}{L} = K_n + (K_p - K_n) \cdot$$

$$\frac{l+x}{l+h} \quad (11)$$

El valor del coeficiente de transmisión de calor a la altura de la cabeza del forjado es un valor difícil de obtener, ya que depende de la superficie de enfriamiento, que es la doble cara del forjado, de su longitud, de su conformación, de su espesor y de su dirección. Un valor orientativo, aplicable a la zona más próxima a la esquina, que es por la que más rápidamente se producirán pérdidas, es el de $2,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Por último, el capialzado precisa también de un tratamiento es-

Espesor del soporte o la esquina (cm)	Soporte de hormigón embebido en la esquina		
	Sí	No	
	Recubrimiento exterior		
	Sí	No	
15			2,45
20			2,05
25	1,83	2,82	1,76
30	1,72	2,55	1,55
35	1,62	2,33	1,38
40	1,52	2,15	1,24
45	1,44	1,99	1,13

pecial, ya que es el único puente térmico en el que no sólo se producen pérdidas por transmisión superiores a las del resto del cerramiento, sino que también se producen en él pérdidas de calor por infiltraciones al ser un elemento abierto al exterior. Su cálculo se realiza sobre la base de las mismas consideraciones expuestas hasta el momento, pero una vez obtenido el valor del K del puente deberá corregirse para adaptarlo al valor de un cerramiento con cámara de aire ventilada. El grado de ventilación se obtiene mediante la relación de la superficie de orificios, en centímetros cuadrados, con la longitud del puente en metros. Para un capialzado, el orificio es la apertura para la salida de la persiana, cuya dimensión, en función del tipo de persiana, es de 3 a

5 cm de ancho. Aplicando la relación a estos datos se obtiene:

$$\frac{S}{L} = \frac{(3 \text{ a } 5) \times 100}{1} = 300 \text{ a } 500$$

Estos valores corresponden, según la NBE CT-79, a una cámara de aire medianamente ventilada (11). La expresión de cálculo correspondiente a este caso es la siguiente:

(11) Se consideran cámaras débilmente ventiladas cuando la relación S/L es inferior a 20, medianamente ventiladas cuando está entre 20 y 500 y muy ventiladas cuando es superior a 500.

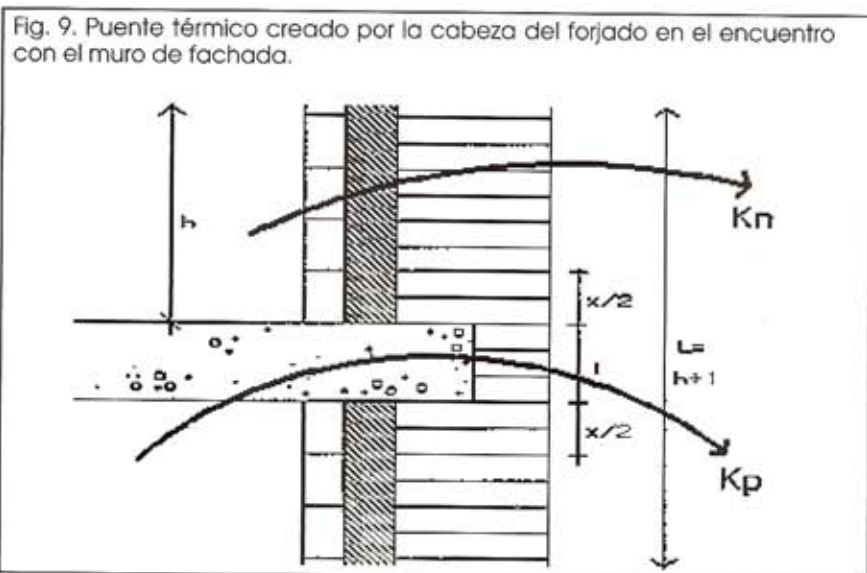


Fig. 9. Puente térmico creado por la cabeza del forjado en el encuentro con el muro de fachada.

$$K = \frac{1}{0,33 + R_i + R_e} + \alpha \cdot \left(\frac{1}{0,24 + R_i} - \frac{1}{0,33 + R_i + R_e} \right)$$

R_i y R_e corresponden a las resistencias térmicas de las caras interior y exterior del capialzado; es decir, la tapa del capialzado y el recubrimiento exterior. El valor del coeficiente α se obtiene de la Tabla III, en función de la relación de las resistencias de las capas interior y exterior del capialzado.

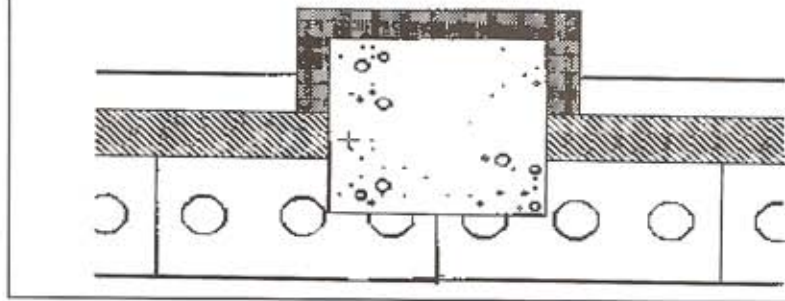
6. Soluciones constructivas

Habitualmente los puentes térmicos que se presentan en la construcción tienen difíciles soluciones, ya que de no ser así no existirían. La mayor parte de ellos, por no decir la totalidad, se resuelven al aplicar el aislamiento por el exterior. Este tipo de soluciones, que se encuentran perfectamente propuestas en el mercado, no son siempre de fácil aplicación, por ser más costosas que un aislamiento de tipo convencional y por condicionar excesivamente el aspecto exterior del edificio. Sin embargo, desde un punto de vista puramente energético, ésta es la respuesta para edificios existentes que precisan de una rehabilitación ambiental, ya que cualquier otra solución, inyectado en cámara, adosado interior de aislantes rígidos u otras más convencionales, plantean mayores problemas ⁽¹²⁾ y no eliminan los puentes térmicos.

(12) Con excepción de la inyección en cámaras, que únicamente será posible cuando existan, las demás reducen el espacio útil del local.

R_e/R_i	
<0,1	0,10
0,1-0,6	0,20
0,6-1,2	0,30

Fig. 10. Aislamiento de un soporte embebido por el interior del local.



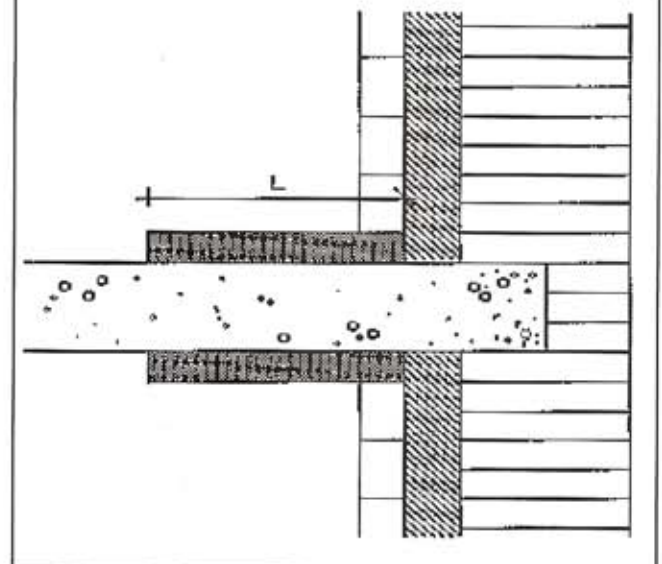
Cuando no sea posible aplicar el aislamiento por el exterior, se deberá recurrir a soluciones concretas para cada tipo de puente térmico. Algunos tienen soluciones relativamente sencillas; por ejemplo, una hornacina de radiador, si existe espacio entre el radiador y la pared puede aislarse con una placa de aislante de alta densidad y con un acabado reflectante para la radiación infrarroja emitida por el radiador.

Los capialzados de las persianas, en los que el problema es doble, transmisión e infiltraciones, tienen soluciones diversas, pues van desde la colocación del capialzado por el exterior, aunque esto acarrea problemas adicionales, a la utilización de cajas muy herméticas y aisladas, como las de PVC. En cajas existentes suele ser sencillo la colocación de un material aislante del estilo del poliestireno expandido pegado en los laterales del capialzado y en la tapa, ya que al tiempo que aumenta su resistencia térmica actúa como burlete y reduce las infiltraciones.

Cuando se trata de soportes empotrados, si no es posible situar un aislante entre él y el exterior por falta de espacio, se deberá cubrir por el interior forrando el soporte con un aislante denso y rígido que no precise de trasdosado; el vidrio celular suele

ser el más adecuado para esta aplicación (Fig. 10). Por último, las cabezas de los forjados pueden resolverse del modo descrito para los soportes, pero con la diferencia de que, en caso de no poder cubrirlo por el exterior, interiormente es imposible hacerlo del modo indicado en la figura 10. La solución alternativa es colocar dos bandas de aislante horizontal por encima y por debajo del forjado pegadas a la esquina (Fig. 11), de tal modo que las líneas de flujo, cuando no atraviesen el material aislante colocado hagan un recorrido muy grande a través del forjado para salvar el aislante. La dimensión L del aislante debe ser aquella que fuerce a un recorrido de las líneas de flujo a través del forjado y que ofrezca una resistencia térmica igual a la que existe en la zona aislada próxima a la esquina. Para un

Fig. 11. Aislamiento del puente térmico creado por la cabeza del forjado por el interior del local.





forjado convencional y un material aislante de resistividad térmica $0,035 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, la longitud es:

$$L = 34 \cdot e \quad (13)$$

Expresión en la que e es el espesor del aislante. Por ejemplo, para un espesor de 2 cm la longitud del aislante deberá ser 68 cm. Si el material aislante no tiene la conductividad prevista, el valor de L que se obtenga deberá multiplicarse por $0,035 \cdot \lambda$; λ es la nueva conductividad térmica. El espesor de aislante que debe colocarse es aquel que haga que el cerramiento

se convierta en homogéneo. Para ello habrá que aplicar las expresiones (1) y (2), en las que el valor de K es resultado de la nueva resistencia térmica total, suma de la propia del forjado y la adicional del aislante.

$$K = \frac{1}{0,42 + (e/\lambda)} \quad (14)$$

Expresión en la que e es el espesor del aislante en metros y λ su conductividad térmica. La utilización de un suelo radiante resuelve

en parte el puente térmico provocado por la cabeza del forjado, ya que precisa de una superficie aislante en la cara superior del forjado, si bien sería preciso disponer de un falso techo para poder colocar el aislante en la cara inferior.



TERASAKI



Alta tecnología aplicada a la baja tensión

TERASAKI, EN TECNOLOGÍA DE LA INTERRUPCIÓN DE ALTAS INTENSIDADES
EN REDES DE BAJA TENSIÓN, TOCA EL FUTURO.

TERASAKI ESPAÑA, S.A.

C/. Roma, s/n. 08400 GRANOLLERS (Barcelona) - Tel. (93) 879 60 50 Fax. (93) 870 39 05