

Artículo Técnico

Inercia térmica y hermeticidad con productos cerámicos. Conceptos y normativa sobre eficiencia energética de los edificios

Elena Santiago Monedero - Secretaria General de Hispalyt
Ana Ribas Sangüesa - Asesor Técnico de Hispalyt



Figura 1. Ampliación de colegio para pabellón infantil y usos anejos en Zaragoza.
Arquitectos: Carlos Labarta, José Antonio Alfaro y Alejandro Dean. Foto Pedro Pegenaute.

Los productos y sistemas cerámicos presentan una elevada inercia térmica y contribuyen al aislamiento térmico de la envolvente del edificio. Por ello, son soluciones constructivas óptimas para el diseño de EECN y su uso es habitual desde hace tiempo en las obras bioclimáticas y en edificios construidos bajo el estándar Passivhaus, que en los últimos años ha sido una hoja de ruta fiable para la construcción de casas pasivas de baja demanda energética.

Producto: Ladrillo cara vista

Dirigido a: Proyectistas

Contenidos: Diseño

El 40 % de la energía consumida en Europa corresponde a la edificación. Para reducir este derroche energético, así como las emisiones de gases de efecto invernadero, la Directiva 2010/31/UE establece el objetivo de conseguir en el año 2020 Edificios de consumo Energético Casi Nulo (EECN), que son aquellos con un nivel de eficiencia energética muy alto, donde la baja energía requerida debe estar cubierta, en gran parte, por energía procedente de fuentes renovables.

En este sentido, en diciembre de 2019 se publicó en España una actualización del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE), que responde a la obligación de la Directiva 2010/31/UE de revisar y actualizar periódicamente los requisitos mínimos de eficiencia energética, con el fin de adaptarlos a los avances técnicos del sector de la construcción.

El DB HE 2019 fomenta el uso de estrategias de diseño pasivas, relativas a la calidad de los cerramientos y al diseño arquitectónico. Dichas estrategias deben permitir alcanzar unas óptimas condiciones de confort en el interior del edificio (acordes a su uso y a las condiciones climáticas de su entorno), al tiempo que reducen la demanda energética del edificio.

Aunque en el comportamiento térmico de un edificio influyen muchos factores (orientación, proporción de huecos, protecciones solares, etc.), el aislamiento y la inercia térmica de la envolvente del edificio inciden directamente en el confort del usuario en su interior, así como en la demanda energética de calefacción y refrigeración durante la vida útil del edificio. Por lo tanto, podemos afirmar que el aislamiento, o la falta del mismo, genera un impacto económico, social y medioambiental.

Los productos y sistemas cerámicos presentan una elevada inercia térmica y contribuyen al aislamiento térmico de la envolvente del edificio. Por ello, son soluciones constructivas óptimas para el diseño de EECN y su uso es habitual desde hace tiempo en las obras bioclimáticas y en edificios construidos bajo el estándar Passivhaus, que en los últimos años ha sido una hoja de ruta fiable para la construcción de casas pasivas de baja demanda energética.

Para promover una edificación más sostenible, Hispalyt está asociada a entidades estratégicas como la Plataforma de Edificación Passivhaus (PEP) y Green Building Council España (GBCe), además de colaborar regularmente con Formación Passivhaus.

Inercia térmica

Conceptos y normativa

El empleo de materiales con una elevada inercia térmica es una estrategia pasiva ampliamente empleada en el diseño de construcciones bioclimáticas para garantizar el confort térmico de los usuarios en los edificios. La utilización de estas soluciones es muy recomendable en edificios de uso continuado y en aquellos climas en los que existe un importante gradiente de temperatura entre el día y la noche ($\Delta T_{\text{día-noche}} \geq 10^\circ\text{C}$). En países mediterráneos como España, donde el régimen de verano es bastante severo, la inercia térmica adquiere una gran importancia.

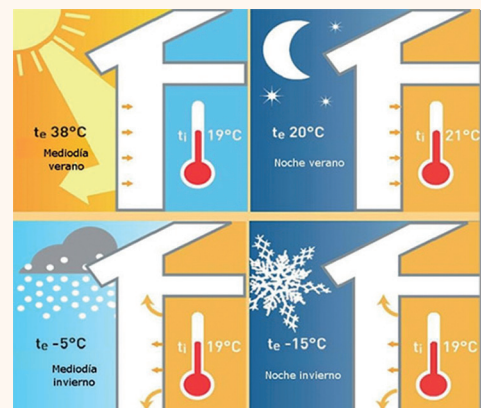


Figura 2. Desfase térmico exterior-interior vivienda.



Figura 3. Vivienda unifamiliar en Gorráiz (Navarra). Arquitecto Fernando Tabuenca González.

La inercia térmica nos indica la capacidad que presenta un material para almacenar la energía térmica que recibe e ir cediéndola progresivamente al ambiente. Los materiales con elevada inercia térmica funcionan como acumuladores de calor, absorbiendo la energía térmica durante las horas de mayor calor y liberándola cuando baja la temperatura.

En verano, durante el día absorben el calor del ambiente interior evitando su sobrecalentamiento, para luego disiparlo por la noche mediante una ventilación natural nocturna. De este modo, evitan que en las horas centrales del día la temperatura en el interior del edificio se dispare, manteniendo el confort térmico sin necesidad de emplear sistemas de refrigeración adicionales. En invierno, acumulan calor procedente de la radiación solar y de las cargas internas durante las horas centrales del día, y lo distribuyen a lo largo del mismo, reduciendo las necesidades de calefacción y evitando el enfriamiento nocturno.

La inercia térmica mejora el comportamiento térmico de los edificios gracias al amortiguamiento y desfase que se produce en la onda térmica que atraviesa los cerramientos. Los cerramientos están sometidos a condiciones climáticas dinámicas debido a las variaciones de la temperatura exterior y a la radiación solar. En un cerramiento expuesto a las condiciones ambientales, se establece una transferencia de energía en régimen dinámico entre el exterior y el interior del edificio. La amplitud de la onda térmica que atraviesa el cerramiento se va amortiguando, produciéndose además un desfase de las temperaturas máximas.

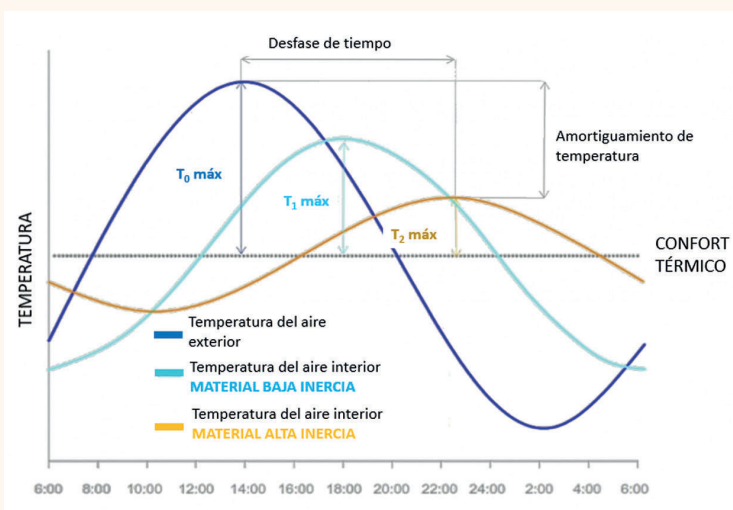


Figura 4. Amortiguación y desfases de la onda térmica por alta masa térmica. Fuente LEGNIA.

“Cada vez estamos más lejos de la naturaleza. Ya no sabemos si hace frío o calor en un edificio. Hay que buscar materiales en la naturaleza”.

Toyo Ito

Cuanta mayor inercia térmica presenta el cerramiento, más elevado es el amortiguamiento y el desfase de la onda térmica que se produce, y, por tanto, mayor es la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior, así como el intervalo de tiempo que transcurre entre que se alcanza la temperatura máxima en el exterior y en el interior. Para cuantificar el fenómeno de la inercia térmica en los materiales, se emplean los conceptos de impedancia térmica y desfase.

El empleo de la inercia térmica para la mejora de las condiciones de habitabilidad en el interior de las edificaciones se ha venido haciendo desde la antigüedad. La forma más sencilla de aprovechar la energía natural emitida por el sol es mediante el uso de sistemas pasivos, es decir, aquellos sistemas que utilizan los elementos propios del edificio para su funcionamiento: huecos para la captación de la energía solar, y muros y particiones interiores para su acumulación y distribución a lo largo del día. Estos sistemas pasivos son muy económicos y suponen un importante ahorro energético, requiriendo únicamente de un adecuado diseño de los espacios y materiales del edificio.

Para garantizar un buen aprovechamiento de la inercia de los materiales, es fundamental realizar un adecuado diseño arquitectónico del edificio acorde al clima en el que se ubica, siendo importante definir correctamente aspectos como la forma y orientación del edificio, la disposición de los huecos y los elementos con masa térmica, así como la definición de los sistemas de ventilación.

Por otro lado, es posible utilizar soluciones técnicas para activar la inercia térmica de los cerramientos, haciendo que en verano se favorezca la evacuación de calor del muro mediante sistemas de ventilación, o que en invierno se favorezca su calentamiento, mediante galerías acristaladas.

Inercia térmica de los materiales cerámicos

La inercia térmica de un material depende de su densidad, calor específico, conductividad térmica y espesor. Los productos cerámicos al ser materiales densos, de gran espesor, baja conductividad y alto calor específico presentan una elevada inercia térmica. Así, un muro de 29 cm de bloque cerámico machihembrado presenta una impedancia térmica de $5,2 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ y un desfase de 10,3 h y un muro de 24 cm del mismo material presenta una impedancia térmica de $3,5 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ y un desfase de 8,1 h.

Los materiales cerámicos por su elevada inercia térmica presentan innegables ventajas en cuanto a su capacidad termorreguladora de la temperatura, frente a otros materiales ligeros, como los muros de entramado de fibra de madera. Así, un muro de 24 cm de bloque machihembrado o 1 pie de ladrillo perforado presenta 3 veces más capacidad calorífica que un muro de 14 cm de entramado de fibra de madera.

En un edificio construido con materiales con poca inercia térmica, la temperatura en el interior del edificio fluctuará al mismo tiempo que lo hacen la temperatura exterior y las cargas internas del edificio, requiriendo de un mayor aporte de climatización para poder mantener una temperatura de confort constante en el interior del edificio.

Hermeticidad

Conceptos y normativa

Para conseguir edificios con una buena calidad del aire interior es necesario emplear **envolventes con una buena hermeticidad** y sistemas de ventilación forzada con recuperación de calor.

La falta de estanqueidad de los edificios no sólo aumenta su consumo energético, sino que además conlleva otra serie de problemas relacionados con la salud de sus ocupantes, como la reducción de su confort térmico y acústico, la aparición de mohos por condensación, las filtraciones de agua y el deterioro de los materiales.

En relación con el consumo energético del edificio, es fundamental que se eviten las infiltraciones o flujos incontrolados de aire del exterior al interior del edificio (o viceversa), ya que aumentan en mayor o menor medida la demanda de calefacción o de refrigeración, según el clima de la zona donde se ubique el edificio, así como la estación del año en la que nos encontremos.

Además, en climas fríos o en épocas de invierno, el paso de aire cálido y húmedo del interior al exterior del edificio puede producir condensaciones en la cara fría de los elementos constructivos, deteriorando los materiales y dando lugar a la aparición de mohos y microorganismos, con los consiguientes problemas para la salud y de durabilidad de los materiales.

La medida de la hermeticidad de un edificio se realiza mediante ensayos de presurización (Blower Door Test), según el método B de la norma UNE-EN 13829:2002 Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. El resultado del ensayo es la relación de cambio de aire a 50 Pa, valor n_{50} (h^{-1}).

La construcción de edificios de bajo consumo energético requiere el empleo de envolventes muy bien aisladas térmicamente, lo que provoca que el impacto de las infiltraciones en el consumo de energía sea cada vez mayor. Por ello, el DB HE 2019 incorpora los siguientes valores límite de hermeticidad para edificios de superficie útil total superior a 120 m²:

Compacidad V/A [m^3/m^2]	n_{50}
V/A ≤ 2	6
V/A ≥ 4	3

Los valores límite de las compacidades intermedias ($2 < V/A < 4$) se obtienen por interpretación

Tabla 1. Valor límite de la relación del cambio de aire con una presión de 50 Pa, n_{50} [h^{-1}]

Los valores límite del CTE no son muy exigentes, ya que el estándar Passivhaus estable un valor límite de n_{50} de 0,6 ren/h, pero pretenden ser un primer paso para familiarizar al sector con estos conceptos y ensayos.

Para cumplir los valores anteriores, las soluciones constructivas empleadas deben garantizar la estanqueidad del edificio. Para ello, la capa de hermeticidad de la envolvente térmica del edificio debe ser continua, debiendo cuidarse especialmente los encuentros de los elementos opacos (muros y cubiertas) con los huecos (puertas y ventanas), los puntos de paso a través de la envolvente y las puertas de paso a espacios no acondicionados.

Hermeticidad de los materiales cerámicos

La estanqueidad y aislamiento térmico son dos propiedades indispensables para garantizar el confort térmico y controlar el consumo energético del edificio, que no siempre son proporcionadas por un mismo material.

La norma DIN 4108-7 recoge diversos ejemplos de materiales para capa hermética y para el tratamiento de sus juntas. Según dicha norma, **las fábricas de ladrillo o bloque cerámico revestidas con enlucidos de yeso, estucos, enfoscados de cemento o pinturas estancas al aire, se consideran capas herméticas, sin necesidad de tener que emplear láminas o tableros adicionales.**

Es importante destacar que los materiales a emplear para conseguir la estanqueidad necesaria deben ser **herméticos pero transpirables**, es decir, evitar el flujo del aire, pero permitir el paso del vapor de agua. En este sentido, **los sistemas constructivos cerámicos destacan por su buena transpirabilidad frente a otras soluciones alternativas.**

Con un diseño cuidado, las casas pasivas obtienen valores de hermeticidad entre 0,2 ren/h y 0,6 ren/h. En los ensayos de estanqueidad realizados en viviendas



Figura 5. Prueba Blower-Door en Casa Taller Laboratorio Pasiva Positiva.



Figura 6. Fachada muro carga bloque Termoarcilla vista desde el interior en CTL Pasiva Positiva.



Figura 7. Foto de la Casa Taller Laboratorio Pasiva Positiva.



Figura 8. Viviendas en Ctra. Ribes (Barcelona), Barceló Balanzó Arquitectes.

pasivas con soluciones constructivas cerámicas se están obteniendo valores muy positivos, entre 0,15 ren/h y 0,20 ren/h, como por ejemplo en la Casa Taller Laboratorio (CTL) Pasiva Positiva Premium, construida con una fachada de muro de carga de bloque Termoarcilla de 24 cm con un SATE de 25 cm de espesor y un enlucido de yeso al interior.

Los sistemas constructivos cerámicos garantizan la hermeticidad y transpirabilidad, al tiempo que presentan un elevado aislamiento e inercia térmica, destacando además frente a otros sistemas alternativos por su simplicidad constructiva y sus altas prestaciones técnicas, por lo que son muy recomendables en el diseño de edificios pasivos.

Habitualmente la falta de estanqueidad de un edificio no suele deberse a los elementos opacos, sino a los pasos de instalaciones a través de los mismos o a los encuentros de éstos con las carpinterías de los huecos. No obstante, es importante tomar las precauciones necesarias para asegurar la estanqueidad de los elementos opacos.

En este sentido, las fábricas de ladrillo, gracias a la aplicación de capas continuas para los revocos, garantizan un buen sellado y estanqueidad de los elementos. Sin embargo, en los sistemas constructivos en seco de tableros, paneles o placas (PYL, madera, fibra de yeso, fibra de cemento, etc.), para conseguir una buena estanqueidad, en ocasiones puede ser necesaria la colocación de láminas y siempre es imprescindible realizar un correcto tratamiento de las uniones, así como de las posibles perforaciones y penetraciones, mediante el uso de cintas adhesivas y collarines.

Conceptos y normativa sobre eficiencia energética de los edificios

Consumo de energía

El DB HE 2019 mantiene la limitación del consumo de energía primaria no renovable ($C_{ep,ren}$), reduciendo en aproximadamente un 40% los valores exigidos para edificios residenciales privados con respecto al documento anterior del 2013. Este indicador tiene como objetivo reducir tanto el impacto medioambiental negativo de los edificios, como la dependencia de energética del país.

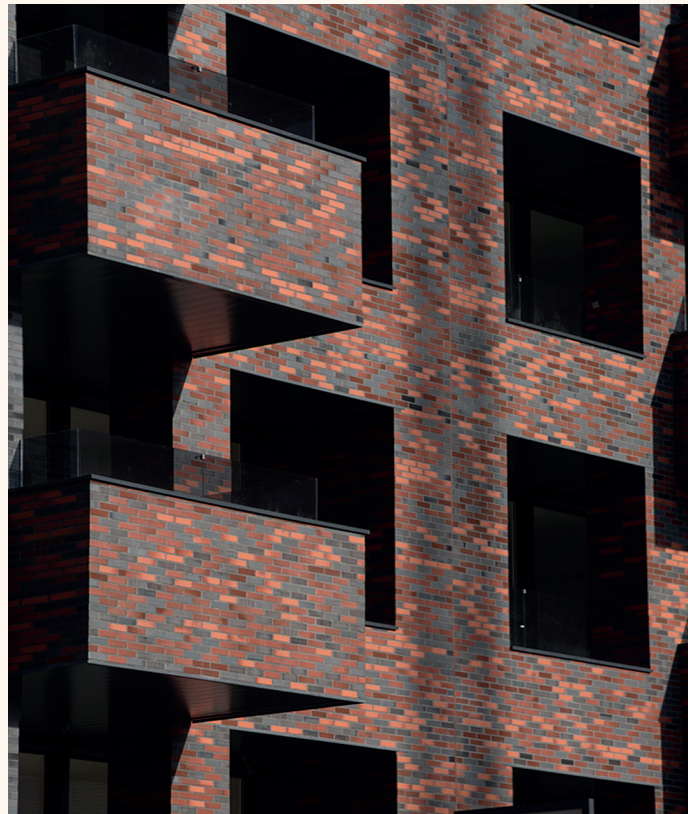


Figura 9. Viviendas en Aldaia (Vitoria) de Patxi Cortazar y José Manuel Simón. Foto César San Millán.

“No basta con tener certificación energética. Basta con que el entorno de un edificio se perciba, se sienta y se use como amigable, fraterno, produzca sombra, produzca belleza”.

Solano Benítez

Control de la demanda energética

Las fachadas y cubiertas cerámicas, como parte de la envolvente térmica, influyen en la demanda energética del edificio, por lo que deberán cumplir las exigencias del DB HE del CTE. El control de la demanda energética de los edificios tiene como objetivo el **diseño y construcción de edificios pasivos**, que demanden muy poca energía para alcanzar unas condiciones de confort térmico óptimas en su interior, acordes al uso del edificio y al clima donde se ubica.

El DB HE 2019 realiza el control de la demanda energética empleando, además del indicador de consumo de energía primaria total ($C_{ep,tot}$), otra serie de indicadores que aseguran la calidad constructiva del edificio, centrándose en tres aspectos: la transmisión de calor a través de la envolvente, la permeabilidad al aire de la envolvente y el control solar de la envolvente.

Para la limitación de la transmisión de calor a través de la envolvente, el DB HE incluye un indicador, el **coeficiente de transmitancia térmica global de la envolvente (K)**, que pretende asegurar la eficiencia de la envolvente térmica del edificio considerando las características térmicas de los elementos que configuran la envolvente térmica, su proporción y los puentes térmicos.

Por otro lado, el DB HE 2019 incorpora un **indicador de consumo de energía primaria total ($C_{ep,tot}$)**, que incluye tanto energías renovables como no renovables. Este indicador tiene como fin limitar la demanda global del edificio. De este



Figura 10. Cubierta con teja fotovoltaica.

modo, se pretende garantizar un equilibrio entre un uso eficiente de energías renovables y el empleo de estrategias de diseño relacionadas con la calidad constructiva del edificio y orientadas a reducir su demanda energética, promoviendo el empleo de técnicas de diseño pasivo y el uso de protecciones solares.

Además, el DB HE 2019 mantiene unos valores límite de transmitancia térmica (U_{lim}) obligatorios con el fin de garantizar una **calidad mínima de la envolvente térmica** y evitar descompensaciones en la calidad térmica de los diferentes espacios habitables del edificio.

En cualquier caso, en el comportamiento térmico del edificio no sólo influyen las prestaciones térmicas de los elementos constructivos, sino que además **hay que tener en cuenta otros muchos factores relacionados con el diseño del edificio**, como son: la orientación del edificio, su compacidad, la ventilación e infiltración, los puentes térmicos, etc.

Debido a ello, los valores de transmitancia térmica (U) que deben presentar los elementos de la envolvente térmica del edificio, para cumplir con los valores límite de coeficiente de transmitancia térmica global de la envolvente (K), son mucho más exigentes que los valores de transmitancia térmica límite (U_{lim}). Por ello, el DB HE 2019 incluye un Anejo E en el que se recogen unos valores orientativos de transmitancia térmica (U), que se aconseja emplear en la fase de diseño para predimensionar las soluciones constructivas de los edificios de uso residencial.

Por otra parte, es importante recordar que, para cumplir el objetivo de construir edificios de elevada eficiencia energética, **es de gran importancia reducir al mínimo posible los puentes térmicos**. Por ello, con el fin de limitar el importante impacto que tienen sobre la demanda energética del edificio y el mayor riesgo de formación de mohos por condensaciones superficiales, es fundamental que sean tratados constructivamente. El DB HE limita las pérdidas energéticas debidas a los puentes térmicos, tanto a través de la limitación del coeficiente de transmitancia térmica global de la envolvente (K), como a través del consumo de energía total del edificio ($C_{ep,tot}$).

Uso de energías renovables

El fomento del uso de energías renovables para satisfacer la baja demanda energética de los edificios es uno de los **objetivos fundamentales de las normativas de eficiencia energética**. En este sentido, además de favorecer su uso para satisfacer las necesidades de climatización (calefacción y refrigeración), ventila-

ción e iluminación de los edificios, el DB HE 2019 establece que las necesidades de ACS y de climatización de piscinas deberán cubrirse en gran medida con energías renovables (un mínimo del 60 % para demandas inferiores a 500 l/día).

Asimismo, obliga a instalar equipos de generación eléctrica para uso propio o inyección en la red en edificios no residenciales de gran superficie (más de 3000 m²). En este sentido, si bien el documento abre la puerta a todo tipo de energías renovables, es **previsible que la solar fotovoltaica sea la más empleada**.

Tecnología cool roof

Una adecuada selección de los materiales empleados en las envolventes de los edificios puede contribuir a reducir de manera importante la temperatura de las ciudades. El empleo de la **tecnología “cool roof”** contribuye a **reducir el efecto Isla de Calor Urbana (ICU)** y a mejorar la eficiencia energética de la cubierta reduciendo con ello el consumo energético de los edificios para refrigeración en verano. España, por su alto nivel de insolación, es un país con un gran potencial de aprovechamiento de la tecnología “cool roof”.

Las cubiertas “cool roof” se caracterizan por su alta capacidad para reflejar la radiación solar incidente y emitir energía térmica, **pudiendo disminuir hasta 3 °C la temperatura del aire y 12 °C la temperatura de las superficies**. Estas cubiertas requieren del uso de materiales con alto índice de reflectancia solar (SRI). El SRI oscila entre valores de 0 a 100, siendo mejor cuanto mayor es dicho valor. En algunos programas de certificación de edificios sostenibles como LEED se exige el uso de materiales con $SRI \geq 78$.

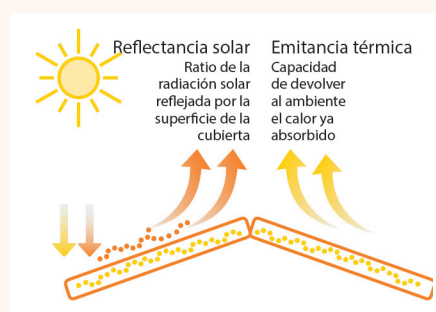


Figura 11. Reflectancia y emitancia de una cubierta inclinada.

