

# HORMIGONES CON MATERIALES DE CAMBIO DE FASE: UNA TECNOLOGÍA MADURA QUE PERMITE EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Vivienda unifamiliar/proyecto Austria



Los beneficios que aportan los materiales de cambio de fase en soluciones constructivas para edificación se han demostrado en diferentes proyectos de investigación. Sin embargo, han tenido una aplicación práctica en el mercado muy reducida, y prácticamente nula en el caso de soluciones constructivas en hormigón, principalmente porque no se ha logrado su industrialización. Las investigaciones realizadas durante el proyecto Inphase han permitido desarrollar un material con un gran potencial de aplicación tanto en obra nueva como en rehabilitación y una versatilidad que permite su uso tanto en

cerramientos como en forjados térmicamente activados e incluso la combinación con tecnologías complementarias como pueden ser los suelos radiantes.

**E**n la actualidad, el sector de la edificación supone, aproximadamente, el 40% del consumo energético actual en Europa. En el caso de España, dicho consumo representa un 24% del consumo total de energía<sup>1</sup> y, dentro de los edificios, el consumo energético relativo a la climatización de los mismos representa el 42% del total. Por otro lado, el consumo energético de un edificio residencial durante la fase de uso representa, aproximadamente, el 80-90%<sup>2</sup> del consumo total de energía de dicho edificio a lo largo de su ciclo de vida.

Esta realidad, unida a la carestía energética existente a nivel mundial, ha provocado un doble efecto. Por un lado, los usuarios son cada vez más conscientes del coste energético al que se enfrentan y, por otro lado, las administraciones públicas han tomado conciencia de la importancia de limitar el consumo energético en la edificación como vía para combatir el cambio climático y reducir la dependencia energética con el exterior.

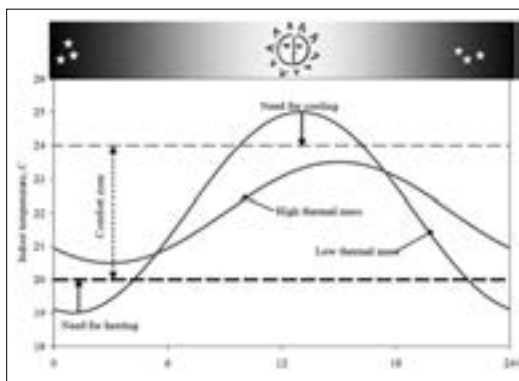
## **Inercia térmica. Estructuras activadas térmicamente**

Para reducir el consumo energético y, por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub>, es previamente necesario reducir la demanda de energía del edificio mediante sistemas pasivos de aislamiento, si bien es imprescindible complementar esta estrategia con sistemas capaces de acumular y devolver calor en régimen dinámico. Este tipo de sistemas requieren de un material con una elevada inercia térmica que permita dicha acumulación de calor, como es el caso del hormigón.

La inercia térmica mejora el comportamiento energético de los edificios porque permite la amortiguación en la variación de las temperaturas y el desfase de la temperatura interior respecto a la exterior, tal y como se puede ver en la figura 1. Esta propiedad se utiliza en construcción de manera pasiva para conservar la temperatura del interior de los edificios más estable a lo largo del día, mediante muros y forjados de gran masa. En invierno, durante el día se calientan, y por la noche, más fría, van cediendo el calor al interior. En verano, por la noche se enfrían, para ceder este frío al ambiente a lo largo del día siguiente.



» César Bartolomé  
Instituto Español  
del Cemento y sus  
Aplicaciones (Ieca)

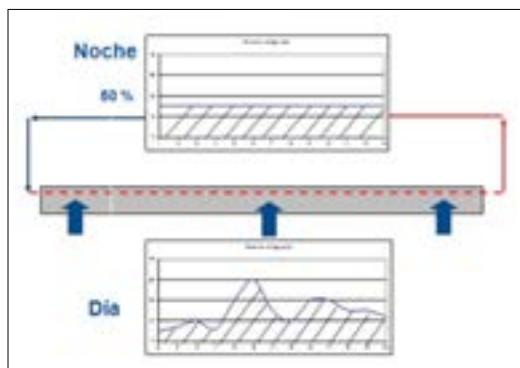


**Figura 1. Atenuación de los picos de temperatura gracias a la inercia térmica del hormigón en cerramientos.**

Existe también la posibilidad técnica de activar la inercia térmica del hormigón mediante un sistema embebido de tubos por los que se circula agua conectado a su vez a una fuente de calor y/o frío. En estos sistemas se acumula energía en la estructura, generalmente forjados pero también en cerramientos, para calentar o enfriar las estancias según la demanda.

Desde el punto de vista del consumo, las dos principales ventajas de este tipo de sistemas son:

- ▶ La acumulación de energía se hace de manera constante, eliminando picos y, por lo tanto, reduciendo el tamaño y la potencia de los equipos de climatización, por lo que se reduce el consumo.
- ▶ La acumulación de energía se hace durante las horas valle, cuando el coste de la energía es menor.



**Esquema de funcionamiento de un sistema inercial activado térmicamente (gráfico de Antonio Villanueva, IDOM).**

Desde un punto de vista de confort térmico, estos sistemas proporcionan paramentos fríos o cálidos, mucho más agradables que las corrientes de aire procedentes de otros sistemas de climatización.

### Gestión de energías renovables

Además de las exigencias en lo relativo al consumo, otro de los requisitos de los ECCN es la utilización de fuentes de energía exclusivamente renovables para cubrir su consumo (que debe ser bajo). Sin embargo, las energías renovables presentan una incertidumbre en su generación que limita su gestión dentro del sistema eléctrico.

El almacenamiento de energía a nivel de red mediante baterías situadas en las centrales es prácticamente irrealizable a gran escala. Para ponerlo en contexto, la batería más grande de este tipo está en China, ocupa el mismo espacio que un campo de fútbol y almacena 36 MWh, lo suficiente para alimentar solo 12.000 hogares durante solo una hora.

La opción más interesante es almacenar la energía de forma distribuida en baterías en los hogares y su entorno cercano o utilizar los sistemas inerciales de la estructura de los edificios como baterías alternativas. De hecho, ya existe una experiencia piloto en la que el Instituto Austríaco del Cemento analizó la posibilidad de cubrir la demanda energética de climatización de un edificio de hormigón únicamente con energía eólica, utilizando los forjados de la vivienda como baterías.

Se trata de una vivienda unifamiliar de dos plantas (ver foto apertura) en la que los forjados estaban activados térmicamente mediante bombas de calor y frío alimentadas exclusivamente con energía eólica.

Los resultados fueron, con carácter general, muy satisfactorios, si bien existían varias ventanas de cinco/seis días de duración en las cuales la demanda del edificio no se pudo cubrir únicamente con energía eólica y fue necesario recurrir a fuentes alternativas.

Esta limitación en la gestión de las energías renovables se debe a la capacidad limitada de almacenamiento de los forjados activados térmicamente. Esta limitación puede superarse mediante la activación de otros elementos estructurales, como los cerramientos o mediante la utilización de materiales innovadores que se integren en la estructura y permitan incrementar la capacidad de almacenamiento natural del hormigón.

### Materiales de cambio de fase

Los materiales de cambio de fase son una tecnología madura que permite el almacenamiento de energía en forma de calor latente aprovechando el elevado valor de la entalpía del cambio de fase. Existen diferentes tipos<sup>3</sup>, siendo su capacidad de almacenamiento de energía del orden de 15 veces superior a la capacidad de almacenamiento del hormigón (ver Tabla 1).

Los beneficios que aportan este tipo de materiales en soluciones constructivas para edificación se han demostrado en diferentes proyectos de investigación<sup>5</sup>. Sin embargo, dichas investigaciones han tenido una aplicación práctica en el mercado muy reducida, y prácticamente nula en el caso de soluciones constructivas en hormigón, principalmente porque no se ha logrado su industrialización.

En el ámbito del hormigón existen investigaciones, en general no comerciales, sobre la integración de PCMs. La incorporación de los PCMs en el hormigón tiene efectos sobre sus prestaciones: reducción de la resistencia, disminución de la densidad, menor conductividad térmica, etc.

Tecnología de almacenamiento	Material	Energía almacenada [MJ/m <sup>3</sup> ]	Energía almacenada [kJ/kg]	Comentarios
Calor sensible	Granito	50	17	$\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Agua	84	84	$\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Calor latente	Agua	306	330	$T_{\text{fusión}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Parafina	180	200	$T_{\text{fusión}} = 5 - 130\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Sal hidratada	300	200	$T_{\text{fusión}} = 5 - 130\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Sal	600-1.500	300-700	$T_{\text{fusión}} = 300 - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Tabla 1. Comparación de la densidad energética entre almacenamiento con calor sensible y almacenamiento con calor latente (o PCMs) [Cabeza 20124].**

La disminución de la resistencia que se produce con la inclusión de PCMs es una desventaja, pero no significativa, ya que este tipo de material se utiliza por sus prestaciones térmicas y no mecánicas. Además, como se trata de un material de alto valor añadido y coste elevado, se busca que su utilización sea específica y no masiva, por lo que no se busca su utilización con fines estructurales dentro del edificio.

Sin embargo, la modificación de las variables energéticas del hormigón debido a la utilización de los PCMs sí supone un reto tecnológico. La disminución de la densidad y de la conductividad térmica provoca que el comportamiento de este material sea ligeramente diferente al del hormigón tradicional. Las principales características de este material son:

- El material tiene una mayor capacidad de almacenamiento que el hormigón tradicional.
- Su baja densidad y menor conductividad térmica hace que su activación mediante ventilación sea muy complicada. Es necesaria su activación mediante tubos de agua.
- Los ciclos de carga y descarga del material se alargan en el tiempo.

En el proyecto Inphase se han analizado estas propiedades en función del porcentaje de PCMs dosificados en peso con respecto al peso total del hormigón, desde un 5% hasta un 20%, para su utilización en cerramientos prefabricados de hormigón para fachadas. Adicionalmente al estudio del material, se ha modelizado su comportamiento térmico mediante CFDs.

La principal conclusión obtenida es que las características del material permiten alargar los ciclos de carga y descarga, de manera que es posible pasar de un ciclo diario a un ciclo que podría llegar a ser semanal, cubriendo totalmente las demandas de calefacción y de refrigeración del edificio sin necesidad de sistemas adicionales.

A priori, esta tecnología permitiría que tanto la carga como la descarga del material se hicieran exclusivamente con energía renovable, superando las limitaciones que presenta un hormigón tradicional y eliminando las posibles incertidumbres en la generación que pudieran existir.

### Potencial de aplicación

Las investigaciones realizadas durante el proyecto Inphase han permitido desarrollar un material con un gran potencial de aplicación tanto en obra nueva como en

rehabilitación. Al tratarse de un producto específico que necesita poco volumen, no incrementa significativamente las cargas muertas de la estructura, por lo que no penaliza el coste global de la misma.

Por este motivo, su utilización es idónea en el caso de obras de rehabilitación energética, ya que se puede incorporar a los forjados tradicionales de vigueta y bovedilla, incrementando considerablemente la inercia térmica de estructuras que carecen de esta propiedad y permitiendo la utilización de tecnologías basadas en la activación térmica de elementos mediante energías renovables.

Además, su versatilidad permite su uso tanto en cerramientos como en forjados térmicamente activados e incluso la combinación con tecnologías complementarias como pueden ser los suelos radiantes.

Pero el verdadero potencial de este material radica en su elevada capacidad de almacenamiento y en la extensión de los ciclos de carga y descarga de un intervalo diario a un intervalo de tres o cuatro días e incluso semanal, en función de la dosificación.

Esta característica, en combinación con sistemas inteligentes de gestión basados en el desarrollo de las TICs y de la gestión de datos ("Big Data"), que tengan en cuenta la generación de energías renovables, el coste de dicha energía, la predicción meteorológica, el comportamiento del usuario... permitirá superar las limitaciones del experimento austríaco y cubrir la demanda de climatización de cualquier tipo de edificio con energías estrictamente renovables, ayudando a la consecución de los objetivos europeos en materia de eficiencia energética en edificación. ✓

(1) Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (Idae).

(2) Common carbon metric for measuring energy use and reporting greenhouse gas emissions from building operations", UNEP Sustainable Buildings and Climate Change Initiative.

(3) Abhat, A.: "Latent Heat Thermal Energy Storage in the Temperature range 20-80°C". (1978) (Bericht IKE 5-209).

(4) Cabeza, L.F. Thermal Energy Storage, In: Sayigh A. (ed.) Comprehensive Renewable Energy, 2012, Vol. 3, pp. 211-253. Oxford: Elsevier.

(5) Use of microencapsulated PCM in buildings and the effect of adding awnings, Pablo Arce et al., Energy and Buildings, Octubre 2011.

### Bibliografía adicional:

- "Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios", Fenercom, 2014.
- "Hormigón para edificios energéticamente eficientes. Los beneficios de la inercia térmica", Plataforma Tecnológica Española del Hormigón, Revista Cemento Hormigón, Febrero 2008 / N° 911, ISSN: 0008-8919. PP.: 54-70.
- "Los requisitos del Código Técnico de la Edificación. Eficiencia energética e incremento de la sostenibilidad. Aplicación a los edificios de hormigón", José Antonio Tenorio Ríos et al., Revista Técnica Cemento Hormigón, marzo-abril 2010 N° 937, ISSN: 0008-8919. PP.: 60-81.