

LOS MATERIALES DE CAMBIO DE FASE COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN LA CONSTRUCCIÓN

PATIÑO VILAS, David ⁽¹⁾; ÁLVAREZ FEIJOO, Miguel Ángel ⁽²⁾

GRANADA ALVAREZ, Enrique ⁽¹⁾; MÍGUEZ TABARES, José Luis ⁽¹⁾; MORÁN GONZÁLEZ, Jorge Carlos ⁽¹⁾

patinho@uvigo.es

⁽¹⁾ Universidad de Vigo, Escuela de Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Mecánica, Máquinas y Motores Térmicos y Fluidos

⁽²⁾ Centro Universitario de la Defensa, Escuela Naval Militar de Marín

RESUMEN

El consumo de energía para climatización de viviendas y oficinas representa un amplio porcentaje del consumo global de energía. Si se tiene en cuenta que la tendencia en el consumo mundial de energía es que continuará su crecimiento (por el aumento de la población y del nivel de vida de la población), implica que o bien hay que incrementar la producción o reducir el consumo. Los combustibles fósiles son limitados pero la demanda de energía aumenta, lo que conlleva el desarrollo de fuentes renovables de energía y construcciones sostenibles. Este ahorro en el consumo repercute paralelamente en una reducción de las emisiones de efecto invernadero a la atmósfera.

El almacenamiento de energía en las paredes es un método eficiente y relativamente económico para lograr un ahorro en el consumo energético de los edificios de viviendas, oficinas, etc. Una forma de mejorar capacidad de almacenamiento de energía térmica de los materiales de construcción consiste en incorporarles materiales de cambio de fase (Phase Change Materials).

Una interesante combinación para conseguir una mayor eficiencia energética en este campo consiste en la incorporación de PCM al hormigón autocompactante, uno de los materiales más empleados en la construcción. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo consiste en estudiar el comportamiento térmico de paredes de hormigón autocompactante con PCM en distintas condiciones climáticas, y compararlo con paredes de hormigón normal. Este análisis se basa en datos recogidos por un sistema de monitorización de datos, compuesto por diferentes sensores de temperatura y humedad, además de fluxómetros. Sistema de monitorización implantado en unas casetas de hormigón construidas para el estudio de su eficiencia energética.

Palabras clave: PCM, eficiencia energética, edificación.

1. Introducción

El rápido crecimiento económico de la sociedad que se está produciendo implica a su vez un dinámico incremento de la demanda de energía. Este incremento se debe en gran parte a la necesidad humana de buscar un confort térmico en los lugares de trabajo o en la propia vivienda. Los hogares son los responsables de una gran parte de este consumo de energía, bien por sistemas de calefacción o de refrigeración, por lo que la eficiencia energética en la edificación se ha convertido en uno de los principales objetivos de las políticas energéticas tanto a nivel regional, como nacional o internacionalmente. El incremento en el consumo de energía para asegurar este confort térmico, además de incrementar la factura energética del país, provoca irremediamente un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque las energías renovables están en auge, entre ellas la fotovoltaica y la solar térmica que cada vez tienen más presencia en el mix energético (ver ejemplo Figura 1), sigue habiendo una enorme dependencia en la energía nuclear y en la energía obtenida de los combustibles fósiles [1].

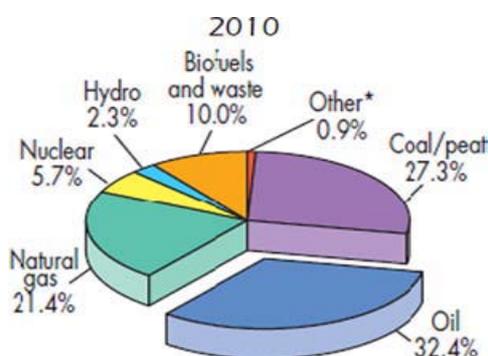


Figura 1: Suministro global de energía por tipo de combustible en el año 2010 (Memon 2014).

La nuclear genera unos residuos muy peligrosos que permanecen activos durante muchos años. Y las fuentes de energía de combustibles fósiles son limitadas, y son las principales responsables de la contaminación ambiental y del cambio climático [2]. La reducción en el consumo y mejoras en el almacenamiento de la energía son esenciales para aumentar la eficiencia energética y la sostenibilidad en la edificación. Además también se están desarrollando numerosas investigaciones relacionadas con las energías renovables, con el fin de mejorar el rendimiento de los sistemas de generación y acumulación de energía y tratar de conseguir edificios con cero emisiones (aquellos que alcanzan un balance energético nulo) [3].

Una de las vías de investigación para lograr este objetivo se basa en el uso de sistemas que permitan almacenar una mayor cantidad de energía. Estos sistemas contribuyen a reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de efecto invernadero. De entre sus principales características destaca que pueden contribuir a relacionar producción con demanda aunque no coincidan temporalmente. El aprovechamiento del calor sensible o calor latente de cambio de fase de un material es la esencia de los principales métodos de almacenamiento de energía en edificios [4]. Utilizan esta propiedad basada en la variación de temperatura. Para ello, estos materiales almacenan y ceden energía térmica de una manera pasiva. Si se aprovecha el calor sensible debido a la variación de temperatura, se necesita un mayor volumen de material que si se aprovecha el calor latente de cambio de fase del material de almacenamiento, para almacenar la misma cantidad de energía [5].

Para aprovechar el calor sensible se puede variar el volumen de material de la pared. Por ejemplo, a mayor cantidad más calor que se puede almacenar. Pero el aumento del volumen de material de construcción implica más cantidad de material empleado, y por lo tanto más peso, mayores costes de la estructura, transporte y montaje, y mayor tiempo de construcción [3]. Los edificios con estructura tradicional poseen una elevada inercia térmica debido a los materiales que emplean en su construcción, para así aprovechar este calor sensible del material. Sin embargo, si se almacena la

energía en forma de calor latente se puede reducir el volumen de la estructura (espesor de las paredes). Se puede deducir entonces que una excelente forma de reducir el consumo energético de un edificio almacenando calor latente, ya sea para calefacción o refrigeración, consiste en la incorporación de materiales de cambio de fase (Phase Change Materials, PCM) en paredes, ventanas, techos o suelos. Este tipo de materiales posee una gran capacidad calorífica en un reducido rango de temperaturas y pueden actuar como reservas de energía a temperatura casi constante. Se eligen en función de su temperatura de fusión. Cuando aumenta la temperatura por encima de la de fusión, cambian de fase pasando de estado sólido a líquido almacenando energía en forma de calor. Y cuando desciende, ceden el calor al pasar otra vez a estado sólido. El principio de uso es muy simple, lo complicado consiste en evaluar la contribución de las cargas debidas al calor almacenado en forma de calor latente a mejorar el rendimiento térmico en un edificio. Es decir, se incorpora este material para lograr construcciones más ligeras, que empleen menos material, compensando el PCM la pérdida de capacidad de almacenamiento de calor sensible del material al reducir su volumen [6].

Se pueden incorporar a los materiales de construcción o en los elementos constructivos directamente, por inmersión, por encapsulación o microencapsulación, etc. De entre estos métodos, hoy en día, en la edificación el más empleado es la microencapsulación. De esta manera se puede incorporar al pladur, enlucidos, hormigón u otros recubrimientos de paredes. Así, el material de almacenamiento pasa a formar parte de la estructura. Se han desarrollado diversas formas de microencapsulación para aplicaciones con energía solar, y una de las principales conclusiones es obtener unos recipientes de un material adecuado que perdure con el paso del tiempo, no reaccione con el material que contiene y que lo rodea, y lo que es más importante, que tenga una superficie suficiente para favorecer la absorción y la cesión de calor ni tampoco se produzca migración del líquido contenido a través de ella [2]. Las microcápsulas son recipientes diminutos que contienen en su interior el material de cambio de fase. Una de las principales ventajas de este método es que las microcápsulas pueden sufrir pequeños cambios de volumen sin deteriorarse.

Los materiales de cambio de fase deben tener ciertas propiedades físicas, químicas, térmicas, medioambientales y económicas. Como no hay un PCM ideal, se seleccionará en función de su aplicación, examinando detenidamente sus propiedades (incluyendo su temperatura de fusión). Según su composición química, se clasifican en orgánicos, inorgánicos y eutécticos. Cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes. Y algunos de ellos son adecuados para su uso en la construcción, con rangos de temperaturas de aplicación entre 18 y 40°C [7].

Los PCMs inorgánicos tienen unas buenas propiedades térmicas, pero sin embargo, son corrosivos con muchos materiales de construcción, entre otros inconvenientes. La tendencia actual va hacia los materiales orgánicos, ya que presentan menos problemas que los inorgánicos [8].

Las parafinas constituyen materiales con buenas propiedades para la aplicación de almacenamiento de energía en edificios. Son materiales orgánicos, químicamente inertes, no presentan segregación, aceptable calor latente, reciclable, etc. [9]. Este tipo de PCMs microencapsulado presenta un buen comportamiento al incorporarlo al material de los elementos constructivos, por ejemplo al añadirlos al hormigón durante la mezcla. En las proporciones adecuadas se consigue que el hormigón no tenga una disminución apreciable en sus propiedades mecánicas, a la vez que el PCM mejora las propiedades térmicas del elemento con una significativa reducción de masa respecto a la que tendría que tener el mismo elemento sin PCM.

Uno de los materiales más empleados en la construcción es el hormigón. Se emplea tanto en la estructura de la edificación como en los cerramientos (paredes medianeras interiores, paneles exteriores como envolventes de edificios, techos y solados). Presenta unas excelentes propiedades térmicas, acústicas y mecánicas, además de ofrecer durabilidad y economía tanto en la fabricación de los elementos constructivos como de mantenimiento.

En este trabajo se estudia el comportamiento de un material orgánico de cambio de fase incorporado a los paneles de hormigón empleados para el cierre lateral de unas casetas. Para ello se compara el comportamiento térmico de la caseta construida con paneles de hormigón con PCM con otra de paneles de hormigón normal.

2. Sistema experimental

La instalación experimental consiste en dos casetas de idénticas dimensiones y forma construidas con paneles de hormigón, una de ellas con paneles de hormigón autocompactante y la otra del mismo hormigón pero con PCM.

Las casetas tienen el mismo suelo de losa alveolar prefabricada de hormigón; y el mismo tipo de techo: losa alveolar, 5 cm de aislante de poliestireno expandido y una capa exterior de hormigón de 7,5 cm de espesor medio.



Figura 2: Casetas de hormigón con y sin PCM

El material de cambio de fase empleado es el Basf Micronal DS 5007 X, cuyas propiedades se detallan en la tabla 1.

Tabla 1: Propiedades del PCM Basf Micronal DS 5007 X.

Contenido de sólidos	42% en agua
pH	7-9
Viscosidad	200-600 mPa·s
Densidad	0.98
Punto de fusión	23°C
Calor latente (emulsión)	41 kJ/kg
Capacidad de almacenamiento máxima (emulsión)	55 kJ/kg
Calor latente (PCM)	100 kJ/kg
Capacidad de almacenamiento máxima (PCM)	135 kJ/kg

Este tipo de PCM microencapsulado se distribuye en una solución acuosa que se incorpora al proceso de fabricación de los paneles, por lo que se debe tener en cuenta la cantidad de agua que aporta.

Los paneles se fabricaron en Forjados Castelo SA, empresa ubicada en Porriño (España).

Las casetas son aparentemente idénticas, formadas por cuatro paneles laterales, la base y el techo. La diferencia está en que el panel sur de la segunda caseta tiene un 2% en peso de PCM. Las dimensiones interiores de las casetas son 2,50m x 2,50m x 2,39m. Los paneles tienen un espesor de 0,12m. Los paneles orientados al norte tienen una puerta de dimensiones 0,82m x 2,10m.

Además, es importante destacar que las casetas no están aisladas, excepto el elemento del techo, para así estudiar el efecto del PCM.

El análisis del comportamiento térmico de este tipo de paredes implica la instalación de un sistema de sensores y equipamiento que permita recoger y monitorizar diversos datos: temperaturas en el interior, temperaturas en las superficies de las paredes, temperatura exterior, humedad, datos atmosféricos, consumo de energía de los equipos de climatización y de la iluminación interior, flujo de calor a través de la pared sur, etc.). Para ello, se han instalado sensores de temperatura y humedad en el interior de las casetas, sensores de temperatura de las superficies interior y exterior de los paneles de hormigón (embebidos a nivel de la superficie) en las paredes este, sur y oeste, medidor de consumo eléctrico, fluxómetros térmicos en las paredes sur, etc. El diseño de la arquitectura permite ser ampliada con más sensores o casetas si en algún momento es necesario (Alvarez Feijoo, Patiño Vilas et al. 2013).

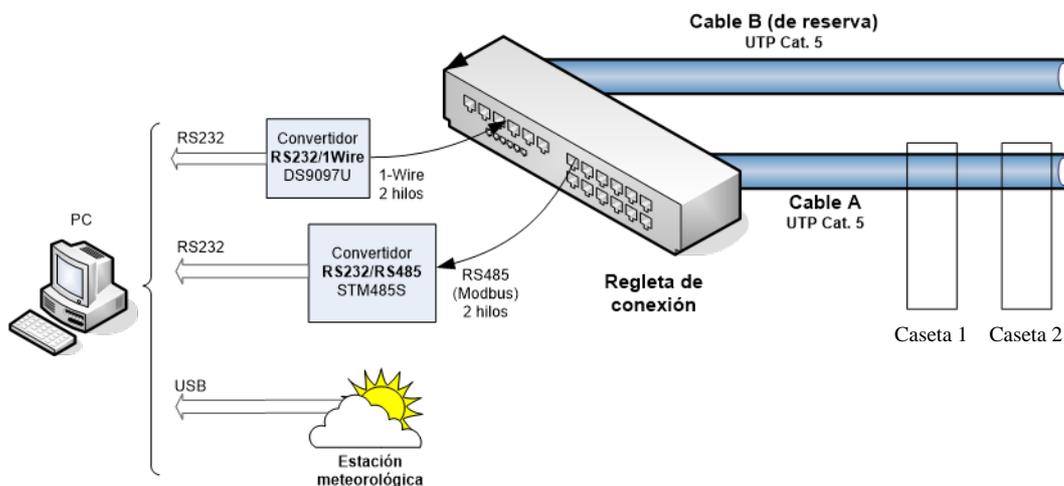


Figura 3: Sistema de adquisición y monitorización de datos.

Todo este equipamiento está conectado mediante un sistema de comunicación mediante protocolo 1-wire con un PC para almacenar y monitorizar los datos.

3. Resultados

Los resultados de este experimento se muestran en esta sección. Para estudiar el comportamiento térmico de las casetas se han analizado los datos de flujo de calor y temperatura recogidos durante dos estaciones del año, verano e invierno de 2012. Para ello, se han comparado los datos de los sensores situados aproximadamente a 1m de altura, en la pared sur. Ambas casetas están sometidas a las mismas condiciones climáticas.

Las gráficas representan las temperaturas, 96 horas o 4 días, en la superficie interior de la pared sur de ambas casetas para los meses de julio y diciembre.

Como se puede observar en la Figura 4, datos del mes de julio, el intervalo de temperaturas máxima y mínima diaria para la pared con PCM es menor que en la de hormigón normal. En esta gráfica, se observa claramente el efecto del PCM. Comparando las temperaturas de ambas casetas, la superficie de la pared con PCM presenta una diferencia máxima de temperatura respecto a la de hormigón normal de aproximadamente 3°C. La temperatura mínima en la de PCM es superior a la de referencia en aproximadamente 2°C. Si ahora se observan las temperaturas máximas, alcanzan una máxima mayor, en torno a 1°C. Este fenómeno puede explicarse debido a que durante la noche la pared de PCM no cede todo el calor que tiene acumulado porque la temperatura a la que baja la pared está en torno a la de fusión del material. Por lo tanto, parte del PCM no se llega a solidificar. Mientras que por

el día alcanza una temperatura sólo un poco mayor porque parte de una temperatura más elevada que la pared normal y también parte de la energía que absorbe se emplea en fundir el PCM que ha solidificado. El efecto del PCM es evidente en el momento de la caída de la temperatura por la noche, ya que cuando llega a unos 23-24°C, la variación en la pendiente es mucho mayor.

También se observa un desfase temporal en el momento en el que se alcanzan las temperaturas máximas diarias, debido a la mayor inercia térmica de la pared con PCM. Sin embargo, las temperaturas mínimas de la pared de PCM se alcanzan puesto que se estabilizan al fundirse el PCM.

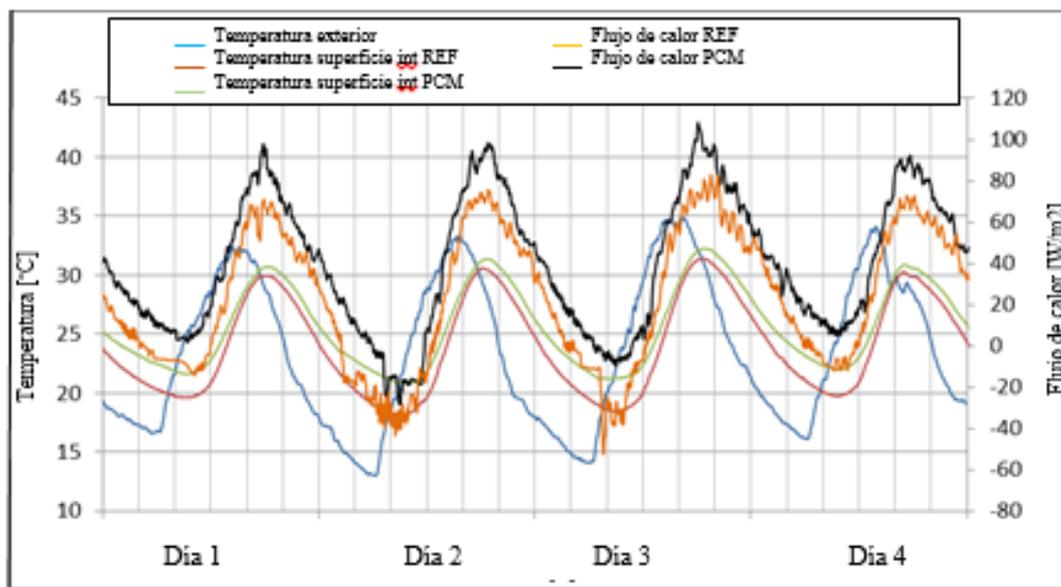


Figura 4: Comparación entre las temperaturas interiores de las superficies interiores de las paredes sur de ambas casetas, temperatura ambiente exterior y flujo de calor en las paredes sur. Mes de julio de 2012.

Los fluxómetros están situados también en las superficies interiores de las paredes sur de las casetas, a una altura de 1,2 metros. En cuanto al flujo de calor, se ha considerado positivo cuando es la pared la que lo cede al interior. En el mes de julio, durante el día, la cesión de calor por la pared al interior de la caseta de PCM es menor que en la caseta normal ya que parte del calor es empleado en fundir el material de cambio de fase. Y por la noche, como la pared de PCM está a una mayor temperatura que la normal respecto a la temperatura exterior, esta cede calor al exterior de la caseta, absorbiéndolo del interior.

En el mes de diciembre, Figura 5, la diferencia entre las temperaturas máximas y las mínimas también es menor en la caseta de PCM, aproximadamente 1°C. La máxima que se alcanza es inferior a la de referencia, mientras que la mínima es mayor. Se puede observar que el tercer día, las temperaturas máximas son bajas porque estaba nublado. Esto significa que en este tipo de días, las temperaturas de las paredes siempre van a estar por debajo de la temperatura de fusión del material y, por lo tanto, el comportamiento de ambas será similar.

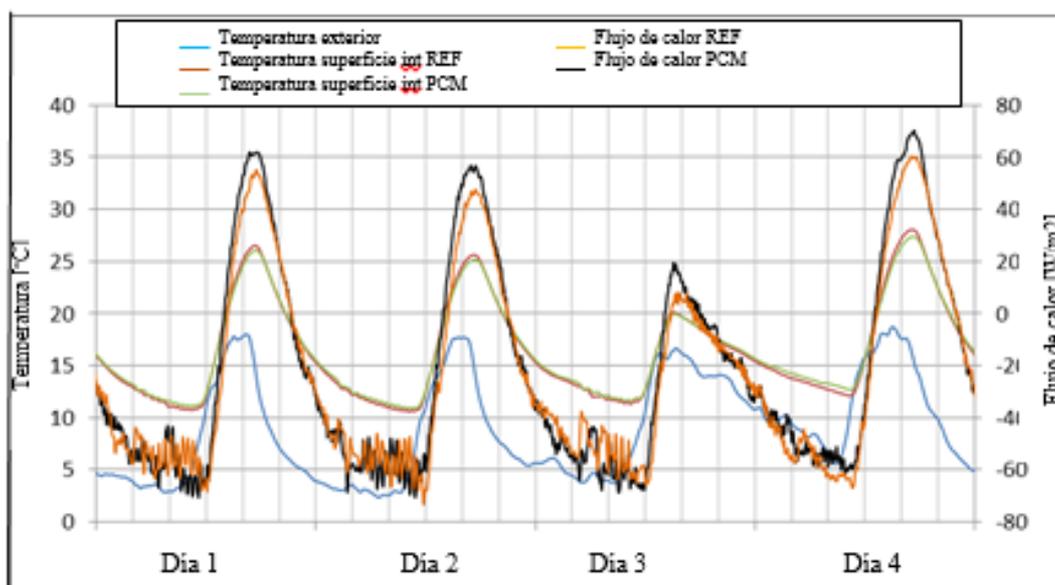


Figura 5: Comparación entre las temperaturas interiores de las superficies interiores de las paredes sur de ambas casetas, temperatura ambiente exterior y flujo de calor en las paredes sur. Mes de diciembre de 2012.

En cuanto al flujo de calor, cuando la temperatura es inferior a la de fusión del PCM, el comportamiento es similar al de la caseta normal. Sin embargo, si es mayor, el PCM ha absorbido parte de la energía en fundirse y el calor cedido por la pared de PCM es menor que la de referencia. Con lo que se alcanzaría una temperatura menor en el interior.

4. Conclusiones

Este artículo presenta un estudio del comportamiento térmico del hormigón autocompactante con este mismo hormigón al que se ha incorporado un material de cambio de fase microencapsulado. Para tal fin, se han construido dos casetas de hormigón, una de hormigón autocompactante y la otra de hormigón con PCM.

Se han analizado los meses de julio y diciembre por ser los meses más diferentes en cuanto a temperaturas. En el mes de julio, las altas temperaturas podrían dar lugar a días en los que el ciclo térmico estuviese por encima de la temperatura de fusión del material, mientras que en diciembre podría estar por debajo.

La amplitud térmica diaria de la caseta con PCM es menor que en la normal, las oscilaciones son menores, aproximadamente de unos 3°C en el mes de julio. Y menos de 1°C en diciembre. Esta menor oscilación en la temperatura respecto a la caseta de hormigón normal, repercute al final en un menor consumo de energía térmica para climatizar el recinto.

Es importante una selección adecuada del PCM, puesto que en verano debe bajar de la temperatura de fusión mientras que en invierno las máximas deben ser superiores a dicha temperatura. Quizás, el material seleccionado, con temperatura de fusión de 23°C no sea el adecuado. Una posible opción sería incorporar dos PCMs con distintas temperaturas de fusión, para que actúe uno en verano y otro en invierno.

La incorporación de PCM en la construcción es una consecuencia de una mayor concienciación sobre el cambio climático y sobre la reducción en el consumo de combustibles fósiles. Cada vez más edificios cuentan con esta tecnología para reducir el consumo de energía en climatización.

5. Agradecimientos

Este trabajo está financiado por el proyecto "Consolidación e Estructuración" de unidades de investigación competitivas do Sistema Universitario de Galicia- EM1-GTE de la Consellaría de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria.

6. Referencias

- [1] KUZNIK, F., DAVID, D., JOHANNES, K., ROUX, J. *A review on phase change materials integrated in building walls*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(1), pp. 379-391.
- [2] SHARMA, A., TYAGI, V.V., CHEN, C.R., BUDDHI, D. *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(2), pp. 318-345.
- [3] POMIANOWSKI, M., HEISELBERG, P., ZHANG, Y. *Review of thermal energy storage technologies based on PCM application in buildings*. Energy and Buildings, 2013, 67, pp. 56-69.
- [4] SOARES, N., COSTA, J., GASPAR, A., SANTOS, P. *Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency*. Energy and Buildings, 59, pp. 82-103.
- [5] TYAGI, V., KAUSHIK, S., TYAGI, S. and AKIYAMA, T. *Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(2), pp. 1373-1391.
- [6] ZHOU, D., ZHAO, C. and TIAN, Y. *Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications*. Applied Energy, 2012, 92, pp. 593-605.
- [7] MEMON, S.A. *Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 31, pp. 870-906.
- [8] CABEZA, L.F., CASTELLON, C., NOGUES, M., MEDRANO, M., LEPPERS, R., ZUBILLAGA, O., 2007. *Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings*. Energy and Buildings, 2007, 39(2), pp. 113-119.
- [9] ARCE, P., CASTELLÓN, C., CASTELL, A., CABEZA, L.F., 2012. *Use of microencapsulated PCM in buildings and the effect of adding awnings*. Energy and Buildings, 2012, 44, pp. 88-93.
- [10] ALVAREZ FEIJOO, M.A., PATIÑO VILAS, D., GRANADA ALVAREZ, E., GOMEZ ROIDRÍGUEZ, M.Á. *Sistema de adquisición de datos para el análisis del comportamiento térmico de distintos tipos de paneles de hormigón*, VIII Congreso Nacional de Ingeniería térmica. Libro de Actas, Junio 2013 2013, pp. 799-806.