

Damián Galmes y
Enrique Lantero, Arquitectos

Al proyectar cualquier tipo de edificio en el que se va a instalar un sistema de calefacción o refrigeración, el proyectista se ve obligado a decidir sobre una serie de aspectos constructivos, que influirán notablemente sobre el costo de mantenimiento, sin tener plena posesión de los datos que le permitan formar un criterio selectivo desde el punto de vista térmico.

Dos casos concretos lo constituyen los muros y las ventanas. El tipo de fábrica que se ha de emplear y los espesores en que se ha de construir, se fijan con criterios mecánicos, estéticos, económicos, etc., pero casi nunca térmicos. Una vez elegidos, el cálculo de la calefacción se hará sobre coeficientes de transmisión y otras características, perfectamente definidas por las exigencias mecánicas, económicas, etc., pero no por las térmicas.

En las ventanas, las pérdidas por transmisión no son apenas susceptibles de cambio alguno, pues la superficie de cristal necesaria viene determinada por la iluminación requerida. En cambio, el aire infiltrado en las juntas puede dar lugar a pérdidas muy apreciables, y aquí sí tiene importancia el tipo de ventana que se elija.

Estas ideas nos han llevado a hacer los dos estudios que siguen. Los resultados no serán rigurosamente exactos, pero permiten tener *a priori* una idea del comportamiento térmico de estos elementos, y con ello facilitar un mayor acierto en la selección de materiales y sistemas constructivos.

MUROS

El muro de un edificio es el principal aislante del ambiente interior.

Modernamente, con la construcción de estructuras portantes en acero u hormigón armado, ha perdido el muro su función mecánica para convertirse en un elemento de cierre. Con lo que resalta aún más la importancia de su valor aislante. Con aparente lógica se ha tendido a pensar que, en estas circunstancias, lo principal es su coeficiente de transmisión, y que, manteniendo éste dentro de valores aceptables, puede prescindirse de los grandes espesores a que su función mecánica obligaba antes. Por otra parte, el adelanto en la fabricación de materiales aislantes permite conseguir coeficientes bajos de transmisión con espesores muy reducidos. El resultado ha sido que en algunas escuelas radicales se asimila el muro, estático y permanente, con el cascarón o carrocería de un avión o automóvil. En éstos se reduce el peso al mínimo, porque esta reducción es vital y porque el régimen de ocupación de estos vehículos lo permite. En un edificio son diferentes estos dos factores, y por lo tanto no será válida ninguna solución que se base en condiciones y técnicas ajenas.

Desde el punto de vista térmico, los edificios pueden clasificarse en tres tipos:

- I) Temperatura interior constante o casi constante, a pesar de las variaciones exteriores, con flujo de calor o frío constante o nulo. Este tipo en su pureza es el que se presenta en las cuevas en verano. Más o menos adulterado es el tipo de primavera y verano en casi todos los edificios.
- II) Temperatura interior constante o casi constante, a pesar de las variaciones exteriores, con flujo de calor o frío variable y regulable. Este es el tipo de calefacción de los hospitales. En cierto modo, lo es también de las viviendas en invierno.
- III) Temperatura interior variable según un programa con flujo de calor o frío, también variable. Las condiciones exteriores, variables. Este tipo es el de las oficinas, industrias, salas de espectáculos y, en general, el de los locales de ocupación discontinua.

El régimen de casas de vivienda es más complejo, pues, aunque en invierno pertenece al tipo III), hay una serie de habitaciones que no pueden considerarse desocupadas, y en las que, por lo tanto, debe mantenerse una temperatura, si no constante, sí superior a un mínimo discreto. Puede decirse que en este caso el régimen de verano es de tipo I) y el de invierno una superposición de los II) y III).

De esta clasificación se deduce que los locales pueden agruparse según sean de temperatura interior constante o variable.

En el primer caso, la pérdida de calor depende casi exclusivamente del coeficiente de transmisión de los muros y de las variaciones de la temperatura exterior. Si el régimen es de tipo I), no tiene gran importancia la clase de muro que se emplee, siempre que el coeficiente de transmisión sea lo suficientemente bajo, pues el flujo constante de calor se calcula para suplir unas pérdidas también constantes.

En el caso II), el flujo intermitente tendrá tanta más importancia cuanto más sensible sea el muro a las variaciones externas. Si se construye con materiales de transmisión lenta, puede conseguirse que durante la fase en la que no se suministra calor no baje la temperatura, porque el muro actúa como regulador y cede el calor absorbido anteriormente. Debe tenerse en cuenta, además, que cuando la calefacción es discontinua la supresión del flujo coincide generalmente con las temperaturas exteriores mínimas, y así un muro de transmisión lenta retrasa el efecto y lo hace perceptible en el interior cuando la calefacción funciona y puede hacerle frente.

La velocidad de transmisión de un muro en horas viene dada por la expresión

$$h = \frac{\delta}{2} \sqrt{\frac{T}{\pi} \frac{\rho c}{\lambda}}$$

en que T es período de variación de la temperatura exterior (24 horas), λ = coeficiente de conductibilidad, ρ = peso específico y c = calor específico.

Es decir, para valores iguales de T y λ , el tiempo invertido en la transmisión es proporcional al producto ρc . En estos casos convienen muros de gran capacidad calorífica, cosa que generalmente se traduce en muros contruidos con materiales pesados.

En el caso de temperatura interior variable con flujo de calor variable, la economía se basa en reducir el período de calefacción al tiempo de ocupación. Esto requiere un sistema de construcción que reaccione rápidamente a los cambios. Los muros no deben absorber calor, pues así se evita, por un lado, un período de calefacción inútil, hasta la puesta en régimen, y, por otro, la cesión, también inútil, de las calorías del muro durante el tiempo de no ocupación. Conviene, por tanto, el empleo de muros de transmisión rápida, es decir, contruidos con materiales de poca capacidad calorífica.

Como consecuencia de lo visto en el cálculo de los muros como agentes térmicos, conviene introducir dos conceptos: A) coeficiente de transmisión, y B) velocidad de transmisión o inercia calorífica.

Para fijar ideas: Supongamos una habitación de hospital, con régimen de verano tipo I) y de invierno tipo II). La temperatura interior debe ser constante, a pesar de las variaciones exteriores. Nos conviene el empleo de muros lentos. Si debemos escoger entre el empleo del ladrillo o el corcho (siempre, naturalmente, con el mismo coeficiente de transmisión), optaremos por el de ladrillo, por su mayor lentitud de transmisión. Si se ha de emplear un muro mixto de ladrillo y corcho, debe colocarse el material más inerte, en este caso el ladrillo, hacia el interior.

Si se trata de una oficina con régimen de invierno tipo III), la solución será todo lo contrario: muros de conducción rápida, y si se trata de muros mixtos, disponerlos de modo que quede hacia el interior el material menos inerte.

El concepto de inercia del muro es casi equivalente al de tiempo de transmisión, y responde a la expresión

$$\sqrt{I} = \frac{\delta}{\lambda} \sqrt{\lambda \rho c} = \delta \sqrt{\frac{\rho c}{\lambda}}$$

en la que I es la inercia calorífica, δ = espesor del material en metros, λ = coeficiente de conductibilidad, ρ = peso específico y c = calor específico.

A continuación exponemos un método gráfico de R. Dupuy, ingeniero E. C. P., publicado en la revista *Oeuvres et Maîtres d'Oeuvre* (diciembre-enero, 1948), que permite establecer los espesores óptimos en muros homogéneos y muros mixtos.

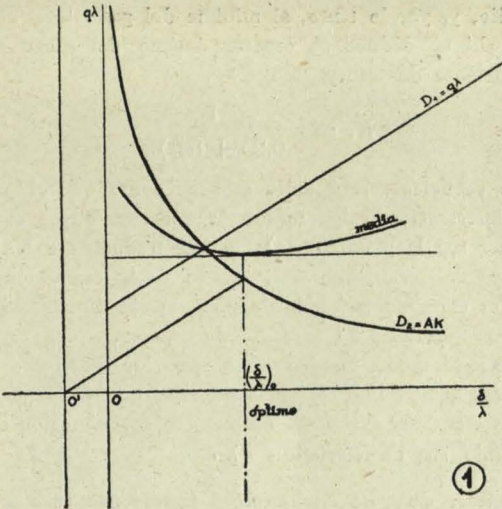
El gasto total anual que corresponde a un muro exterior se compone de dos términos. El primero es el coste de ejecución reducido a una anualidad, y que admitimos puede expresarse:

$$D_1 = p + q \delta$$

en que p y q son constantes que dependen del material y δ es el espesor en metros.

El segundo es el coste de calefacción, que comprende:

a) Consumo de combustible.



- b) Gastos de instalación de calefacción reducidos a una anualidad.
- c) Gastos de mantenimiento.

Este término lo expresamos como proporcional al coeficiente de transmisión K :

$$D_2 = AK,$$

en que A es una constante que depende del régimen de calefacción y K el coeficiente de transmisión.

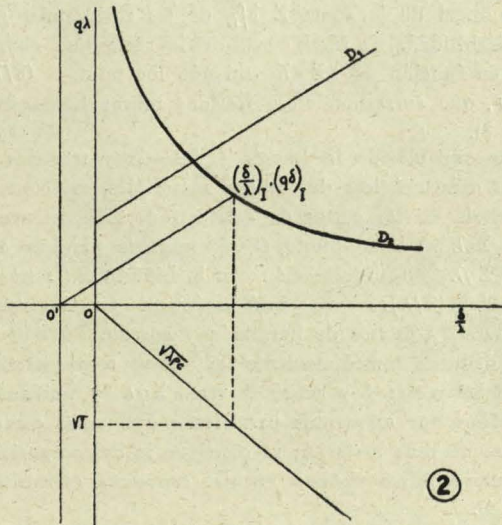
Expresando D_1 en función de δ/λ , tendremos:

$$D_1 = p + q \lambda \frac{\delta}{\lambda},$$

y la representación gráfica de D_1 y D_2 será así: para D_1 una recta de pendiente $q \lambda$, y para D_2 una hipérbola equilátera cuyos ejes son el de abscisas y una paralela al de ordenadas que pasa por el punto O' , tal que $OO' = 1/a_i + 1/a_e$ (fig. 1).

El gasto medio total correspondiente a un valor δ/λ , y por lo tanto a un espesor δ de muro, viene dado por la ordenada de la mitad del segmento interceptado entre la recta D_1 y la hipérbola D_2 .

Se demuestra que si por O' trazamos la paralela a D_1 el punto de intersección con la hipérbola nos dará el valor $(\delta/\lambda)_o$, correspondiente al mínimo del gasto



medio, y, por lo tanto, al mínimo del gasto total anual. De ahí se deduce el espesor óptimo del muro y su coeficiente de transmisión K :

$$K_0 = \frac{1}{0,25 + (\delta/\lambda)_0}$$

Este coeficiente será tanto menor cuanto que el punto de intersección caiga más a la derecha, o sea cuanto menor sea la pendiente $q\lambda$, lo que traducido a los términos del problema real, quiere decir cuanto menor sea el coste de la unidad suplementaria de aislamiento que proporciona un aumento de espesor.

De este modo pueden clasificarse los diferentes materiales comparando los gastos totales que corresponden a sus espesores óptimos o en primera aproximación comparando sus características $q\lambda$.

Espesor deseable en un muro homogéneo para una inercia calorífica dada

Prolongando hacia abajo el eje de los gastos, trazamos en el nuevo cuadrante la recta de pendiente $\sqrt{\lambda\rho c}$, característica del material considerado (fig. 2).

A cada valor de δ/λ corresponde en esta recta el valor $\delta/\lambda \sqrt{\lambda\rho c} = \sqrt{I}$, en el que I es la inercia calorífica.

A cada valor de I corresponderá un valor δ/λ , que será, en general, diferente del óptimo.

Esta construcción permite elegir entre varios materiales el que proporciona la lentitud térmica deseada con la mayor economía.

Asociación de dos materiales para obtener un muro mixto de lentitud térmica dada y coste mínimo

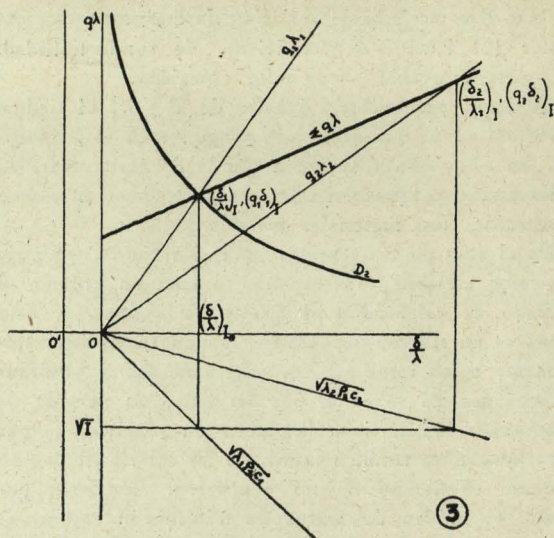
Se trata de averiguar si cuando disponemos de dos materiales diferentes, por ejemplo hormigón y corcho, resulta interesante el empleo de los dos asociados, y, si es así, qué espesores de cada uno de ellos resultarán más económicos.

Admitimos que la parte constante del coste de ejecución (p) es la misma para el hormigón, el corcho y el muro mixto. Si no fuera así, se introducen las correcciones necesarias en los datos del problema.

Se demuestra por medio de una construcción sencilla que para todos los muros de inercia térmica I constituidos por estos dos materiales, la suma $\Sigma q\lambda$ de los términos variables del coste de ejecución es una función lineal de la suma $\Sigma \delta/\lambda$ de las resistencias a la permeabilidad. Es fácil construir la recta que expresa ésta en función de $\Sigma q\lambda$ uniendo los puntos $(\delta/\lambda)_I$, $(q\delta)_I$, que corresponden a los dos muros homogéneos (fig. 3).

Una vez elegida la inercia I deseada y trazadas las rectas características de los dos materiales, así como la hipérbola de los costes de calefacción, se construye la recta $\Sigma q\lambda$. Por el punto O' se traza la paralela a la recta $\Sigma q\lambda$, y la intersección con la hipérbola D_2 nos da el valor $(\delta/\lambda)_0$, que será el óptimo para los muros de inercia I mixtos de hormigón y corcho.

Se deducen inmediatamente los puntos representativos sobre las rectas I y sobre la recta $\Sigma q\lambda$, y uniéndolos al origen por segmentos paralelos a las rectas características de cada material, se consigue la descomposición del muro mixto óptimo en sus espesores elementales (fig. 4).



Otra propiedad notable es que la pendiente de la recta $\Sigma q\lambda$ no depende de I , y, por lo tanto, en realidad $(\delta/\lambda)_0$ corresponde al óptimo de todos los muros de la misma lentitud térmica formado con estos dos materiales, sea cual sea el valor común de I .

Por consiguiente, fijado el valor $(\delta/\lambda)_0$ para dos materiales, pueden clasificarse las inercias como sigue:

Inercias menores que I , para ellos es mejor el empleo del material ligero solo.

Inercias mayores que I , para ellos es mejor el empleo del material pesado solo.

Para los muros cuyas inercias estén comprendidas entre estos dos valores, resulta mejor el empleo del muro mixto.

Se comprueba que el interés de la asociación de materiales será mayor cuanto más próximos sean los valores $q\lambda$ (coste de la unidad suplementaria de aislamiento), pues en ese caso será más tumbada la recta $\Sigma q\lambda$, y, por lo tanto, más bajo el coste total anual.

Se comprueba también que cuanto más diferentes sean los productos $\lambda\rho c$, que definen la inercia propia de cada material, más amplio será el campo de interés de la asociación.

(Continuará.)

