

EFICIENCIA ENERGÉTICA

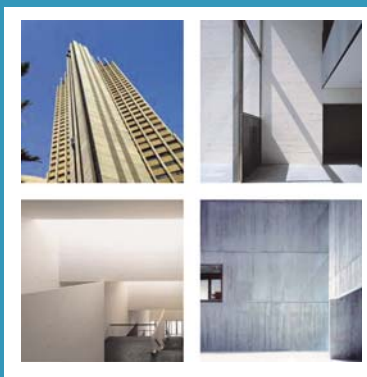
HORMIGÓN PARA EDIFICIOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES. LOS BENEFICIOS DE LA INERCIA TÉRMICA

PLATAFORMA EUROPEA DEL HORMIGÓN



EFICIENCIA ENERGÉTICA UTILIZANDO HORMIGÓN

PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN



HORMIGÓN PARA EDIFICIOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES. LOS BENEFICIOS DE LA INERCIA TÉRMICA

1. Ventajas de la eficiencia energética de los edificios de hormigón

El hormigón es un material de construcción arraigado, seguro y bien conocido, empleado a lo largo de toda Europa en una amplia gama de tipos de edificios. Sus aplicaciones más comunes en edificios son las siguientes:

- Soleras y forjados.
- Pórticos de estructuras (por ejemplo, vigas, pilares y losas).
- Muros interiores y exteriores, incluyendo paneles, bloques o elementos decorativos.
- Tejas.

El hormigón es extremadamente versátil en términos de sus características estructurales y materiales, lo cual es una de las razones de su éxito. La mayoría de edificios utiliza el hormigón denso, conocido por su resistencia, protección frente al fuego, aislamiento acústico y, cada vez más, por su inercia térmica.

La Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios

El hormigón ofrece una solución muy efectiva a los requisitos de la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD) (Directiva 2002/91/EC de 16 de diciembre), que entró en vigor en el año 2006 con el objeto de reducir el consumo energético de Europa. Esta Directiva está teniendo un impacto significativo en la forma en la que se diseñan y construyen los edificios, con Estados Miembro que adoptan directamente la EPBD directamente o que introducen cambios en la reglamentación existente sobre edificios.

La Directiva:

- Establece los requisitos mínimos del comportamiento energético de los edificios.
- Exige que éste se compruebe en el edificio completo.

Figura 1a.- Casa de hormigón situada en las proximidades de Hamburgo (Alemania) construida con cemento y hormigón alemán.



- Impone un sistema de certificación energética de los edificios.
- Manifiesta que han de tenerse en cuenta los conceptos de calentamiento y enfriamiento pasivos.
- Insiste en que el comportamiento energético no debe afectar a la calidad del ambiente interior.

Figura 1ª. Casa de hormigón situada en las proximidades de Hamburgo (Alemania) construida con cemento y hormigón alemán. Este atractivo edificio fue específicamente diseñado para proveer a sus ocupantes de un espacio flexible y que satisficiera sus necesidades. (Cortesía de Betonbild, Erkrath, Alemania)

Puede verse como la EPBD adopta un enfoque integrado del problema del consumo energético de los edificios, y por esta razón los proyectistas y clientes comienzan a tomar conciencia, cada vez más, de las propiedades relativas al comportamiento energético de los materiales de construcción.

Las ventajas de la inercia térmica

La principal ventaja energética derivada de la utilización del hormigón en los edificios es su elevada masa térmica que conduce a la estabilidad térmica. Ésta ahorra energía y proporciona un mejor ambiente interior para los usuarios del edificio.

La inercia térmica del hormigón en edificios:

- Optimiza las ventajas de la aportación solar reduciendo la necesidad de calefacción.

- Reduce el consumo energético de calefacción entre un 2 y un 15 % (ver Apartado 5).
- Suaviza las variaciones de la temperatura interna.
- Retrasa las temperaturas máximas en oficinas y edificios comerciales hasta la salida de sus ocupantes.
- Reduce los picos de las temperaturas (máximas y mínimas) y puede hacer innecesaria la climatización.
- Puede emplearse con la ventilación nocturna para eliminar la necesidad de enfriamiento durante el día.
- Cuando se combina con la climatización, puede reducir la energía utilizada hasta en un 50 %.
- Puede reducir el coste energético de los edificios.
- Hace un mejor uso de las fuentes de calefacción de baja temperatura, tales como bombas de calor para suelos radiantes.
- Las reducciones en el consumo energético, tanto de la calefacción como de la refrigeración, reducen las emisiones de CO₂, el principal gas de efecto invernadero.
- Ayudará a los futuros edificios frente al cambio climático.

Cómo puede contribuir el hormigón a que los edificios cumplan la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD)

El estudio sobre el comportamiento energético de los edificios de hormigón, tanto reales como teóricos, pone de mani-

Figura 1b.- Ambiente de oficina confortable proporcionado por el uso de todas las ventajas que aporta la masa térmica del hormigón: Oficinas Centrales de Toyota, Reino Unido (Cortesía de The Concrete Society, Reino Unido).



fiesto la existencia de ventajas en todos los climas europeos siempre que en el diseño del edificio se considere la masa térmica del hormigón. Si este efecto se tiene adecuadamente en cuenta en los procedimientos de cálculo admitidos por la EPDB, se obtiene una mejora en el consumo energético del orden del 2 a 15 % en un edificio de una elevada inercia térmica, en comparación con uno equivalente de baja inercia térmica (ver Apartado 5).

El estudio constata también que un edificio de elevada inercia térmica conserva unas condiciones interiores confortables durante un amplio periodo de tiempo (días) en comparación con un edificio de baja inercia térmica (horas), tanto en condiciones ambientales calurosas como frías. Una correcta combinación de la calefacción, ventilación, del soleamiento, de la estructura de edificio y del enfriamiento nocturno, puede mejorar aún más la utilización de la inercia térmica del hormigón, dando lugar a edificios que se adaptan mejor a las variaciones de temperatura, ayudándoles a mantenerse confortables sin la necesidad de la climatización.

El hecho de que la Directiva reconozca la valiosa contribución de la masa térmica apoyando los conceptos de calefacción y enfriamiento pasivos, supone un gran avance.

El empleo del hormigón en edificios beneficia a todos

Ocupantes y propietarios del edificio

El ahorro energético proporcionado por la inercia térmica del hormigón puede reducir el coste de calefacción y refrigeración, partida significativa dentro de los gastos corrientes del edificio. Esto puede contribuir a mantener la igualdad social al proporcionar unos costes de habitabilidad más razonables. Adicionalmente, la estabilidad térmica aportada por el hormigón ayudará en la consecución de un hogar más confortable en los años venideros, cuando se incrementen los efectos del cambio climático, pudiendo contribuir a mejorar el valor de recompra de los inmuebles. Otras posibles ventajas son las derivadas de los menores costes de inversión en sistemas de calefacción, ventilación y enfriamiento (HVAC).

El medio ambiente

La reducción de gases de efecto invernadero, como consecuencia del ahorro energético que se produce durante la vida de servicio del edificio asociado a la inercia térmica, es una ventaja fundamental. Y es que una gran proporción de las emisiones globales de CO₂ provienen de los edificios, y éstos tienen largas vidas de servicio, por lo que un pequeño disminución en el consumo energético tiene un impacto significativo.

Ahorro de energía a lo largo de la vida de servicio del edificio

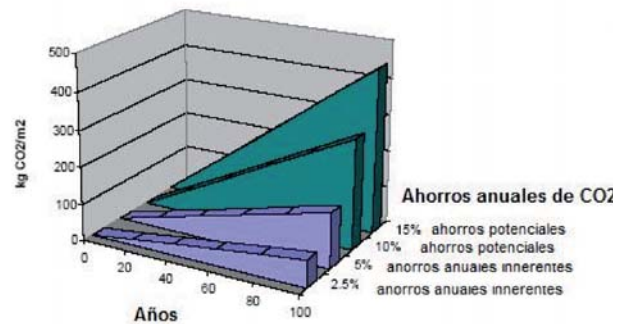
Tomando como base los precios de la energía en Europa, durante el segundo semestre del año 2006, los estudios realizados en edificios residenciales, muestran que el ahorro energético obtenido mediante la utilización de tipos constructivos masivos, los cuales proporcionan una elevada inercia térmica, es de aproximadamente, unos 60 € al año en una vivienda de 70 – 80 m² de superficie. Dado que parece que los precios de la energía no se vayan a mantener estables, y si continúa la espectacular subida de precios de los últimos años, resultará fundamental optimizar las instalaciones de calefacción y refrigeración utilizando de forma más efectiva la inercia térmica.

En la práctica, influirá el comportamiento del usuario, como es el caso del cierre de ventanas y contraventanas, pero no hay duda de que incluso una pequeña mejora proporcionada por el diseño del edificio, acumulará año tras año, sustanciales ahorros a lo largo de la vida de servicio del edificio.

Los ahorros de energía implican significativas reducciones en las emisiones de CO₂

La Figura 1c muestra como incluso modestos ahorros anuales de energía conducen a significativas reducciones en las emisiones de CO₂. Además, recientes estudios realizados en el Reino Unido han mostrado que una vivienda con una inercia térmica de tipo medio, de ladrillo/hormigón en la que se emplee de forma completa su inercia térmica puede devolver su consumo adicional de CO₂, en comparación con una vivienda equivalente con estructura de madera, en un periodo

Figura 1c.- Consecuencias de pequeñas mejoras en los ahorros energéticos anuales.



Nota: Los ahorros inherentes se obtienen automáticamente con un edificio de elevada inercia térmica. Los ahorros potenciales se obtienen si el edificio y sus instalaciones se han diseñado específicamente para una eficiencia energética máxima.

Figura 1d.- Edificio de fábrica de bloques de hormigón en Bonheiden, Bélgica. (Cortesía del arquitecto – Gie Wollaert, Fotógrafo – FEBE, Asociación Belga del Prefabricado, Bélgica).



de 11 años y continuar después proporcionando ahorros de energía y de emisiones de CO₂ a lo largo de la vida de servicio del edificio (Hacker et al 2006).

La contribución de la masa térmica del hormigón en la mejora del ambiente interior de los edificios aumentará a medida que los efectos del cambio climático sean más acusados, ayudando en el futuro a nuestros edificios hasta bien entrado el presente siglo.

Figura 1e.- Edificio de apartamentos energéticamente eficiente situado en Dublín (Irlanda) (Cortesía de Concrete Development Group, Irlanda).



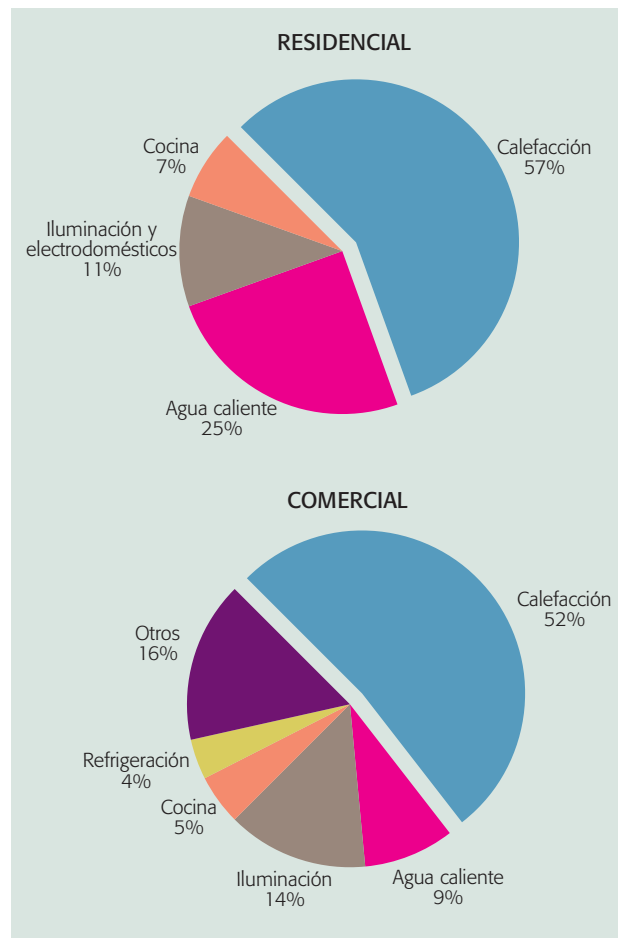
Esta publicación explica cómo la construcción en hormigón puede ayudar a mejorar la eficiencia energética y a aumentar el confort térmico de los edificios.

2. Uso eficiente de la energía en edificios

Es crucial reducir el consumo energético en los edificios debido al significativo papel que puede jugar en combatir el uso insostenible de la energía. Las cifras europeas muestran que el uso de energía en calefacción, iluminación y refrigeración de los edificios es la mayor fuente de emisión de gases de efecto invernadero de la UE, fundamentalmente en la forma de dióxido de carbono. La Figura 2 muestra la proporción de energía utilizada en la UE para distintos usos, tanto en edificios residenciales como en edificios comerciales.

Con el compromiso de reducir, para el año 2010, las emisiones de gases de efecto invernadero a los niveles del año 1990, la Unión Europea probó a introducir mecanismos para disminuir el consumo de energía en los edificios. Como resultado, la Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios, o EPBD (Directiva 2002/91/EC, de 16 de diciembre) se implantó en los Estados Miembros en enero de 2006, de manera que en la UE se pueda asegurar que los edificios

Figura 2a.- Consumo energético de edificios residenciales y comerciales en la UE.

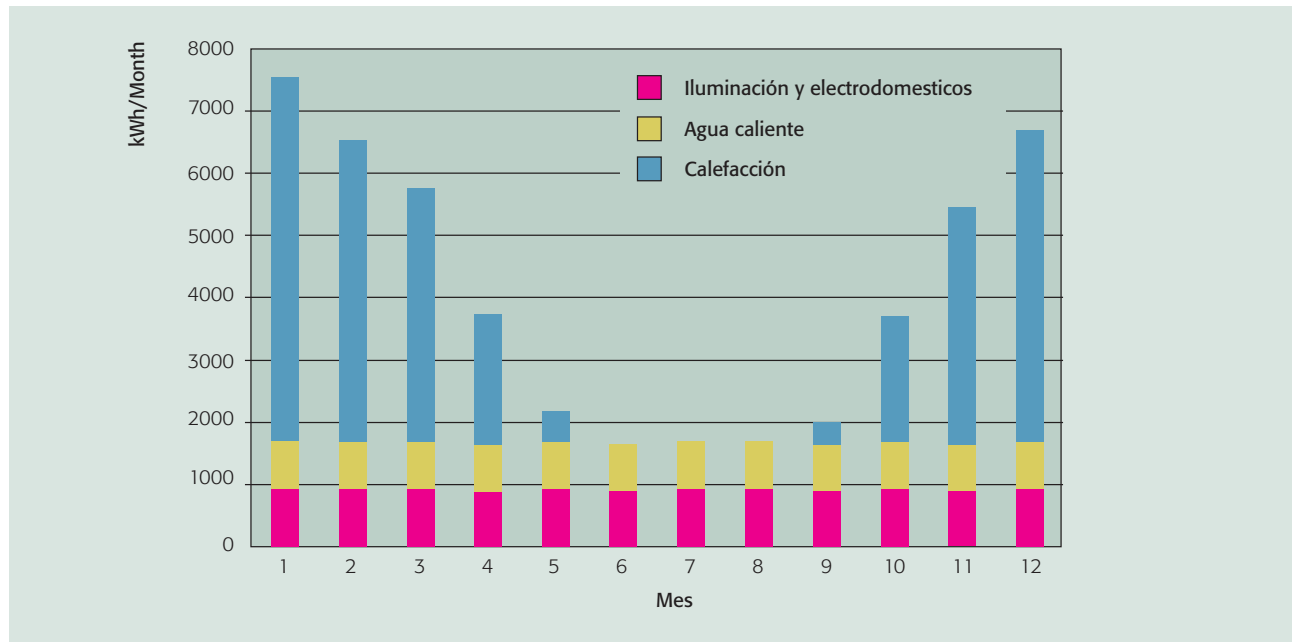


de nueva construcción reducirán el consumo energía. Estos aspectos se tratan con mayor profundidad en el Apartado 4.

Uso de la evaluación energética en edificios

Para cumplir con esta legislación y crear edificios confortables energéticamente eficientes es preciso tener en cuenta todos los parámetros relevantes (incluyendo la inercia térmica). El consumo energético de un edificio puede ser calculado con sencillos procedimientos manuales, utilizando datos estadísticos de las temperaturas exteriores en una localización dada, aislamientos térmicos (valor U) y niveles de ventilación previstos, o bien mediante programas informáticos con modelos matemáticos de flujos termodinámicos (por ejemplo, transmisión, radiación y convección).

Figura 2b.- Consumo mensual en un edificio residencial teórico calculado con el programa Consolis para las condiciones climáticas de Estocolmo.



La EPBD realiza una aproximación holística e integrada del diseño, permitiendo la utilización de una serie de métodos. Admite tanto el empleo de métodos simplificados “estado de cuasi-constante”, como de procedimientos detallados de cálculo dinámico, para los cuales es preciso el empleo de programas informáticos, dada la complejidad inherente de los flujos energéticos. Esto último permite la realización de diseños simulados. Existen numerosos programas energéticos, pero no todos son aplicables a todas las situaciones; por ejemplo algunos están enfocados hacia edificios residenciales pudiendo ser empleados en determinados países o regiones climáticas.

El impacto del cambio climático

Los cambios en el clima mundial tiene el potencial de afectar a las condiciones térmicas en Europa. Con el aumento de la evidencia de los efectos del cambio climático en el entorno construido, De Saulles T (2005) pone de manifiesto en sus investigaciones que muchas oficinas y edificios residenciales experimentaron un sobrecalentamiento a mediados del siglo XXI. Los estudios realizados por Arup R&D sugieren que Londres será tan calurosa como Marsella en el año 2080 (Arup, 2004).

Por esta razón, los edificios deben ser diseñados para preservar la salud y el confort en el futuro —diseñar conforme con la normativa actual puede no ser suficiente para combatir los efectos del cambio climático. Los edificios con elevada inercia térmica proporcionan una buena estabilidad térmica, lo cual es una solución excelente y respetuosa con el medio ambiente, reduciendo o eliminando, en muchos casos, la necesidad de refrigeración mecánica. Hay estudios que ponen de manifiesto que en los edificios con un alto nivel de inercia térmica, los dispositivos solares pasivos^{N.T.} y los controles efectivos de ventilación se comportan especialmente bien (Arup & Hill Dunster Architects, 2004). Este enfoque del diseño puede ser la única vía para el futuro de los nuevos edificios, de forma que el hormigón y los productos cerámicos pueden ayudar a proporcionar una vivienda confortable, ahora y en el futuro.

Flujos energéticos en el interior del edificio

En la Figura 2c se muestran los principios básicos de los flujos energéticos en el interior de los edificios. Es importante el conocimiento de cómo estos flujos interactúan en el interior del edificio para dar lugar al clima interior que experimentamos.

^{N.T.} Passive solar feature: hace referencia a detalles arquitectónicos con los que se trata de obtener una aportación de la energía solar (iluminación, radiación, etc.) Por ejemplo, un mirador, una claraboya, etc.

De hecho, la gestión efectiva de estos flujos ayuda a reducir el consumo energético, un aspecto crítico de las disposiciones relativas a edificios con relación al comportamiento energético.

La energía (como el calor) se transporta por transmisión (conducción), por el movimiento del aire (convección) y/o por radiación.

La **transmisión** depende del aislamiento térmico o, bien de su inversa, la conductividad del material reutilizado en la construcción.

El **movimiento del aire** se controla mediante la ventilación. Es originado, también, por la entrada de corrientes de aire. Actualmente, los edificios están empezando a ser más herméticos para evitar este tipo de flujos no previstos.

Figura 2c.- El calor (energía) fluye dentro del edificio. El calor aumenta con la radiación solar y las aportaciones internas procedentes de la iluminación, la calefacción, los ocupantes y sus equipos. El calor se pierde por las filtraciones de aire a través de las ventanas y la conducción (transmisión) a través de las paredes, ventanas y suelos. El calor se almacena y se libera por la masa térmica del edificio.

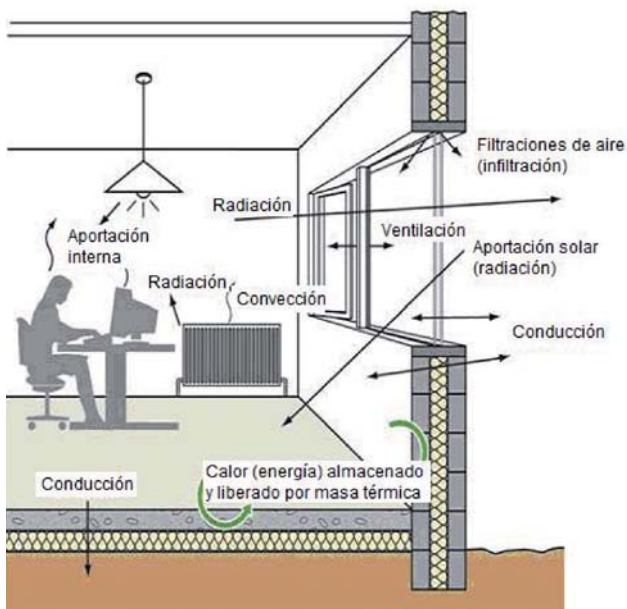


Figura 2d.- Sección de un muro exterior fuertemente aislado, con una cara interior de hormigón convencional para conseguir una buena masa térmica. Esta disposición proporciona un excelente comportamiento térmico anual, mediante la creación de una combinación óptima de flujo de energía y de almacenamiento (Fotografía tomada durante una visita técnica a BedZED, Reino Unido).



Figura 2d.- "ITCLAB" situado en el "Km Rosso" (kilómetro rojo), el centro de investigación e innovación de eficiencia energética de Italcementi diseñado por Richard Meier en Bergamo, Italia. (Cortesía de Italcementi, Italia).



La **radiación** afecta en primer lugar a las zonas acristaladas de un edificio y varía con la latitud y orientación.

La dirección y el tamaño de los flujos energéticos varían a lo largo del día, a lo largo del año y de un lugar a otro, dependiendo

de las condiciones climáticas internas y externas; la presencia de personas y de equipos también tienen su efecto. La capacidad de los materiales de construcción para almacenar y liberar energía en base a su masa térmica tiene un efecto significativo sobre la eficiencia energética del edificio. Esto se produce tanto por la ventilación natural, aquella que no precisa de la ayuda de elementos mecánicos, o por el empleo de métodos activos, como puede ser forzar el paso del aire o del agua a través de espirales o conductos dispuestos en losas de hormigón. El concepto de masa térmica se explica con más detalle en el Apartado 3.

En la práctica existen dos importantes objetivos relativos a la eficiencia energética:

1. Minimizar la cantidad de energía que consume el edificio.
2. Asegura que el edificio mantiene un nivel de confort térmico apropiado para sus ocupantes.

El hormigón ayuda a los edificios a alcanzar ambos objetivos, tal y como se explica en detalle en el Apartado 3.

3. El uso de la energía y el hormigón en edificios

La utilización de la masa térmica del hormigón puede reducir el consumo de energía al moderar la necesidad de calefacción y de refrigeración del edificio. La inercia térmica

proporcionada tiene el efecto de suavizar los picos de temperatura —rebajando y retrasando el comienzo de los picos de las temperaturas internas— manteniendo un ambiente interior más estable y confortable (ver Figura 3a). Esta circunstancia se contempla en la metodología empleada en la norma ISO 13790, que apoya la EPBD (ver Apartado 4).

Como todo material masivo, el hormigón actúa como acumulador. Durante las estaciones del año en las que es preciso el uso de la calefacción, almacena la energía procedente de los incrementos de calor producidos por la acción solar o por la actividad de los ocupantes del edificio, y la libera más tarde a lo largo del día (ver Figura 3b). Por otro lado, la capacidad del hormigón de enfriarse durante la noche, y aportar posteriormente este enfriamiento al interior del edificio durante el día, es otra forma de contribuir al confort térmico interior durante el verano.

El hormigón proporciona una masa térmica muy elevada y un nivel de aislamiento que aunque moderado, merece la pena ser tenido en cuenta. La masa térmica tiene un efecto positivo en el uso de la energía y en el confort térmico de los edificios, pero hasta hace relativamente poco este aspecto no ha sido incorporado en la reglamentación correspondiente (ver Apartado 4).

Durante el transcurso del día el nivel de masa térmica proporcionada por un material determinará la profundidad a la que el calor puede penetrar y como consecuencia, la eficacia con la que puede actuar como acumulador térmico.

Figura 3a.- Influencia de la masa térmica en el confort. (Fuente, Masa Térmica para Viviendas, The Concrete Centre, Reino Unido).

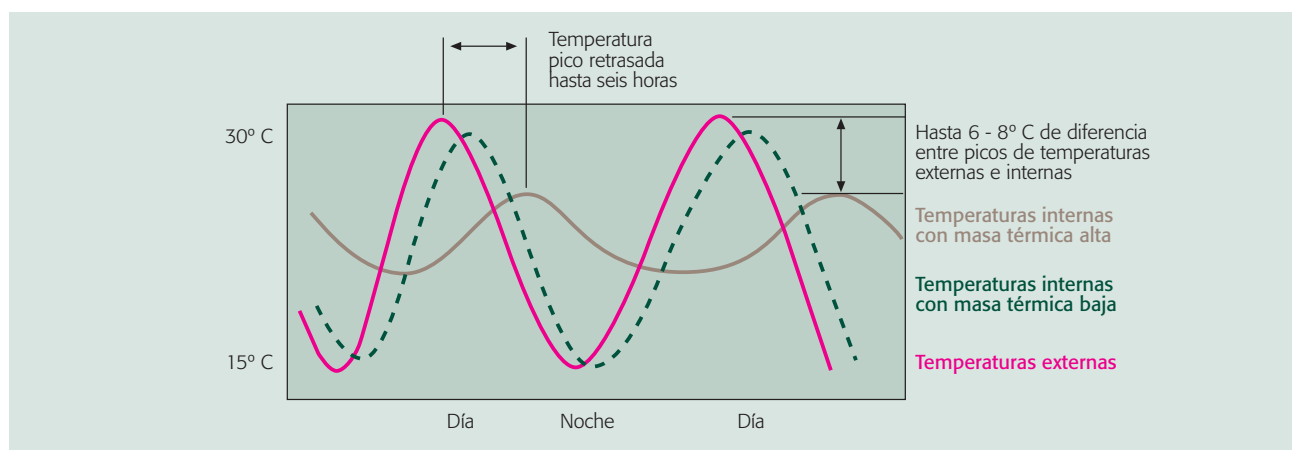
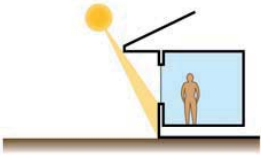
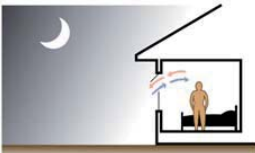
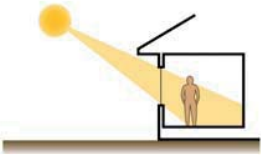


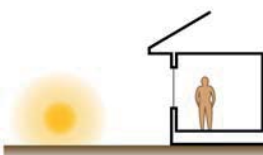


Figura 3b.- Enfriamiento pasivo en verano y almacenamiento y liberación de la energía acumulada en invierno (Cortesía de The Concrete Centre, Reino Unido).

Masa térmica durante el verano			
	<p>De día En días calurosos las ventanas permanecen cerradas para evitar la entrada de calor, y las contraventanas (persianas) se ajustan para minimizar las aportaciones solares. El enfriamiento lo proporciona la masa térmica. Si las temperaturas son menos extremas las ventanas pueden estar abiertas para proporcionar ventilación.</p>		<p>De noche Si el día ha sido caluroso, los ocupantes abren las ventanas para permitir que la noche enfríe la masa térmica.</p>
Masa térmica durante estaciones con calefacción			
	<p>10:00 am a 5:00 pm La luz del sol entra por las ventanas orientadas al sur e incide sobre la masa térmica. Esto calienta el aire y la masa térmica. En los días más soleados el calor del sol puede mantener el confort desde media mañana hasta el final de la tarde.</p>		<p>5:00 pm a 11:00 pm Tras la puesta del sol, se ha almacenado una considerable cantidad de calor en la masa térmica, que se va liberando poco a poco, ayudando a mantener las condiciones de confort durante la noche.</p>
	<p>11:00 pm a 7:00 am Los ocupantes ajustan la calefacción al mínimo necesario. Una buena hermeticidad y aislamiento minimizan la pérdida de calor.</p>		<p>7:00 am a 10:00 am Las primeras horas de la mañana son los peores momentos para que el calor solar mantenga el confort. La masa térmica normalmente ha dado prácticamente la totalidad del calor almacenado, y los ocupantes deben encender la calefacción. Sin embargo, una buena hermeticidad y aislamiento contribuyen a minimizar esta necesidad.</p>

Obtención de la mayor masa térmica

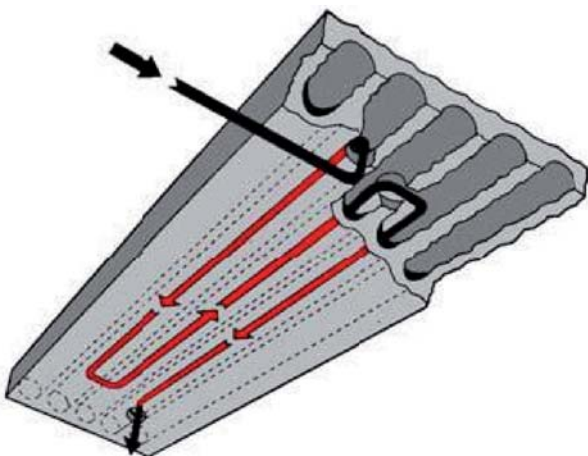
La masa térmica del hormigón funciona mejor en edificios en los que existe un ciclo regular de variación de la temperatura a lo largo del día. Por ejemplo, en colegios u oficinas

en los que el pico de calor interno coincide sustancialmente con el pico de las aportaciones solares, el efecto acumulador del hormigón ayuda a reducir y retrasar el comienzo de los picos de temperatura. La caída nocturna de las temperaturas, coincidiendo con el momento en el que el edificio está des-

ocupado, es una excelente oportunidad para el enfriamiento del hormigón, preparándose así para el día siguiente.

La presencia de acabados internos, como el cartón yeso o la moqueta, producen una reducción de la masa térmica al actuar como capa aislante. Consecuentemente, no todo edificio con una estructura de elevada inercia térmica ha de proporcionar necesariamente un alto nivel de masa térmica. Esto dependerá del grado en que los elementos que componen la estructura interactúen térmicamente con el espacio ocupado. Por ejemplo para intercambiar calor con el ambiente que los rodea. De forma ideal, el aislamiento de los muros exteriores debería situarse detrás de la hoja interior (por ejemplo, en la cavidad), y el aislamiento de los forjados debajo de la losa. Aparte de esto, la regla general a seguir, siempre que fuera posible, es que la superficie del hormigón debe quedar térmicamente expuesta mediante la utilización de acabados tales como pintura, azulejos o enfoscado. Una sencilla regla

Figura 3c.- Sistema Termodeck. Un sistema de ventilación mecánico hace pasar aire a baja velocidad a través de los conductos de una losa alveolar, conectados en forma de serpentín, asegurando un prolongado contacto entre el aire y el hormigón para obtener una buena transferencia de calor. En cada losa, se emplean con este objeto tres de los cinco conductos existentes, y en la cara inferior de la losa se sitúa un difusor de aire, por ejemplo soffit. (Dibujo cortesía de Termodeck®, Suecia).



empírica es que para ser efectiva la masa ha de ser “visible” hacia la fuente interna de calor.

Aunque que algunos tipos de construcción de muros de hormigón pueden emplear un aislamiento interior evitando que se produzcan puentes térmicos, todavía es posible conseguir un nivel significativo de masa térmica en el interior de un edificio mediante el empleo de forjados de hormigón.

En aquellos climas en los que las temperaturas permanecen muy calientes o muy frías durante largos periodos de tiempo, las medidas pasivas consistentes en utilizar la masa térmica resultan menos efectivas, y por tanto son más útiles las medidas activas (mecánicamente asistidas). En este caso, la energía se transfiere a través de tuberías de agua o de conductos de aire alojados en el interior de la losa de hormigón que constituye el forjado (ver Figura 3c). La elevada conductividad térmica del hormigón facilita la distribución del calor procedente del agua o del aire a la habitación. Esta circunstancia es también útil en aquellos lugares donde tiene lugar una elevada aportación de calor interno, como por ejemplo en oficinas con un elevado número de equipos de informática o de otro tipo, ya que el agua/aire frío puede aumentar la capacidad de la losa de absorber calor.

Estudios sobre la masa térmica

Aunque el efecto de la masa térmica es bien conocido, un grupo de la Universidad de Tampere en Finlandia (Hietamäki et al. 2003) recopiló una útil perspectiva general del mismo. Para ello, examinó 28 publicaciones internacionales sobre el tema de las que extrajo una serie de conclusiones, entre las que se incluyen las siguientes:

- Existe un ahorro del 2 - 15 % en energía de calefacción debido a la masa térmica. En las condiciones climáticas del norte de Europa se produce un ahorro del orden del 10% si se compara la energía consumida por edificios con baja inercia térmica y elevada inercia térmica.
- Cuando no se utiliza la refrigeración en verano, las mayores temperaturas internas en un edificio elevada inercia térmica son entre 3 – 6 grados inferiores a las que se producirían en un edificio baja inercia térmica

- equivalente. Por lo tanto, una elevada masa térmica puede reducir la necesidad de refrigeración.
- La ventilación nocturna de los edificios de oficinas puede reducir, o incluso evitar el uso de la refrigeración mecánica. Cuando se combina con una elevada masa térmica, la reducción de la energía necesaria para refrigeración llega hasta el 50 %.
 - En una vivienda unifamiliar la combinación de una elevada masa térmica y una adecuada hermeticidad, puede suponer un ahorro de hasta un 20 % en el consumo energético de calefacción, en comparación con una vivienda baja con inercia térmica equivalente.

Figura 3d.- Instituto energéticamente eficiente situado en Gislaved (Suecia), construido en 1993 con el sistema TermoDeck que fue ampliado en 2006 ocupando un área total de 12.000 m². (Cortesía de Strängbetong, Suecia)



Un estudio noruego evalúa el comportamiento en verano de una vivienda unifamiliar con ventilación nocturna y el de un edificio de oficinas con ventilación nocturna o con refrigeración y diferentes regímenes de funcionamiento (Dokka T. H., 2005). La simulación utiliza los datos correspondientes al clima noruego, y emplea un modelo dinámico de energía de un programa comercial. Los resultados indican que el edificio residencial con elevada inercia térmica necesita, aproximada-

mente, un 7 % menos de energía que el edificio con baja inercia térmica, y que la masa térmica del hormigón ejerce una gran influencia en el confort térmico. En el caso de la oficina, la diferencia en la energía necesaria de calefacción fue del 10 %, mientras que para la refrigeración el edificio con baja inercia térmica precisaba más del 30 % adicional de energía. Con el enfriamiento pasivo mejorado mediante la ventilación nocturna, en el edificio con baja inercia térmica existía todavía un recalentamiento excesivo, con temperaturas superiores a 26 °C durante 179 horas del periodo de ocupación. Los resultados de recientes investigaciones sobre la materia se resumen en el Apartado 5 de esta publicación.

4. La Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD)

La Directiva sobre Eficiencia Energética de los Edificios (Directiva 2002/91/EC, de 16 de diciembre) entró en vigor para los Estados Miembro en enero de 2006, de manera que la UE pueda asegurar que los edificios de nueva construcción utilizaran menos energía. La ocupación y el uso de los 160 millones de edificios existentes en la UE son responsables del 40 % del consumo de energía y suponen la principal fuente de emisiones de CO₂ de la región. En estos momentos, sin embargo, esta Directiva únicamente es de aplicación a edificios con una superficie total superior a 1.000 m².

Los requisitos de la Directiva

La Directiva contiene un conjunto de disposiciones y herramientas sobre la eficiencia energética que influyen en el diseño y el funcionamiento de los edificios. En esta publicación, se destaca la contribución potencial del hormigón a los objetivos de la EPBD, por lo que no se verán en detalle todos los aspectos de la mencionada Directiva. En esencia, la EPBD exige que los gobiernos, proyectistas y clientes adopten medidas para:

- Proporcionar un marco común para una metodología de cálculo de la eficiencia energética integral de los edificios.

Nota: La inercia térmica es directamente proporcional a la masa térmica.

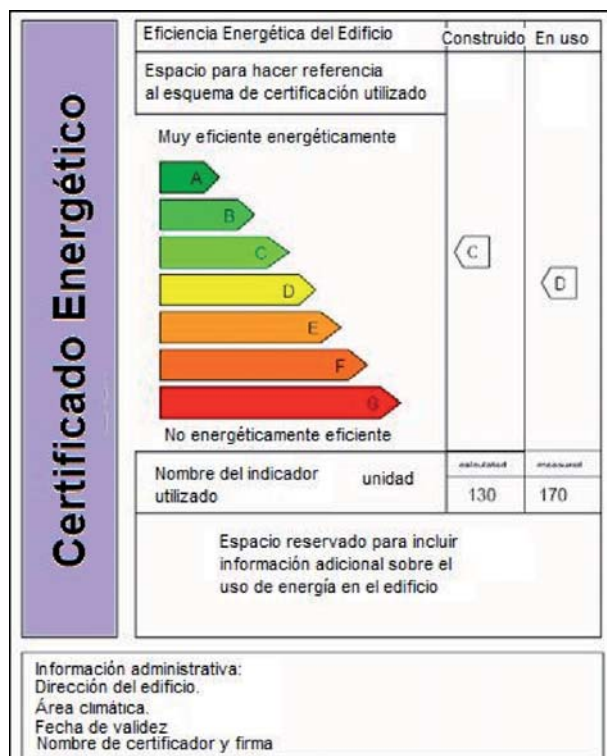
- Disponer los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios, incluyendo los necesarios para refrigeración.
- Exigir que se comprueben las medidas de uso de energía en los edificios acabados, y que éstas sean conformes.
- Permitir la incorporación de un indicador de CO₂ en la evaluación de la eficiencia energética, que promueva el uso de energías alternativas (tales como paneles solares).
- Establecer que los conceptos de calefacción o refrigeración pasiva sean utilizados.
- Establecer que una buena eficiencia energética no debe estar en conflicto con la calidad del ambiente interior.
- Imponer un sistema de certificación energética de los edificios, que incremente la conciencia por este tema y mejore el valor de mercado de la eficiencia energética (ver Figura 4a).

En los cálculos de eficiencia energética previos, los proyectistas y especialistas energéticos necesitan diseñar de acuerdo a los valores U prescritos para los diferentes elementos de la estructura del edificio —forjados, muros y techo. En algunos países, se emplea una regulación más holística de la “Eficiencia Energética” (EP) (el consumo de energía del edificio se expresa en kWh/m²) y así se ha adoptado en la nueva Directiva. El paso de los valores U individuales al principio de la EP abre la posibilidad de incluir aspectos tales como la masa térmica y la hermeticidad en la evaluación del comportamiento energético de los edificios.

La EPBD adopta una visión amplia de la eficiencia energética e introduce un criterio integrado de la misma, de manera que en el diseño pueden tenerse en cuenta aspectos como la masa térmica. La Directiva exige que se tengan en cuenta, al menos, los siguientes aspectos:

- Las características térmicas del edificio (por ejemplo, su piel externa y su tabiquería interna), incluyendo su hermeticidad.
- Instalaciones de calefacción y agua caliente, incluyendo sus características de aislamiento.
- Sistemas de aire acondicionado.
- Sistemas de ventilación mecánica.
- Instalaciones empotradas de iluminación (principalmente en edificios no residenciales).
- Posición y orientación del edificio, incluyendo el clima exterior.
- Sistemas solares pasivos y protección solar.
- Ventilación natural.
- Condiciones climáticas internas, incluyendo el clima interior diseñado.

Figura 3d.- Ejemplo del aspecto de un certificado energético del edificio. (Cortesía de www.eplabel.org).



Predicción del uso de la energía en el edificio

La implantación de la Directiva precisa de una serie de normas, entre las que destaca por su importancia la EN ISO 13790 “Comportamiento térmico de los edificios – Cálculo del uso de la energía para calefacción y refrigeración” (CEN 2005), que define la evaluación de la masa térmica y de la hermeticidad, estableciendo cómo predecir el uso de la energía de un edificio. La norma EN ISO 13790 contempla tanto la utilización de un método simplificado “estado cuasi-constante”, como de detallados cálculos dinámicos.

Los métodos dinámicos modelizan el comportamiento termodinámico real de una habitación o de un edificio, pero dependen en gran manera de un diseño detallado y de datos climáticos, por lo que pueden consumir una gran cantidad de tiempo. Sin embargo, con un acceso más sencillo a los datos climáticos en cada momento, y el desarrollo de un software más accesible, los modelos dinámicos se harán cada vez más populares.

El método "estado cuasi-constante" continua es una aproximación más simple y tiene en cuenta los beneficios de la masa térmica, lo que lo hace ideal para las fases iniciales en las que hay que adoptar una serie de decisiones estratégicas sobre los materiales de construcción que deben emplearse. Evalúa la masa térmica cuantificando las aportaciones de energía libre (por ejemplo, el calor procedente de la radiación solar y de los ocupantes) y energía comprada, más de la que puede ser utilizada en un edificio con elevada inercia térmica, que, por lo tanto, precisará una menor cantidad de energía comprada que un edificio con baja inercia térmica. La forma en la que esto se calcula se muestra en la Figura 4b, pudiéndose ver que una gran parte de las aportaciones de energía libre pueden emplearse en un edificio con elevada inercia térmica. Este es un aspecto importante de la norma EN ISO 13790.

5. Demostración de la eficiencia energética del hormigón

Para establecer hasta donde es capaz el hormigón de mantener un clima interior estable mientras minimiza el consumo de energía, se llevaron a cabo una serie de ensayos (Johannesson et al, 2006) (Johannesson G., Lieblang P., y Öberg M.) utilizando un diseño teórico del edificio. El objetivo fue investigar el balance energético en edificios residenciales y de oficinas en varios climas europeos (desde Suecia hasta Portugal), tanto para edificios con elevada inercia térmica como con baja inercia térmica. Para ello, se diseñó un sencillo edificio de dos plantas, que se muestra en la Figura 5a, válido

Figura 5a.- Imagen del edificio teórico empleado en los ensayos de energía.

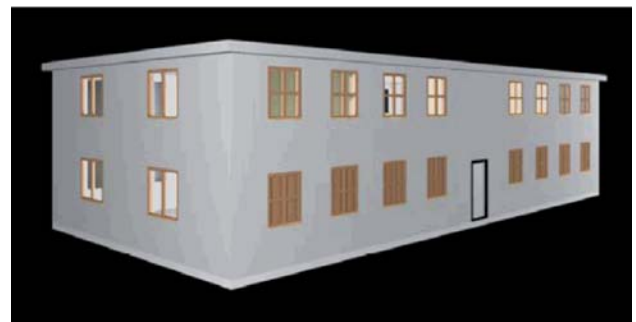
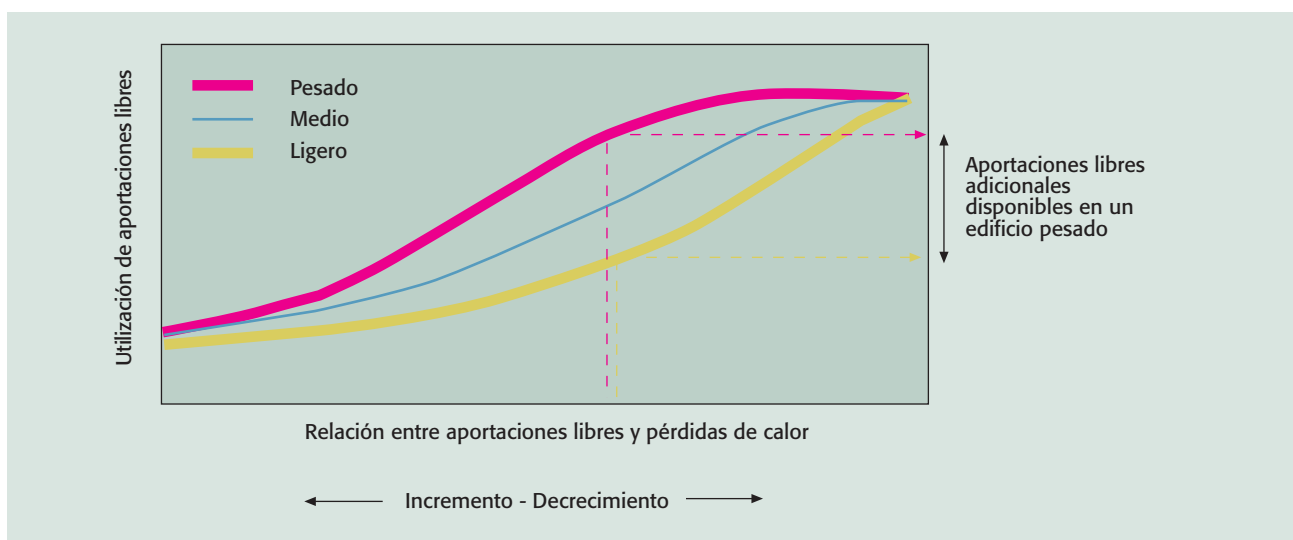


Figura 4b.- Utilización de las aportaciones libres de energía de acuerdo con EN ISO 13790 (simplificado por esta guía). El ejemplo muestra que, para una relación aportaciones libres/pérdidas de calor dada, un edificio pesado proporciona una mayor utilización que un edificio ligero.



tanto para uso residencial como de oficinas. Se emplearon dos configuraciones distintas: la opción con elevada inercia térmica con forjados, y muros exteriores e interiores de hormigón, y la opción con baja inercia térmica en la que se empleaba una típica estructura de madera o metálica ligera, con la excepción de una solera de hormigón. En ambos casos, el aislamiento térmico utilizado fue similar, de manera que pudiese estudiarse con precisión la influencia de la masa térmica.

Cálculo del comportamiento energético teórico

Hay disponibles una serie de programas de ordenador para calcular el uso de energía en un edificio, muchos de los cuales fueron desarrollados como respuesta a la formulación de la norma ISO 13790. En el estudio sobre el comportamiento energético del hormigón se utilizaron cinco programas procedentes de Dinamarca, Alemania y Suecia. Tres de ellos se basan en el método de estado de cuasi-constante, otro es un programa dinámico general y el último utiliza ambos procedimientos en paralelo.

Los resultados obtenidos utilizando las cinco opciones teóricas de diseño del edificio muestran que el edificio con eleva-

da inercia térmica de hormigón ofrece una ventaja significativa en términos de eficiencia energética cuando se compara con una construcción equivalente con baja inercia térmica. Los cinco programas mostraron también un mejor comportamiento de la opción elevada inercia térmica del edificio.

En construcción residencial, con una orientación neutral de las ventanas, un edificio con elevada inercia térmica de hormigón necesita 2 – 9 % menos de energía primaria o comprada (1,5 a 6 kWh/m²·año) en comparación con una opción similar de baja inercia térmica. La ventaja de la opción con elevada inercia térmica se incrementa cuando aumenta el número de ventanas orientadas hacia el sur. La Figura 5b muestra como un edificio con elevada inercia térmica con ventanas orientadas hacia el sur necesita menos energía de refrigeración que un edificio ligero con una orientación neutral de sus ventanas. En otras palabras, los edificios con elevada inercia térmica permiten la máxima utilización de la energía solar con un mínimo de problemas de confort.

Las ventajas que presenta el hormigón son todavía más impresionantes en el caso de un edificio de oficinas

Figura 5b.- Resultados del cálculo de la energía de calefacción y de refrigeración necesaria en un edificio con elevada inercia térmica y baja inercia térmica del tipo mostrado en la Figura 5a. En este caso, el modelo utilizado fue el de un edificio residencial en Estocolmo, Suecia.

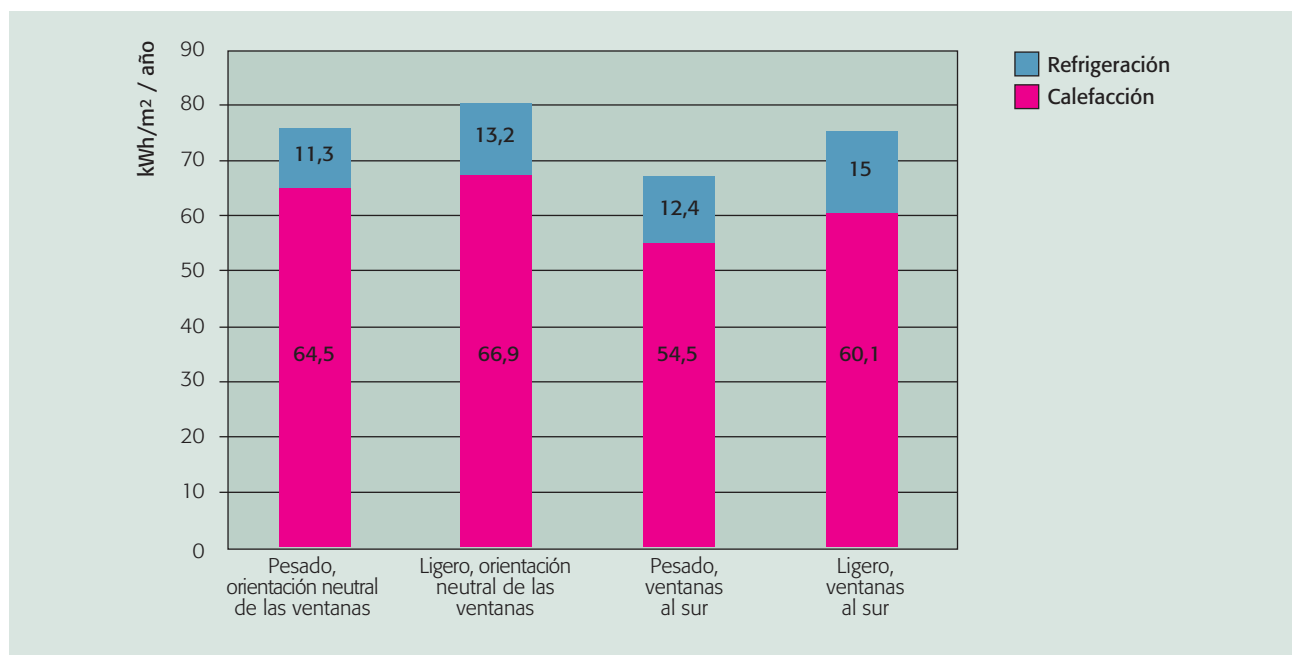


Figura 5c.- Torre Verde, edificio residencial de hormigón de 12 plantas y de 7.200 m² energéticamente eficiente situado en Lisboa, Portugal. La monitorización muestra que emite alrededor de 24 t de CO₂ menos al año que un edificio convencional del mismo tamaño. El sistema térmico solar suministra el 70% del calor requerido para el consumo doméstico de agua caliente del edificio. (Cortesía de Tirone Nunes, S.A., Portugal)



Figura 5d.- Vivienda urbana hormigonada in situ en Bruselas, Bélgica (Cortesía del arquitecto – Jöel Claisse Architectures; Fotógrafo – Jean-Paul Legros, Bélgica). (Cortesía de Tirone Nunes, S.A., Portugal)



(7 – 15%), donde el efecto de la masa térmica es más acusado. El diseño de la oficina incluye la climatización (para sobrellevar la gran aportación de calor interno producido por el personal y el equipamiento de oficina), pero la opción con elevada inercia térmica hace uso de su masa térmica para minimizar la necesidad de refrigeración y, por tanto, comportarse mucho mejor que la opción equivalente con baja inercia térmica. Es difícil evaluar el confort térmico utilizando programas de estado cuasi-constante, pero tomando la reducción en la energía de refrigeración como un índice aproximado del confort térmico, la opción con alta inercia térmica se comporta un 10 – 20% mejor que la opción con baja inercia térmica.

En ambos casos, si la masa térmica ha sido tenida en cuenta en el diseño inicial del edificio, junto con el uso de ventilación y las previsiones con relación a las temperaturas internas, los ahorros de energía pueden incrementarse notablemente.

Figura 5e.-Kvernhuset Youth School en Fredrikstad (Noruega). Edificio energéticamente eficiente que utiliza una mezcla de hormigón para obtener un ahorro de energía y otras soluciones sostenibles. (Cortesía del fotógrafo Terje Heen, localidad de Kvernhuset)



Tabla 1.- Ejemplo de los estudios sobre edificios reales. Uso anual de energía (kWh/m²)

Tipo de edificio	Uso de energía	Pesado	Ligero
Reino Unido/Irlanda semi-independiente. Media de 9 emplazamientos.	Calefacción **	34	35
Semi-independiente, Lisboa	Calefacción *	17	19
	Refrigeración	27	32
	Total	44	51
Multifamiliar, Würzburg	Calefacción *	51	55
Semi-independiente, Estocolmo	Calefacción	78	81

Clave

* Régimen de calefacción constante.

** Promedio de calefacción constante e intermitente para tener en cuenta el uso habitual de la calefacción intermitente en estos países.

Figura 6a y b.- Edificio Ecobox, Fundación Metrópoli para un futur sostenible, edificio de oficinas de hormigón energéticamente eficiente situado en Madrid (España). (cortesía de los arquitectos Vicente Olmedilla y  ngel de Diego, España)



En resumen, los programas proporcionan resultados consistentes tanto para el uso absoluto de energía, como para las relaciones entre edificios con baja y elevada inercia térmica. Los métodos dinámicos y de estado cuasi-constante proporcionan resultados similares para los edificios de hormigón, pero aportan resultados menos consistentes para las opciones con baja inercia térmica. Esto puede ser debido a la menor estabilidad térmica, dando como resultado una pobre predicción de su comportamiento real partiendo de escenarios de ensayo.

Ventajas del hormigón confirmadas mediante el estudio de edificios reales

Sin embargo, para confirmar la validez de los resultados anteriores, se analizaron una serie de edificios en diferentes climas utilizando los mismos programas de ordenador. Se consideraron diversas estructuras alternativas, tanto con baja como con elevada inercia térmica, así como los datos climáticos específicos de la zona.

Los resultados de este estudio de validación se resumen en la Tabla 1, y en líneas generales coinciden con los datos proporcionados por los cinco programas, pero con una interesante aportación en relación a la calefacción intermitente de los edificios. Existe una ligera diferencia entre las construcciones con baja y con elevada inercia térmica cuando se someten a ciclos de calefacción intermitentes, pero sólo cuando la ca da de la temperatura entre sucesivos ciclos de calefacción se minimiza mediante un aislamiento efectivo y una adecuada hermeticidad.



ARUP (2004). Too hot to handle (Demasiado caliente para tocarlo). Building , No. 6, 2004, Londres, Reino Unido.

ARUP/BILL DUNSTER ARCHITECTS (2004). UK Housing and Climate Change - Heavyweight versus lightweight construction (Las viviendas en el Reino Unido y el Cambio Climático – Construcción pesada frente a ligera), Arup Research + Development, Bill Dunster Architects, Reino Unido.

CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers) (2005). Climate change and the Indoor environment: Impacts and adaptation (El cambio climático y el ambiente interior: Impactos y adaptación), TM36, CIBSE, Ascot, Reino Unido.

DE SAULLES T (2005). Thermal mass – a concrete solution for a changing climate (Masa térmica – una solución del hormigón para el cambio climático). The Concrete Centre, Camberley, Reino Unido, 25 pp.

DOKKA T H (2005). Varmelagringsseffekt ved bruk av tunge materialer i bygninger. (Efecto de la acumulación térmica mediante el uso de materiales pesados en edificación.) SINTEF report STF 50 A05045, Trondheim, Noruega (en noruego).

EC (2003). DIRECTIVA 2002/91/EC DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2002 sobre la eficiencia energética de los edificios. Diario Oficial de la Comunidad Europea, Bruselas, 2003.

HIETAMÄKI J, KUOPPALA M, KALEMA T and TAIVALANTTI K (2003). Thermal mass of buildings – Central researches and their results (Masa térmica de los edificios – Estudios centrales y sus resultados). Universidad Tecnológica de Tampere, Instituto de de la Energía y de la Ingeniería de Procesos.

Informe 2003:174. Tampere, Finlandia, 43 pp + Annex. (en finlandés)

CEN (2005). ISO DIS 13790: 2005. Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating (Comportamiento térmico de los edificios – Cálculo del uso de la energía para calefacción), CEN/TC 89, Bruselas, Bélgica.

JOHANNESSON G et al. (2006). Possibility to energy efficient houses by new integrated calculation approach (Posibilidad de casas energéticamente eficientes mediante un nuevo enfoque de cálculo integrado). Byggteknik No. 3, Estocolmo, Suecia 2006, 66 pp. (en sueco).

JOHANNESSON G, LIEBLANG P and ÖBERG M Holistic building design for better energy performance and thermal comfort – opportunities with the Energy Performance of Buildings Directive (Diseño holístico de edificios para una mejor eficiencia energética y confort térmico – oportunidades con la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios”. Enviado en abril de 2006 a la revista internacional International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings”. Div. of Building Technology, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia.

HACKER et al. (2006) Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: a case study on the effects of thermal mass and climate change (Emisiones de dióxido de carbono, integrales y operativas, de la vivienda: un estudio sobre los efectos de la masa térmica y el cambio climático). ARUP Investigación encargada por The Concrete Centre y British Cement Association, Reino Unido.

ÖBERG M (2005). Integrated life cycle design – Application to Swedish concrete multi-dwelling buildings (Diseño integrado de ciclo de vida – Aplicación a edificios suecos de viviendas), Lund University. Division of Building Materials, Report TVBM-3103, Lund, Suecia, 117 pp.

EFICIENCIA ENERGÉTICA UTILIZANDO HORMIGÓN

PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN



El hormigón ofrece inercia térmica y eficiencia energética en favor del usuario, del medio ambiente y de una mayor sostenibilidad (*)

Las ventajas de la inercia térmica

La principal ventaja energética derivada de la utilización del hormigón en los edificios es su elevada masa térmica que conduce a la estabilidad térmica. Ésta **ahorra energía y proporciona un mejor ambiente interior para los usuarios** del edificio.

La inercia térmica del hormigón en edificios:

- Optimiza las ventajas de la aportación solar, **reduciendo la necesidad de calefacción.**
- **Reduce el consumo energético** de calefacción entre un 2 y un 15%, en función del punto de la Unión Europea en el que esté ubicado el edificio.
- **Suaviza las variaciones** de la temperatura interna.

(*) Nota: Textos extraídos del documento "Hormigón para Edificios Energéticamente Eficientes" de la Plataforma Europea del Hormigón

- **Retrasa las temperaturas máximas** en oficinas y edificios comerciales hasta la salida de sus ocupantes.
- **Reduce los picos de las temperaturas** (máximas y mínimas) y puede hacer innecesaria la climatización.
- **Puede emplearse** con la ventilación nocturna **para eliminar la necesidad de enfriamiento** durante el día.
- Cuando se combina con la climatización, **puede reducir la energía utilizada hasta en un 50%**.
- Puede **reducir el coste energético** de los edificios.
- Hace un **mejor uso de las fuentes de calefacción** de baja temperatura, tales como bombas de calor para suelos radiantes.
- Las reducciones en el consumo energético tanto de la calefacción como de la refrigeración, **reducen las emisiones de CO₂**, el principal gas de efecto invernadero.
- **Ayudará** a los futuros edificios frente **al cambio climático**.
- Puede contribuir **a mejorar el valor de recompra** de los inmuebles.
- Puede **reducir el coste de inversión** en sistemas de calefacción ventilación y enfriamiento.

Al medio ambiente:

- La **reducción de gases de efecto invernadero, como consecuencia del ahorro energético** que se produce durante la vida de servicio del edificio, asociado a la inercia térmica del mismo, **es una ventaja medioambiental fundamental**.
- Los edificios tienen larga vida de servicio por lo que **una pequeña disminución en el consumo energético tiene un impacto significativo en las emisiones de CO₂**, ya que una gran proporción de las emisiones globales de CO₂ provienen del consumo energético de los edificios.

Otros datos de interés

- La eficiencia energética de los edificios de viviendas construidos con hormigón conduce a obtener reducciones significativas de las emisiones de CO₂, de modo que en **11 años, la cantidad reducida por el ahorro de energía** que se obtiene en ellos, en comparación con el consumo de energía en edificios de madera, de baja inercia térmica, **compensa la diferencia inicial de emisiones de CO₂** producidas durante la obtención de las materias primas a emplear durante la construcción y el propio proceso de construcción del edificio.
- La elevada **capacidad de almacenar calor del hormigón hace que** un edificio, en el cual las estructuras, los forjados, los muros exteriores y las particiones entre viviendas sean de hormigón, **disponga de una inercia térmica tal que reduzca el consumo energético** anual en 8 kwh/m², en relación con el consumo de energía necesario para la climatización del mismo edificio construido con materiales que proporcionan baja inercia térmica (madera o metales).

Las prestaciones que la inercia térmica del hormigón ofrece al usuario y al medio ambiente

El empleo del hormigón en edificios **beneficia a todos**.

A los ocupantes y propietarios del edificio:

- El ahorro energético proporcionado por la inercia térmica del hormigón puede **reducir el coste de calefacción y refrigeración**, partida significativa dentro de los gastos corrientes del edificio.
- Contribuye a mantener la igualdad social al **proporcionar costes de habitación más razonables**.
- Ayuda a la consecución de **hogares más confortables** ahora y, también, en los años venideros cuando se incrementen los efectos del cambio climático.

La mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero de la Unión Europea es, actualmente, la asociada a la producción de la energía que se consume en los edificios durante su utilización por los usuarios de los mismos. La mayor parte de los gases de efecto invernadero emitidos son dióxido de carbono (CO₂) y la mayor parte de la energía que consumen los edificios se dedica a la calefacción y refrigeración de los mismos (el 56 % de la energía total consumida). Esta es la situación actual motivada por el tipo de edificios que, de forma mayoritaria, se construyen y del tipo de energía que, también de forma mayoritaria se produce para el consumo urbano y doméstico. Es evidente que un incremento de las energías renovables mejorará la situación, pero, con el conocimiento que hoy se tiene sobre el particular, parece que será un proceso lento y con una incidencia moderada. Por tanto es inevitable avanzar en la construcción de un tipo de edificios más eficientes, que funcionen con un menor consumo de energía, que los que actualmente se construyen.

La palabra "tipo" aplicada al edificio nos sirve, aquí, para identificar una tipología de edificio en su conjunto y en las partes pasivas del mismo, es decir, estructura, cerramientos de fachada y particiones interiores entre diferentes viviendas. No nos referimos a alternativas de diseño bioclimático o medioambiental que son herramientas que puede utilizar el proyectista del edificio para mejorar las condiciones del mismo y cuyo efecto favorable se sumará a la situación inicial que el diseño acertado de estructura, cerramientos de fachada y particiones interiores entre viviendas, crea. También se sumará, como un beneficio más, la disminución del consumo de energía derivado de un adecuado diseño de las instalaciones que, mediante el empleo de programadores, ajustan el consumo a las demandas de carácter cíclico o intermitente.

Considerando que, en la situación actual, la edificación más sostenible es aquella que permite al usuario utilizarla con el menor consumo de energía a lo largo de toda la vida de servicio de la misma y con menor coste de mantenimiento, es evidente que el esfuerzo de construir edificios más eficientes, que reduzcan la demanda energética precisa para su funcionamiento, aumentará la sostenibilidad de nuestras construcciones.

Siendo la sostenibilidad un concepto global en el que hay que considerar aspectos energéticos, medioambientales, económicos y sociales y que su caracterización exige determinar los valores mediante el análisis del ciclo de vida, es decir, desde el origen de las materias primas hasta la demolición y posterior recuperación y/o reciclaje de residuos, o bien acondicionamiento final del vertedero que recibe lo que no es valorizable, las acciones que se conciben como necesarias para incrementar la sostenibilidad de lo construido presuponen que el beneficio que producen es consecuencia de un balance completo, en el que los consumos de energía del usuario a lo largo de la vida útil del edificio son fundamentales.

El caso que nos ocupa: construir edificios con menor demanda energética, está aceptado unánimemente como una acción necesaria. La Directiva sobre Eficiencia Energética de los Edificios (Directiva 2002/91/EC de 16 de diciembre) en vigor para los Estados miembro de la Unión Europea desde enero de 2006, pretende que los edificios de nueva construcción utilicen menos energía durante su vida de servicio y, actualmente, es de aplicación a edificios con una superficie total superior a 1.000 m². En España, el Código Técnico de la Edificación vigente y de obligado cumplimiento incluye, con el mismo fin, el Documento Básico HE (Ahorro de Energía).

La exigencia básica HE1: Limitación de demanda energética se enuncia en el Código Técnico de la Edificación como sigue: "Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso de edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire, exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que pueden perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrótérmicos en los mismos."

El hormigón como material de construcción se caracteriza por su capacidad resistente a compresión, por su capacidad resistente, en general, como hormigón estructural (arma-

Nota: La inercia térmica que aporta un material es directamente proporcional a su espesor e inversamente proporcional a su coeficiente de conductividad térmica



do y pretensado), por su elevada resistencia al fuego y su capacidad de compartimentación en situación de incendio, por su capacidad de aislamiento acústico y por su elevada inercia térmica, así como por sus costes de mantenimiento irrelevantes.

La elevada inercia térmica que el hormigón proporciona mejora el rendimiento energético y aumenta el confort térmico del edificio

La legislación vigente, tanto la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios como el Código Técnico de la Edificación, consideran los conceptos de calefacción y enfriamiento pasivo, reconociendo así la valiosa contribución de la inercia térmica a la reducción del consumo energético de los edificios. Un edificio con elevada inercia térmica conserva unas condiciones interiores confortables durante un largo periodo de tiempo, que puede llegar a medirse en días. En ellos la disposición de medidas activas, como una inteligente combinación de la ventilación, el soleamiento, el enfriamiento nocturno y el funcionamiento de las instalaciones de climatización, puede aprovechar adecuadamente la inercia térmica del hormigón, resultando edificios que se adaptan muy bien los cambios de temperatura exterior con muy poco consumo de las instalaciones de climatización. Son edificios ideales para que las decisiones propias del diseño bioclimático y medioambiental resulten de la máxima eficacia.

En la primera parte del trabajo de investigación sobre el comportamiento del hormigón como material de alta inercia térmica que la Unidad de Calidad en la Edificación del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja está realizando para el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), se estudian las prestaciones térmicas del hormigón como material de alta inercia térmica por su capacidad de almacenar y devolver energía y se analiza la mejora que desde el punto de vista de la demanda energética supone una buena utilización de la masa térmica del hormigón, todo ello dentro del marco reglamentario del Código Técnico de la Edificación.

Para ello se ha realizado, a nivel de cálculo, la evaluación de la demanda energética de edificios tipo de uso residencial (vivienda). La evaluación se ha llevado a cabo con el programa LÍDER (programa oficial de cálculo de la limitación de la demanda energética de los edificios, del Código Técnico de la Edificación) y se han comparado los resultados de demanda de calefacción y refrigeración de los edificios considerados.

Se han estudiado tres tipos de edificios de viviendas: unifamiliar aislada, viviendas unifamiliares adosadas y bloque de viviendas en manzana cerrada. Todas las viviendas tienen una superficie útil de 100 m².



Se han estudiado dos tipos de edificación, uno de ellos convencional y otro de elevada inercia térmica empleando hormigón.

El cerramiento de fachada y los tipos de huecos se han ajustado al cumplimiento de las exigencias del documento básico DB-HE del Código Técnico de la Edificación.

De modo general, el cerramiento del tipo convencional está constituido por: medio pie de fábrica de ladrillo de cara vista al exterior, más aislante térmico, más cámara de aire no ventilada, más trasdosado de ladrillo hueco sencillo, más enlucido de yeso hacia el interior de la vivienda. El cerramiento de hormigón está formado por: una capa de terminación hacia el exterior que, a efectos de cálculo, se ha considerado como un enfoscado, más aislamiento térmico, más pared de hormigón de 20 cm de espesor, más enlucido de yeso hacia el interior de la vivienda. Obviamente la capa de terminación hacia el

exterior puede ser cualquiera. En este trabajo se ha tratado de cuantificar el efecto de la pared de hormigón dispuesta entre la capa de aislamiento térmico y el interior del edificio.

En el tipo de edificio convencional, la cubierta es de tablero de rasilla y cámara de aire ventilada sobre forjado unidireccional con entrevigado cerámico. Los forjados de las plantas son unidireccionales con entrevigado cerámico y las particiones interiores entre viviendas están formadas por tabicón de ladrillo hueco doble enlucido de yeso.

En el edificio de elevada inercia térmica obtenida empleando hormigón, la cubierta es plana sobre forjado de losa maciza de hormigón, los forjados de planta son losas macizas de hormigón y las particiones interiores entre viviendas están formadas por un panel de hormigón de 12 cm de espesor enlucido de yeso. En cada tipo de edificio y en cada zona climática, manteniendo siempre una orientación neutra (cada una de las cuatro caras del perímetro del edificio orientada a uno de los cuatro puntos cardinales) se ha calculado la demanda energética anual tanto de calefacción como de refrigeración.

El resultado es el siguiente.

El edificio de hormigón demanda anualmente un 22,84 % menos de climatización. Este es el valor medio que se obtiene considerando las doce zonas climáticas, los diferentes tipos de edificios considerados y un periodo de climatización de nueve meses al año, distribuido en cinco meses con demanda de calefacción y cuatro meses con demanda de refrigeración. Se observa que la reducción de la demanda de refrigeración es superior a la de calefacción.

También se observa que la influencia negativa de los puentes térmicos en la solución convencional es importante, aunque inevitable. Con objeto de que la comparación de resultados se refiera, exclusivamente, a la influencia de la inercia térmica, se ha realizado un cálculo, teórico, de los tipos de edificio convencional sin puentes térmicos. El resultado obtenido ha sido el siguiente.

El edificio de hormigón demanda anualmente un 16,87 % menos de climatización. Este es un valor medio obtenido como se ha indicado anteriormente. Se sigue observando que la reducción de demanda de refrigeración es superior a la de calefacción.

Cuando el documento básico del Código Técnico de la Edificación relativo al aislamiento acústico entre en vigor, es posible que se deba ajustar el espesor de los cerramientos de fachada y de las particiones entre viviendas, al espesor suficiente para cumplir los requisitos del mismo. Es posible que un espesor igual a 16 cm sea suficiente para satisfacer el requisito más exigente. En todo caso, el orden de magnitud de los resultados indicados en los párrafos anteriores no variará sustancialmente.

El hormigón como “nuevo” producto para una construcción sostenible

Dada la expresada capacidad del hormigón para ofrecer una alta inercia térmica que reduce, a lo largo de toda la vida útil del edificio, la demanda energética de los edificios con él construidos, se abre una oportunidad de reflexionar sobre el mejor aprovechamiento de este material en la edificación.

La consideración global de todas las prestaciones que el hormigón ofrece, nos descubre un “nuevo” material de construcción bien conocido desde hace muchos años, pero solamente apreciado de una forma parcial como material resistente.

Estudiar, como si de un nuevo material se tratara, el conjunto de sus prestaciones: elevada resistencia y durabilidad; buena resistencia al fuego y capacidad de compartimentación frente al incendio; suficiente capacidad de aislamiento acústico; reducción de la demanda energética del edificio debido a la elevada inercia térmica que proporciona; capacidad manifiesta de formar el esqueleto estructural; costes de mantenimiento irrelevantes; capacidad de mejorar la sostenibilidad de los edificios con él construidos, abrirá las posibilidades de nuevos diseños y procedimientos constructivos que permitirán a los arquitectos concebir soluciones más sostenibles dotadas con la capacidad funcional y la expresión formal que consideren apropiadas a cada caso.