

# Forjado reticular activado térmicamente con materiales de cambio de fase

## *Reticular slab thermally activated with phase change materials*

Ester Bermejo Núñez<sup>a</sup>, José Antonio Tenorio Ríos<sup>b</sup>, César Bartolomé Muñoz<sup>c</sup> y

Alberto Alarcón García<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Dr. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Instituto Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

<sup>b</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Científico Titular. Instituto Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

<sup>c</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director del Área de Innovación. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones

<sup>d</sup> Arquitecto. Director I+D. Sustainable Building SL

### RESUMEN

Para el año 2030, la Unión Europea se comprometió a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la utilización de las energías renovables y mejorar la eficiencia energética. Dichos objetivos que son inalcanzables si no se actúa sobre el sector de la edificación. Por ello los edificios de nueva construcción deben reducir su demanda energética de climatización y cubrir el consumo necesario con energía renovables. Por ello, el forjado HOLEDECK Active surge como una solución innovadora cuyo objetivo es activar térmicamente un forjado reticular aligerado con materiales de cambio de fase y un sistema dual (aire y agua).

### ABSTRACT

The European Union is committed to reducing greenhouse gas emissions, using renewable energy and improving energy efficiency by 2030. These objectives are unattainable if it does not act on the building sector. Therefore, new buildings must reduce their energy demand for air conditioning and cover the necessary consumption with renewable energy. Due to this, the HOLEDECK Active slab emerges as an innovative solution whose objective is to thermally activate a lightened reticular slab with phase change materials and a dual system (air and water).

**PALABRAS CLAVE:** forjado, reticular, inercia, térmica, PCMs, eficiencia, energética, innovador.

**KEYWORDS:** slab, reticular framework, thermal inertia, PCMs, energetic efficiency, innovative.

## 1. Introducción

Tras la vigésimo primera sesión de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) que tuvo lugar en París en 2015, la Unión Europea (UE) asumió dicho acuerdo y, cuyos compromisos para el año 2030 son los mismo que los previamente adoptados en octubre de 2014 por el Consejo

Europeo donde se aprobó el Marco de Políticas de Energía y Cambio Climático 2021-2030 (“Marco 2030”), con el objetivo final de dar continuidad al Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático. Los principales objetivos del Marco 2030 se resumen a continuación:

- Reducción de al menos un 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el año 1990.
- Utilización de al menos un 27% de energías renovables en el consumo de energía.

- Una mejora de la eficiencia energética en al menos un 27%.

La UE es consciente de que uno de los pilares de la lucha contra el cambio climático es el sector de la edificación, que, aproximadamente, representa el 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero y, el 40% del consumo energético. A raíz de esto, se ha desarrollado un marco regulatorio (Directiva 2010/31/UE) cuyo objetivo es fomentar la eficiencia energética de los edificios (nuevos o existentes en los que se realicen reformas importantes) de la UE, de tal manera que reduzcan su demanda energética de climatización al mínimo y cubran su consumo con energías renovables, llegándose a convertir en edificios de consumo de energía casi nulo.

Además de los planes que cada uno de los Estados Miembros de la UE tienen que realizar para alcanzar los objetivos del Marco 30, se deben incluir medidas de descarbonización ya que el fin de la UE para el año 2050 es una economía de baja emisión de carbono. Los objetivos de descarbonización son:

- Reducción de un 40% (en comparación para el año 1990) para el año 2030.
- Reducción de un 95% (en comparación para el año 1990) para el año 2050.

Uno de los factores importantes para que se produzca la descarbonización de la economía es su electrificación. Además, los modelos (ver Figura 1) indican que el grado de electrificación en el sector residencial, para el año 2050, será del 74% [1].

Grado de electrificación de la demanda por sectores	2030	2050
Residencial	68%	74%
Servicios	51%	100%
Industria	34%	34%
Transporte	5%	79%

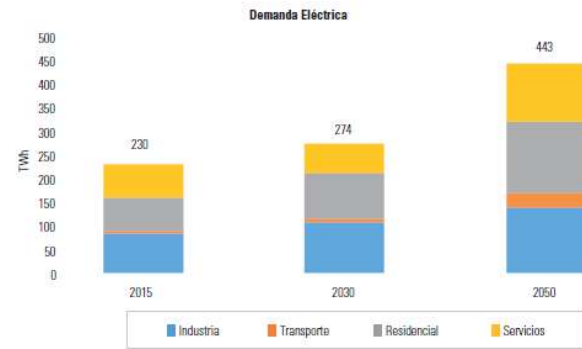


Figura 1. Proceso de descarbonización en España [1].

Una de las primeras medidas que se deben de adoptar para la reducción energética de los edificios es disminuir la demanda energética de climatización mediante el uso de sistemas de aislamiento adecuados, la eliminación de los puentes térmicos o el empleo de ventanas de alta eficiencia energética, entre otras. Una vez adoptadas las medidas de reducción de demanda energética que se exigen según la regulación vigente, es necesario acudir a soluciones innovadoras como a los forjados activados térmicamente, es decir, a la activación de la inercia térmica de los materiales.

## 2. Activación térmica de forjados

Los sistemas de forjados activos o estructuras termoactivas (TABS, *Thermally Activated Building*) incorporan en la propia estructura del hormigón un circuito de tuberías cuyo fin es la climatización del edificio. El fin es mejorar el comportamiento energético utilizando la masa térmica de la estructura del edificio [2].

El sistema de forjado activo se puede utilizar en refrigeración y/o calefacción para disipar o transmitir energía térmica a los ambientes interiores [3], independientemente de la demanda energética que se tenga en cada momento.



Figura 2. Configuración de forjado activado térmicamente [3].

Una de las ventajas principales del hormigón es su inercia térmica, que se puede definir como su capacidad para almacenar y recuperar calor con un determinado retardo de tiempo. La inercia térmica permite conseguir un mayor confort térmico al disminuir las variaciones de temperatura interna del edificio, reduciendo el consumo de energía tanto en calefacción como en refrigeración [4]. Es decir, la temperatura interior es más estable y se reducen los picos de fríos y calor.

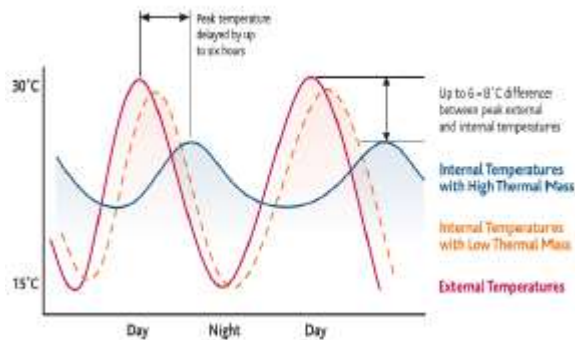


Figura 3. Distribución de la temperatura [4].

En la Figura 4 se muestra cómo funciona un forjado activado térmicamente en modo refrigeración. Un ejemplo de ello es la sede de la empresa de ingeniería IDOM en Madrid, cuyo techo se enfría durante las horas nocturnas mediante un sistema de tubos embebidos por el que circula agua fría y una torre de refrigeración donde se permite el intercambio de calor del fluido con la bóveda celeste. Durante el día, el forjado es capaz de absorber el calor procedente

de las cargas internas del edificio y del aumento de la temperatura exterior mediante un incremento de temperatura propio de aproximadamente 2°C, manteniendo de esta manera una temperatura de confort en el interior. Por la noche, el forjado vuelve a enfriarse, siempre y cuando la temperatura exterior sea lo suficientemente baja. En caso contrario, se emplea una enfriadora de baja potencia.

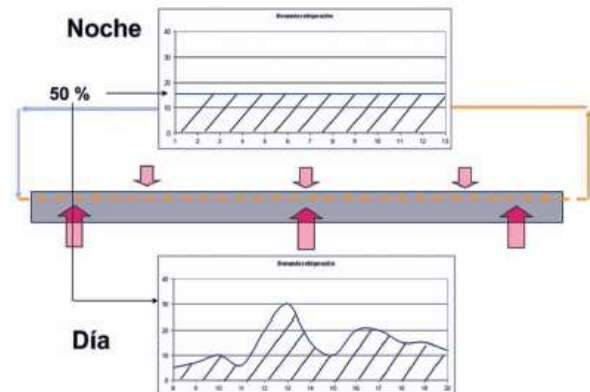


Figura 4. Esquema de funcionamiento de refrigeración en un forjado activado térmicamente [2].

Cuando el sistema funciona en modo calefacción, el agua que circula por los tubos embebidos en la estructura está conectada a una caldera térmica o a una bomba de calor.

Una de las principales ventajas de los TABS es que son sistemas de baja exergía, es decir, permiten el aprovechamiento de energías de bajo contenido exergético por lo que [2] un forjado activado térmicamente se puede activar fácilmente con las energías renovables como pueden ser la aerotermia o la geotermia.

Los sistemas de forjados activados térmicamente permiten reducir la demanda energética de los edificios así como almacenar energía en forma de calor de manera que sea posible gestionar las energías renovables utilizando la estructura del edificio como una batería térmica.

### 3. Materiales de cambio de fase

Los materiales de cambio de fase (PCM, Phase Change Material, en inglés) son materiales con un alto calor latente, capaces de almacenar o liberar energía, cuando se alcanza la temperatura del cambio de fase en el material. Dentro de los posibles cambios de fase, el cambio de sólido a líquido es de los más interesantes, aunque la cantidad de energía es menor respecto a otros como el cambio de estado de sólido a gas, pero la variación de volumen es menor [5].

En la Figura 5 se muestra una clasificación para los materiales de cambio de fase desarrollada por Abhat en 1983.

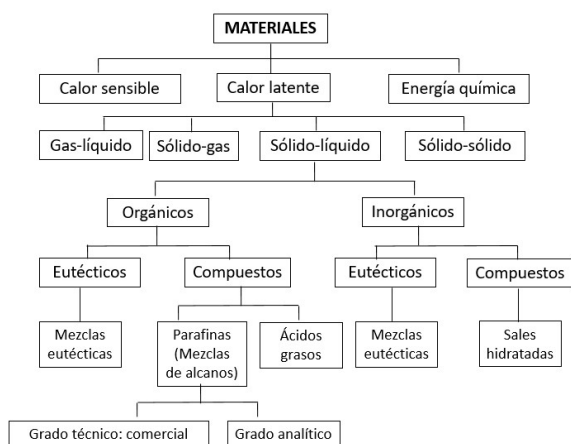


Figura 5. Clasificación de materiales de almacenamiento térmico [6].

La capacidad de almacenamiento de energía de una parafina o de una sal hidratada es del orden de quince veces superior a la capacidad de almacenamiento del hormigón [7].

Los PCM aportan beneficios en soluciones constructivas en la edificación como así se ha demostrado en diversos proyectos de investigación [8]. Por ejemplo, una de las ventajas del uso de los materiales de cambio de fase en placas de yeso laminado, es que se aumenta la inercia térmica de dichos elementos cuyo espesor es reducido y, por lo tanto, son elementos ligeros. Pero, la aplicación práctica de dichas investigaciones se ha visto reducida.

En edificación, el uso de los PCM está orientado a reducir las variaciones térmicas del ambiente independientemente de la época del año. Con el calor (verano), el PCM cambiará de sólido a líquido absorbiendo el exceso de temperatura del ambiente. Por el contrario, con el frío (invierno), el material cede calor al interior de la estancia, por lo tanto, pasará de un estado de líquido a sólido. En ambas situaciones, la temperatura ambiente del interior de la estancia permanece constante, sin tener que recurrir a sistemas de refrigeración o calefacción.

La temperatura de cambio de fase es uno de los parámetros que caracterizan a los PCM, por lo tanto, en edificación se deberán de utilizar aquellos materiales cuya temperatura de cambio de fase se sitúe en la temperatura ambiente de confort.

### 4. Forjado reticular HOLEDECK

El forjado HOLEDECK es un sistema de moldes para ejecutar losas perforadas de hormigón armado que pueden ser traspasadas en su espesor por instalaciones y conductos diversos, reduciendo la altura necesaria para alojar estos componentes del edificio.



Figura 6. Moldes HOLEDECK H45.

Los moldes HOLEDECK están fabricados de polipropileno de alta resistencia. Los moldes son reutilizables y reciclables, cuya vida útil es de 2 años. El sistema se compone de una base modulada que se puede combinar con diferentes piezas que pueden o no generar las perforaciones, en función de las necesidades de la estructura.

La puesta en obra no difiere en exceso de los forjados bidireccionales convencionales, por

lo que es no necesario de una mano de obra muy cualificada.

Las perforaciones se determinan teniendo en cuenta el diagrama de bielas y tirantes. Se elimina la masa de hormigón que no está trabajando para soportar esfuerzos cortantes, reduciendo de esta manera el peso propio del sistema e incorporando nuevas prestaciones.



**Figura 7. Diagrama de distribución de bielas con las perforaciones.**

No es necesario poner falso techo en el sistema porque se cumple con la normativa acústica (CTE DB-HR). Las perforaciones del forjado absorben y disipan las ondas sonoras.

Existe una optimización de los materiales a emplear reduciendo la altura necesaria por cada piso, pero con la misma superficie útil que en un edificio convencional. El volumen de hormigón es menor por lo tanto se minimiza la huella de carbono del edificio proyectado.

Al aumentar la superficie expuesta al hormigón, el coeficiente global de transferencia de calor aumenta debido a que es directamente proporcional a la superficie. Con ello se mejoran las características térmicas del recinto, ya que el forjado es capaz de almacenar calor de manera y suministrarlo eficazmente para regular la temperatura en el interior.

En base a este forjado, se innova hacia una solución innovadora llamada HOLEDECK Active que es el forjado descrito anteriormente, pero activado térmicamente. Dicha solución innovadora tiene como objetivo el activar térmicamente el forjado reticular aligerado con PCM embebidos y un sistema de activación dual mediante la inclusión de tubos en el seno del forjado por los que circula agua y la conducción de aire en el interior de las perforaciones.

Con la activación del forjado mediante la circulación forzada de aire o agua a una determinada temperatura se atenúan los picos de temperatura y se desacoplan las fases de

producción y consumo energético, permitiendo almacenar la energía renovable producida. Además, con la circulación de aire en el interior de las perforaciones se consigue acelerar el proceso de enfriamiento o calentamiento del mismo.

Actualmente la solución constructiva HOLEDECK Active está en estudio mediante la construcción de un modelo a escala real en el Instituto Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y se espera obtener resultados próximamente. Además, también se están evaluando las diferentes temperaturas de cambios de fase de las parafinas y sales hidratadas tanto en las estaciones de verano como de invierno. Y, en el prototipo que se construirá en breve, se estudiará la condensación que se produce en el mismo, así como a qué temperatura se produce el punto de rocío.

## 5. Conclusiones

El objetivo es evolucionar una solución constructiva ya existente innovando hacia un forjado activo mediante un doble sistema de activación térmica (agua circulante por tubo embebidos en la estructura y circulación de aire entre los huecos propios del forjado HOLEDECK) y en base a la incorporación de materiales de cambio de fase en la solución constructiva.

El objetivo final es reducir la demanda energética de las edificaciones, evitando las necesidades de uso de una climatización externa y, creando de esta manera, un forjado óptimo cuyo consumo de energía sea cero. Además, se permite almacenar energía en forma de calor de manera que sea posible gestionar las energías renovables utilizando el propio forjado del edificio como si fuese una batería térmica.

### *Agradecimientos*

Los autores al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades la concesión del proyecto Retos

cuto título es Forjado reticular innovador con materiales de cambio de fase activado térmicamente "HOLEDECK Active" y cuya referencia es RTC-2017-6476-5.

### **Referencias**

- [1] P. Linares, D. Declercq, Escenarios para el sector energético en España 2030-2050, Economics for Energy, España, 2017.
- [2] Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios, Consejería de Economía y Hacienda, Comunidad de Madrid, Madrid, 2014.
- [3] B. Beristain de la Rica, F.J. Rey, A. Villanueva Peñalver, Forjados activos para edificios eficientes, Monografía del Instituto de Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja nº 426, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España, 2018.
- [4] Inercia térmica en edificación, Lafarge, Madrid, 2013.
- [5] A. Oliver, F.J. Neila, A. García-Santos, Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica, Materiales de Construcción. 62 (2012) 131–140.
- [6] A. Abhat, Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials, Solar Energy. 30 (4) (1983) 313–332.
- [7] L.F. Cabeza, Thermal Energy Storage, Comprehensive Renewable Energy. Oxford: Elsevier. 3 (2012) 211-253.
- [8] P. Arce, C. Castellón, A. Castell, L.F. Cabeza, Use of microencapsulated PCM in buildings and the effect of adding awnings, Energy and Buildings. 44 (2012) 88-93.