



PRIMERA PARTE: Aislamiento térmico y comportamiento energético de los edificios. Definiciones básicas. Conductividad térmica de los aislamientos frente al resto de materiales de construcción. Espesores *económicos* de un aislamiento térmico. Exigencias en la normativa.

- ¿POR QUÉ AISLAR?.
- ¿CÓMO LOGRAR EL CONTROL TÉRMICO DEL EDIFICIO?.
- ¿QUÉ PAPEL TIENEN LAS INSTALACIONES Y LOS EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO?.
- ¿CÓMO FUNCIONA UN AISLAMIENTO TÉRMICO?.
- ¿QUÉ SIGNIFICAN LAS UNIDADES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA?.
- ¿CON QUÉ PRESTACIONES TÉRMICAS SE PUEDE HABLAR PROPIAMENTE DE UN AISLAMIENTO TÉRMICO?.
- ¿QUÉ INCIDENCIA TIENE EL AGUA EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS MATERIALES?.
- ¿ES EL AIRE UN AISLAMIENTO TÉRMICO?.
- ¿EN QUÉ MEDIDA SON AISLAMIENTOS TÉRMICOS LOS LADRILLOS O BLOQUES MULTIALVEOLARES?.
- ¿Y EL HORMIGÓN CELULAR?.
- ¿ES UN AISLAMIENTO REFLECTANTE UNA FORMA EFECTIVA DE REDUCIR LA TRANSMISIÓN TÉRMICA?.
- ¿INTERESA AISLAR CUANTO MÁS MEJOR?.
- ¿SE HA ALCANZADO EL ESPESOR *ECONÓMICO* DE AISLAMIENTO EN LA EDIFICACIÓN ESPAÑOLA?. ¿CUÁL ES EL ESPESOR *ECONÓMICO*?.
- ¿QUÉ EXIGENCIAS NORMATIVAS HAY VIGENTES EN ESPAÑA?.
- ¿QUÉ VA A PASAR CON LA NBE CT-79 A PARTIR DE AHORA?.
- ¿QUÉ EXIGENCIAS HAY EN LOS CÓDIGOS TÉCNICOS DE LA EDIFICACIÓN (CTE) RESPECTO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO?.

¿POR QUÉ AISLAR?

En la adaptación al medio, el ser humano se diferencia del resto de seres vivos por una actividad incesante por la que el propio medio es transformado, para adecuarlo a las necesidades humanas. Así la cabaña más primitiva muestra ese acondicionamiento del entorno para que llegue a ser el lugar del hombre. Se trata de marcar el territorio, segregando la parte de él que nos pertenece. Se ve, por tanto, que, desde los orígenes, la propia habitación del hombre incluye esa idea fuerte de *aislarse*.

El hombre ha buscado siempre, dentro de las limitaciones de cada lugar y época, acercarse a una situación de *comfort*, en la que la variable *térmica* es clave. A tal fin, el control del fuego pudo suponer un primer gran paso. Pero el ser humano vio también que la madera que quemaba –y se perdía en la combustión– podía emplearse de manera más *eficaz y duradera* como material de construcción para levantar su casa. Hoy día los criterios medioambientales de *sostenibilidad* son la traducción actual de un pensamiento que nunca debe ser económico a secas sino que comporta el uso adecuado de los recursos y un ecológico “menos es más“. Y uno de los elementos fundamentales para lograrlo en la construcción es el aislamiento térmico.

¿CÓMO LOGRAR EL CONTROL TÉRMICO DEL EDIFICIO?

Como se ha indicado, un edificio se separa del continuo del entorno natural y crea unas condiciones internas más o menos controladas. Cualquier material de construcción que forme los muros, cubierta y suelo del edificio “aisla” del exterior en ese sentido de separar. La eficacia térmica de tal separación depende de varios factores:

- La configuración del edificio, adaptado a las condiciones del lugar: topografía, vegetación, orientación, soleamiento, vientos y lluvias dominantes, etc., etc. Este factor, con o sin arquitecto, forma parte del *proyecto de arquitectura* del edificio. La casa con patio mediterránea es un buen ejemplo dentro de la arquitectura vernácula. Las solanas de las regiones cantábricas también. Por otro lado, se interrelaciona grandemente con la manera de urbanizar. Pero aquí subimos a esferas de política y economía de gran escala, fuera del objeto que nos mueve.
- La inercia térmica de la construcción. En función de las condiciones locales podrá interesar contar con mayor o menor capacidad calorífica. Cuanta mayor inercia térmica tenga el edificio, es decir, cuanta mayor capacidad calorífica, más estable será la construcción ante los cambios de temperatura exteriores. Ésto es especialmente aplicable a climas extremos y con intensa radiación solar.
- La ventilación de la superficie envolvente. En climas de intensa radiación solar, o con problemas de elevada humedad, la ventilación de la superficie envolvente equivale a poner dos pieles entre el interior y el exterior, en vez de una. Beneficioso a efectos de disipar el calor, en climas con gran radiación solar, y de secar cualquier humedad retenida en la envolvente, en climas con muchas precipitaciones y fuentes de humedad en general.

- El color de las superficies exteriores de la envolvente. Importante de cara a controlar el efecto de la radiación solar, mayor con colores oscuros –mayor absorción de radiación-, menor con colores claros.
- El aislamiento térmico de la envolvente, tema de este documento.

¿QUÉ PAPEL TIENEN LAS INSTALACIONES Y LOS EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO?

No incluimos, como epígrafe bajo la pregunta anterior, las diversas instalaciones y equipos de acondicionamiento (calefacción y refrigeración) puesto que, como se echa de ver, todos los factores anteriores se refieren a la arquitectura y la construcción del edificio *per se*, antes de incorporar ninguna máquina. Además, volviendo al símil de la cabaña primitiva que evita quemar la madera y la organiza en una estructura duradera (construcción, arquitectura), los criterios de *sostenibilidad* pasan, entre otras cosas, por dar el mínimo dimensionamiento posible a estas máquinas que queman y consumen recursos y emiten contaminantes a la atmósfera. La antorcha de los tiempos modernos quiere una llama lo más pequeña posible. Menos es más, de nuevo. La mejor energía es la no consumida.

Hay otros dos factores por los que los equipos de acondicionamiento son soluciones menos robustas y eficaces que las intervenciones hechas, como el aislamiento térmico, desde un principio, en la construcción del edificio:

- Si la vida útil de un edificio tiene un horizonte temporal de varias décadas (50 años es una cifra manejada habitualmente), los equipos se tienen que renovar mucho antes y, en todo caso, su rendimiento depende de que tengan los mantenimientos adecuados. Todo ello son costes adicionales *diferidos*, mientras que una envolvente bien construida, bien aislada en este caso, esta “hecha para siempre”.
- La normalización y certificación de productos no ha prosperado al mismo ritmo en los diversos productos y materiales. De hecho, la comparación, p.ej., entre el nivel alcanzado en los aislamientos térmicos y el alcanzado en las instalaciones es totalmente favorable a los aislamientos. Ésto permite asegurar una calidad fiable, en el caso de los aislamientos.

¿CÓMO FUNCIONA UN AISLAMIENTO TÉRMICO?.

Reduciendo *intensamente* la Transmisión Térmica (valor U, antiguo coeficiente K) a través de la superficie envolvente del edificio. Se puede ver desde la inversa, la Resistencia Térmica, que es, así, aumentada todo lo posible:

$$R = \frac{l}{U} = \frac{\text{espesor}}{\text{conductividad}} \quad \left[\frac{m}{W/(m \cdot K)} \right] = [(m^2 \cdot K)/W]$$

Si decimos “intensamente” es porque hay que diferenciar las prestaciones térmicas ofrecidas por un aislamiento térmico como tal, de las ofrecidas por cualquier otro material de construcción. El valor que define dichas prestaciones es la *conductividad térmica*, λ (lambda), y en la fórmula anterior se puede obtener una R para cualquier material, puesto que no hay ninguno tan superconductor del calor como para tener una

conductividad infinita. Del mismo modo no existe ningún super aislante que corte absolutamente el flujo de calor con una conductividad nula (= 0).

¿QUÉ SIGNIFICAN LAS UNIDADES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA?

Las unidades de conductividad térmica expresan, para un espesor unitario [m], la energía por tiempo [W =Vatio], por unidades dimensionales de superficie [m²], y por grado de diferencia de temperatura [K = Kelvin]. Como se ve, son unidades fácilmente traducibles en términos de energía por metro cuadrado [kWh/m²] una vez que se ha determinado un período de tiempo [horas] y un salto térmico [grados] válido para ese período.

¿CON QUÉ PRESTACIONES TÉRMICAS SE PUEDE HABLAR PROPIAMENTE DE UN AISLAMIENTO TÉRMICO?

Los aislamientos térmicos presentan valores muy bajos de conductividad y aíslan térmicamente de un modo especialmente “intenso”, con una diferencia respecto de los demás materiales que es de orden de magnitud, como se puede ver a continuación (datos procedentes de la NBE-CT-79 y de la Agencia Internacional de la Energía):

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD [W/(m·K)]	TÉRMICA
Metales	35 (plomo)-384 (cobre)	
Hormigón	1.63-2.74	
	<i>Agua</i>	<i>0.60 (líquida)-2.50 (hielo)</i>
Mortero de cemento	0.35-1.40	
Ladrillo macizo	0.72-0.90	
Bloques de hormigón	0.35-0.79	
Ladrillo hueco	0.49-0.76	
Enlucidos de yeso	0.26-0.30	
Ladrillo multialveolar	0.20-0.30	
Maderas, tableros	0.10-0.21	
Hormigón celular	0.09-0.18	
Aislamientos	0.026-0.050	
	<i>Aire (sin convección)</i>	<i>0.026</i>

[Tabla 1]

La diferencia, en *orden de magnitud*, entre los aislamientos térmicos y el resto de materiales de construcción es, por tanto, la siguiente:

MATERIAL	LAMBDA MATERIAL / LAMBDA AISLAMIENTOS TÉRMICOS
Metales	0.7·10 ³ hasta 1.48·10 ⁴
Hormigón	3.2·10 ¹ hasta 1.05·10 ²
Agua	1.2·10 ¹ hasta 0.96·10 ²

Mortero de cemento	$0.7 \cdot 10^1$ hasta $5.4 \cdot 10^1$
Ladrillo macizo	$1.7 \cdot 10^1$ hasta $3.3 \cdot 10^1$
Bloque de hormigón	$0.7 \cdot 10^1$ hasta $3 \cdot 10^1$
Ladrillo hueco	$0.98 \cdot 10^1$ hasta $2.9 \cdot 10^1$
Enlucido de yeso	$0.52 \cdot 10^1$ hasta $1.15 \cdot 10^1$
Ladrillo multialveolar	$0.4 \cdot 10^1$ hasta $1.15 \cdot 10^1$
Maderas, tableros	$0.2 \cdot 10^1$ hasta $0.8 \cdot 10^1$
Hormigón celular	$0.18 \cdot 10^1$ hasta $6.9 \cdot 10^1$

[Tabla 2]

¿QUÉ INCIDENCIA TIENE EL AGUA EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS MATERIALES?.

Aunque el agua no es un material de construcción “al uso” (a pesar de las cubiertas de agua o cubiertas aljibe, donde se aprovecha su capacidad calorífica –inercia térmica-, no su escaso poder aislante), sin embargo forma parte no deseada pero inevitable de las construcción, tanto en su forma líquida, como en la mucho más peligrosa forma sólida (hielo). Así ocurre con las infiltraciones de agua de lluvia, las nevadas, las heladas, las condensaciones, la capilaridad ascendente desde el terreno, la propia agua usada en la construcción del edificio, etc. Del examen de los valores de conductividad del agua expuestos en la **tabla 1** se desprende el aumento de conductividad térmica de los materiales de construcción cuando absorben agua. En el caso de algunos aislamientos térmicos también se puede producir este efecto pernicioso, como se verá más adelante.

¿ES EL AIRE UN AISLAMIENTO TÉRMICO?

No. El aire no es un aislamiento térmico, a pesar de la muy baja conductividad que le caracteriza. En una cámara de aire la transmisión térmica no se produce en función de una *conducción* baja, sino de otro de los tres mecanismos físicos de la transmisión térmica: la *convección* (de fluidos y gases). [El tercer mecanismo es la *radiación* y se analiza un poco más adelante]. Por tanto, un coeficiente de conductividad bajo es irrelevante aquí. Como se recoge en numerosos Códigos y Normas de la Edificación, una cámara de aire alcanza un máximo de Resistencia Térmica para un espesor de unos 50 mm. Pero dicha Resistencia Térmica [$0.18 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$] es entre 5 y 10 veces menor que la ofrecida por un aislamiento térmico del mismo espesor [de 1 a $1.92 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$]. De hecho, un aislamiento térmico suele ofrecer una estructura material que permite confinar el aire (u otro gas) sin prácticamente ninguna convección, de modo que la conductividad ponderada del material esté lo más cerca posible de la del aire. Más adelante se describen algunos pormenores de esta estructura. En cuanto a las cámaras de aire, su efecto térmico más beneficioso será cuando, como se expuso bajo la pregunta “¿Cómo lograr el control térmico del edificio?”, sirvan para *disipar* el calor mediante *ventilación* (convección forzada, al fin y al cabo). Es decir, servirán en condiciones estivales de intensa radiación solar.

¿EN QUÉ MEDIDA SON AISLAMIENTOS TÉRMICOS LOS LADRILLOS O BLOQUES MULTIALVEOLARES?.

En ninguna. Algunos materiales de construcción, con conductividades térmicas relativamente bajas si las comparamos con un hormigón o con un ladrillo normal, no resisten la comparación con los aislamientos térmicos. Así, en la **tabla 1**, se ve, p.ej., que los ladrillos multialveolares (con un muy conocido nombre comercial alusivo, abusiva e incorrectamente, a lo térmico), presentan una *lambda* entre 4 y 11 veces superior. Coincide en gran medida con lo descrito para las cámaras de aire, puesto que, básicamente, es de lo que se trata, de una colección de pequeñas cámaras. En la tabla se aprecia que dichos ladrillos multialveolares se sitúan más bien junto a las maderas, tableros y enlucidos, que junto a los aislamientos térmicos propiamente dichos. Los contenidos de humedad incidirán además en un apreciable aumento de la conductividad respecto de los valores en seco o, lo que es lo mismo, una reducción de la Resistencia Térmica esperada. Igualmente puede ser crítico la complicación y debilidad de una solución de muro de una sola hoja (como se suele instalar), sin cámara, con falta de estanqueidad frente al agua, ¡y al aire! (debido a las múltiples juntas abiertas, en seco, sin mortero, para evitar la penalización sobre la R debida al mortero de las juntas).

¿Y EL HORMIGÓN CELULAR?.

Un caso especial es el del hormigón celular, en donde se verifica una espumación que lo acerca a la estructura típica de muchos aislantes. Sin embargo, sigue presentando una conductividad entre casi 2 y 7 veces superior. Como en el caso anterior, los contenidos de humedad incidirán además en un apreciable aumento de la conductividad respecto de los valores en seco.

¿ES UN AISLAMIENTO REFLECTANTE UNA FORMA EFECTIVA DE REDUCIR LA TRANSMISIÓN TÉRMICA?

En construcción muy rara y difícilmente. En la **tabla 1** no se han mostrado las conductividades de los llamados aislamientos por reflexión de la *radiación*, pues no tiene sentido. De mostrarlas, habría que tomar las de los metales, como suelen ser las todas láminas comercializadas bajo este concepto de “aislamiento reflectante”. Es decir, evidentemente NO son aislamientos térmicos, caracterizados por una muy baja conductividad térmica. Es verdad que suelen formar sándwich con una espuma aislante de pocos milímetros de espesor, lo que da lugar, en directa proporcionalidad, a una R muy pequeña.

El problema de estos productos en construcción es que los cerramientos del edificio suelen estar compuestos de capas en contacto (valga por *conducción*) unas con otras, con lo que el muy cierto efecto reflectante se desvanece por completo al volver por sus fueros la elevada conductividad de la lámina o film metálicos. Es decir, sólo es eficaz y funciona en la medida en que la lámina reflectante tiene una cámara de aire delante de ella, lo que es muy difícil de construir e instalar en la mayoría de aplicaciones. En donde se instalan adecuadamente son un complemento o accesorio para los aislamientos térmicos propiamente dichos.

¿INTERESA AISLAR CUANTO MÁS MEJOR?.

La idea básica es que el aislamiento térmico no es un gasto, sino una inversión, puesto que el desembolso inicial se ve compensado en un plazo breve (pocos años, incluso meses) a través del ahorro energético en combustible para la calefacción y, cada vez más, para la refrigeración del edificio o vivienda. Y en el largo plazo que es la vida útil del edificio, ese retorno económico o “pay-back” produce un beneficio económico incontestable. La pregunta del encabezamiento se puede reformular entonces como: ¿qué espesor de aislamiento produce el máximo retorno económico?.

El dimensionamiento correcto del aislamiento térmico estará en función de una serie de variables, como son la climatología local, el sistema constructivo elegido, el coste y las prestaciones térmicas del aislamiento térmico en particular de que se trate.

Referente a las condiciones climatológicas es claro que la mayor *severidad* climática de una localidad llevará a unos rendimientos mayores del aislamiento térmico que se incorpore, puesto que el *ahorro energético* que se consiga para unas mismas condiciones de confort interior será mayor que si no se aislara en absoluto (con un mismo espesor de aislante se ahorra más calefacción en Burgos que en Sevilla).

Los sistemas constructivos, con sus diversos grados de inercia térmica y ventilación, la complicación mayor o menor para incorporar espesores crecientes de aislamiento térmico, o incluso la posibilidad de que el propio aislamiento cumpla un papel adicional importante como capa protectora de la estructura o de otros materiales (caso del conocido concepto de “cubierta invertida”), también determinan el dimensionamiento más adecuado.

La relación prestaciones térmicas / coste del aislamiento será, en definitiva y una vez que los dos aspectos anteriores están predefinidos, la clave para responder a la pregunta de encabezamiento. La respuesta es que, dado un horizonte económico (30 y 50 años son períodos habituales), para cada pareja de condiciones (condición climática y sistema constructivo), habrá un espesor económico, que será el máximo óptimo desde el punto de vista económico, aquel que maximiza el ahorro energético y el retorno o “pay-back”. En definitiva aislar más es mejor hasta alcanzar ese espesor económico. A partir de él, no merece la pena. El propio espesor económico se alcanza en una típica gráfica que en economía muestra la “ley de rendimientos decrecientes”. Sin embargo, esos rendimientos, aunque decrecientes, ¿hasta dónde merecen la pena en las condiciones españolas?

¿SE HA ALCANZADO EL ESPESOR *ECONÓMICO* DE AISLAMIENTO EN LA EDIFICACIÓN ESPAÑOLA?. ¿CUÁL ES EL ESPESOR *ECONÓMICO*?

No, no se ha alcanzado en absoluto. Dependiendo de la zona climática, la solución constructiva y el tipo de aislamiento térmico elegido los espesores medios habituales actualmente en edificación se mueven en el intervalo de 2 a 6 cm. Si se aplican las directivas europeas sobre eficiencia energética de los edificios y la norma europea de cálculo de necesidades de calefacción (UNE EN 832) se puede llegar a la conclusión de que, como media, esos espesores se pueden duplicar (4 a 12 cm) permaneciendo todavía por debajo del máximo definido por el espesor económico. Además falta por considerar igualmente, en términos de ahorro energético, las condiciones estivales y el menor consumo de energía para refrigeración del edificio que se alcanza con el aislamiento térmico.

¿QUÉ EXIGENCIAS NORMATIVAS HAY VIGENTES EN ESPAÑA?

En España, cualquier proyecto de edificación ha debido cumplir con las exigencias definidas en la *Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas* del año 1979 (NBE CT-79). Esta norma en su momento supuso un gran paso, aunque sólo fuera por recoger oficialmente por primera vez como requisito *obligatorio* las prestaciones térmicas del edificio. No dejaba de ser una de las consecuencias de la crisis del petróleo de 1973. Sin embargo, 25 años más tarde, ha llegado a ser la norma más desfasada y obsoleta de toda Europa (incluyendo a Turquía), con problemas como la no consideración de la inercia térmica, la renovación del aire, el ciclo veraniego (¡en el Estado con las condiciones estivales de mayor insolación de toda la Unión Europea!), la descoordinación entre exigencias a las transmisiones térmicas de cerramientos (absolutamente ridículas: las menos exigentes de toda Europa) y el llamado coeficiente global (K_G) del edificio, la imposibilidad de entender el coeficiente K_G en términos comprensibles de reducción de demanda energética, el concepto erróneo (aunque a favor de seguridad) respecto de la evaluación de condensaciones en el cerramiento, etc.

¿QUÉ VA A PASAR CON LA NBE CT-79 A PARTIR DE AHORA?.

Hay que entender primero el contexto en que se ha movido la NBE CT-79 en estos últimos 25 años:

- España entró en la Unión Europea, con lo que las diversas administraciones españolas se han visto obligadas a modificar su legislación –estatal o autonómica-, adaptándola a lo que se decide para toda Europa. En lo relativo a productos de construcción y, más en particular, aislamientos térmicos veremos más adelante la trascendencia y las consecuencias prácticas que este nuevo enfoque europeo ya ha tenido. En lo relativo a la eficiencia energética de los edificios hay que destacar las dos grandes Directivas Europeas, a las que todos los Estados deben adaptarse: la de 1993, *Directiva SAVE 93/76/CE*, con el objetivo de controlar las emisiones de CO₂, y la última, más comprehensiva de todo lo energético alrededor del edificio, la *Directiva 2002/91/CE* relativa a *eficiencia energética* de los edificios.
- En los años 90 se experimentaron las temperaturas más elevadas de todo el siglo XX y no pasa ningún día sin que se hable del *efecto invernadero* aumentado por la actividad humana y del *Protocolo de Kyoto*, en el que la mayoría de los Estados mundiales, con alguna excepción importante y bien conocida, buscan comprometerse con unos límites y reducciones de las emisiones de los principales agentes de efecto invernadero, como el CO₂ procedente de todas las combustiones.

En definitiva se ha ido acumulando una gran presión social y política de la mano de argumentos ecológicos y medioambientales, amén de la presión económica (ahorro energético, dependencia cada vez menor del petróleo).

La respuesta desde la administración central española ha sido la elaboración de los nuevos *Códigos Técnicos de la Edificación (CTE)*, dentro del marco definido por la L.O.E (Ley de Ordenación de la Edificación). Todavía en trámite para su publicación en el BOE, se espera se incorporen plenamente a la práctica del proyecto y la construcción a lo largo de 2005. Sin embargo, hasta el momento en que sean de obligado

cumplimiento, pueden ser la referencia más correcta para el dimensionado del aislamiento térmico.

¿QUÉ EXIGENCIAS HAY EN LOS CÓDIGOS TÉCNICOS DE LA EDIFICACIÓN (CTE) RESPECTO DEL AISLAMIENTO TÉRMICO?.

Sin entrar en muchos detalles, el *Documento Básico sobre Habitabilidad – Ahorro de Energía (DB-HE)* del CTE plantea dos métodos para comprobar el cumplimiento de las exigencias: un método general, que implica una modelización del edificio mediante herramienta informática de relativa complejidad, y un método simplificado en el que sólo se verifica el cumplimiento de una serie de valores U máximos en cada cerramiento (ya no hay nada parecido a un coeficiente global K_G). De la comparación entre NBE CT-79 y el DB-HE, se ve que, por ejemplo, la transmisión térmica planteada por la NBE CT-79 para una cubierta en Ávila, [0.70 W/(m²·K)], es mucho menos exigente que la transmisión térmica planteada por el DB-HE en Canarias, [0.50 W/(m²·K)].

Por tanto con la aplicación del CTE se llega a la misma conclusión expuesta bajo la pregunta anterior relativa al *espesor económico* del aislamiento: se pueden y deben aumentar los espesores medios actuales hasta prácticamente duplicarlos. Está justificado plenamente desde el punto de vista de la eficiencia energética y medioambiental de la edificación.