Arquitectura en Tierra

Patrimonio Cultural

XII CIATTI 2015

Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2015.
Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz Guerra.

ISBN: 978-84-617-4586-9
D.L.: VA 620-2016
Impreso en España
Agosto de 2016

Publicación online.

Para citar este artículo:

SEVILLA ÁVILA, Ismael; SERRANO CANTÓ, José L.; RODRÍGUEZ, Juan Francisco; CASTILLA PASCUAL, Francisco J.; CARMONA, Manuel; SANZ MARTÍNEZ, David. "Estudio metodológico sobre aprovechamiento de materiales de cambio de fase para la elaboración de morteros de revestimiento de arcilla en paramentos interiores de edificación". En: *Arquitectura en tierra. Patrimonio Cultural. XII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca de Campos 2015*. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2015. Pp. 175-186

URL de la publicación: http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.
© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

ESTUDIO METODOLÓGICO SOBRE APROVECHAMIENTO DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE REVESTIMIENTO DE ARCILLA EN PARAMENTOS INTERIORES DE EDIFICACIÓN

XII CIATTI 2015. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra
Cuenca de Campos, Valladolid.

Ismael Sevilla Ávila. Ingeniero de Edificación. Toledo, España.
José L. Serrano Cantó. Ingeniero de Edificación. Profesor Titular de Escuela Universitaria. Escuela Politécnica de Cuenca. UCLM, España
Juan Francisco Rodríguez. Catedrático. Instituto de Tecnología Química y Medioambiental. UCLM, Ciudad Real, España.
Francisco J. Castilla Pascual. Arquitecto, Profesor Contratado Doctor. Escuela Politécnica de Cuenca. UCLM, España.
Manuel Carmona. Catedrático. Profesor Titular. Instituto de Tecnología Química y Medioambiental. UCLM, Ciudad Real, España.
David Sanz Martínez. Geólogo. Profesor Contratado Doctor. Escuela Politécnica de Cuenca. UCLM, España.

PALABRAS CLAVE: PCM, eficiencia, arcilla

1.Introducción

En el futuro de la Edificación no sólo se plantean cambios en la producción y captación de energía para el consumo de los edificios sino también en el empleo de nuevos materiales más eficientes energéticamente, económicos y ecológicos. En este sentido, el acondicionamiento pasivo en edificios con almacenamiento de energía térmica (calor latente) se presenta como una tendencia cada vez más empleada. No es de extrañar por tanto que durante los últimos 40 años numerosos trabajos hayan sido publicados sobre la aplicación de Materiales de Cambio de Fase (conocidos internacionalmente por su acrónimo en inglés como PCM, Phase Change Materials) en edificación.

Los PCMs son sustancias que mediante procesos exotérmicos y endotérmicos derivados de su cambio de estado, son capaces de almacenar grandes cantidades de energía en forma de calor latente, intercambiándolo con el medio cuando las condiciones térmicas así lo requieren (Fig.1). Entre los diversos cambios de estado, el sólido-líquido es el que presenta mejores características para su utilización. Según su naturaleza, los PCM se clasifican en tres grandes grupos; inorgánicos, orgánicos y mezclas eutécticas, siendo las sales hidratadas y las parafinas

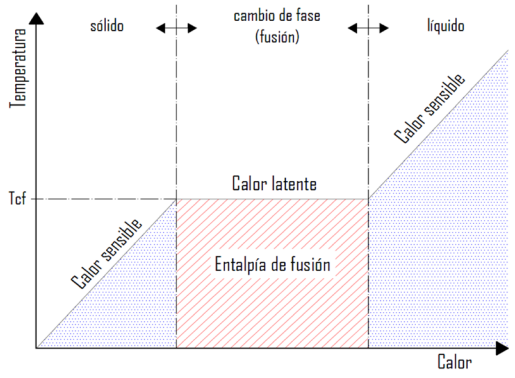

Figura 1. Principio de operación de los materiales de cambio de fase.

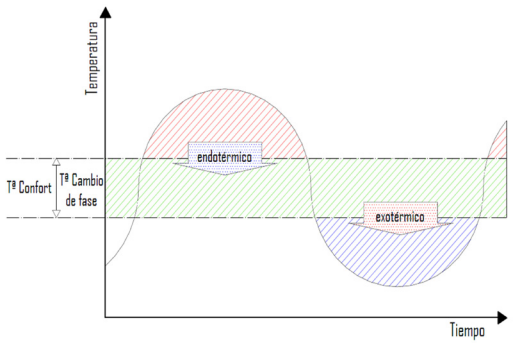

Figura 2. Esquema de influencia de la incorporación de PCM en la temperatura interior.

los compuestos más comunes. Los métodos de incorporación de PCMs son la inmersión, macroencapsulación y microencapsulación, siendo esta última la más indicada para la incorporación directa de PCM en materiales de construcción.

Las circunstancias socioeconómicas actuales han derivado dentro de la edificación en la búsqueda de sistemas constructivos más económicos y ecológicos. Uno de los materiales que cumple estas dos condiciones y que mayor tradición tiene es la tierra cruda, así como los morteros de revestimiento arcillosos. Estos materiales son de bajo coste, accesibles y de bajo impacto ambiental, integrándose dentro de las nuevas corrientes arquitectónicas de bioconstrucción. Por otro lado, es un material inerte con una buena inercia térmica, lo cual hace que sea un material idóneo para la incorporación de materiales acumuladores de calor, como los PCM, que mejore las prestaciones térmicas en las edificaciones.

El trabajo de investigación que aquí se expone tiene como objetivo principal evaluar las posibilidades y la viabilidad técnica de incorporación de materiales de cambio de fase en morteros de revestimiento interiores para la mejora de las propiedades térmicas del edificio (capacidad de almacenamiento energético), contribuyendo a la eficiencia energética y las condiciones de habitabilidad.

Para ello se ha desarrollado un mortero con base de arcilla donde se incorpora parafina microencapsulada y se ha establecido un plan de ensayos y una metodología basada en normativa existente, que junto con nuevos métodos experimentales adicionales, permita obtener los datos necesarios para evaluar la influencia de las diferentes adiciones de parafina microencapsulada tanto para el mortero en estado fresco, como para el mortero en estado endurecido.

2. Antecedentes

Dadas las propiedades térmicas de los PCM, su utilización en edificación como estrategia pasiva para el incremento de la inercia térmica de los materiales, se establece como una alternativa muy interesante para la mejora de la eficiencia energética y la reducción del consumo.

Desde el punto de vista constructivo, la utilización de estos materiales como adición en morteros de revestimiento interior supone una de sus aplicaciones más idóneas en edificación. El principio operativo de los PCM se basa en su capacidad para absorber y ceder energía al medio, por lo que su incorporación en la capa más interna del sistema constructivo mejora el área de intercambio con el ambiente interior y por tanto, el rendimiento energético de los PCM. Este principio operativo es el que se pretende aprovechar para conseguir una atenuación de los picos de temperatura interior. Al establecer la temperatura de cambio de fase dentro del

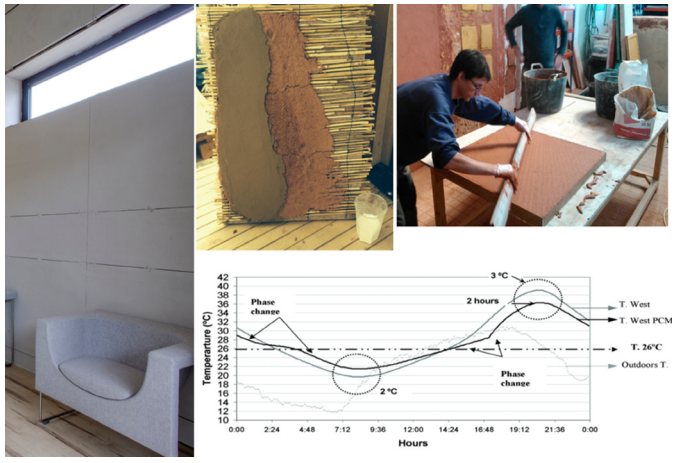

Figura 3. Fabricación y disposición de paneles de mortero de arcilla con adición de PCM para el proyecto Symbcity por el equipo Plateau Team para el concurso Solar Decathlon Europe 2014. Gráfica que muestra el amortiguamiento de la onda térmica producido en el interior de la vivienda. Fuente: Plateau Team .

rango de temperatura de confort (21-24ºC), se consigue que cuando la temperatura ambiente supere la temperatura de fusión del PCM, se produzca una absorción de energía correspondiente al calor latente del cambio de fase, limitando así el aumento de temperatura. endotérmica en el PCM absorbiendo el exceso de energía, reduciendo así la temperatura. De igual forma, cuando la temperatura ambiente disminuye hasta un valor inferior a la temperatura de cambio de fase, se producirá la liberación de la energía absorbida con anterioridad, limitando el descenso de temperatura en el recinto (Fig. 2). De esta forma la utilización de PCMs confiere al material una “memoria térmica” que se puede aprovechar para almacenar y liberar energía de forma “diferida” según la demanda del medio con el que interactúe.

Esta tecnología se aplicó en el proyecto Symbcity, desarrollado conjuntamente por la Universidad de Castilla-La Mancha y la Universidad de Alcalá, dentro de la competición internacional Solar Decathlon Europe 2014[1]. Se trata de un prototipo de vivienda de alta eficiencia energética en el que se pretendía estudiar soluciones constructivas que redujesen el consumo energético tanto de climatización como de la propia construcción, por lo que el uso de barro en los revestimientos interiores de la vivienda resulta una estrategia muy adecuada. Teniendo en cuenta que la vivienda debía ser además fácilmente montable y desmontable y su estructura y envolvente son de entramado de madera, se propuso la construcción de paneles de tablero de madera revocados con mortero de arcilla con adición de PCM (Fig. 3). Esto permite compensar la falta de inercia térmica, propia de las construcciones de entramado ligero.

Los paneles utilizados en el prototipo tienen unas dimensiones de 800x800 mm. Para su montaje, primero se fabricó un bastidor con panel de madera y un marco perimetral que albergará el revoco en su interior. Posteriormente se coloca una capa de caña grapada al panel y finalmente se revocan los paneles en dos capas dejándolos secar durante una semana y pintándolos con pintura de base arcillosa de color blanco[2].

Durante la elaboración del proyecto se realizaron ensayos en una caja térmica, en los que el mortero de arcilla con un 20% de PCMs consigue atenuar el desfase de la temperatura de la cámara en 2ºC, por lo que, considerando una relación de superficie semejante en el prototipo y una concentración similar de PCMs en el barro, podemos esperar desfases de temperatura ambiente similares en la realidad[3].

El comportamiento de la vivienda en el periodo de monitorización durante la competición (28 jun-14 jul 2014) resultó muy satisfactorio. No obstante resulta difícil obtener conclusiones claras sobre la contribución real de los PCMs al comportamiento global del prototipo.

Figura 4. Mortero de arcilla Ecoclay Base+Fibra en estado seco. Fuente: Ismael Sevilla.

Figura 5. Ejemplo de aplicación del mortero Ecoclay Base+Fibra. Fuente: Ecoclay.

A partir de esta primera experiencia, se plantea la necesidad de realizar unos ensayos más exhaustivos de caracterización de este tipo de revocos que permitan un mayor conocimiento de sus propiedades para su posible comercialización y desarrollo industrial. De esta forma, se plantea un nuevo estudio cuyo principal objetivo es evaluar la influencia de distintas dosificaciones en las características físicas, mecánicas y térmicas de los morteros de arcilla, tomando como referencia la metodología de ensayo existente para materiales de construcción de usos similares, complementando el estudio con ensayos experimentales que permitan evaluar de forma cuantitativa el comportamiento térmico en las distintas dosificaciones de PCM.

3. Materiales

3.1. Mortero de arcilla como revestimiento interior

Los revestimientos de mortero a base de arcilla son una técnica de construcción con tierra cruda utilizada tradicionalmente para la protección, conservación y mejora estética de las construcciones en tierra, siendo aplicadas tanto en el interior como en exterior. A menudo se les denomina embarrados o trullados.

Uno de los principales inconvenientes de la utilización de productos de tierra cruda es que no es un material estandarizado, por lo que la dosificación de arcilla, arena, limo y fibras naturales (paja) puede variar dependiendo de las características de cada uno de ellos. Para eliminar estas variables que pueden desvirtuar el análisis de los resultados de la fase experimental, se ha recurrido a la utilización de un producto comercial ya dosificado. Este ha sido el mortero de revestimiento continuo para espacios interiores Ecoclay Base+Fibra.

Este mortero está constituido por arcillas illítico-caoliníticas, arenas silíceas a diferentes granulometrías y fibra (paja). No contiene ningún aditivo químico y todos sus componentes son naturales[4]. Al ser un producto dosificado en fábrica, sus componentes se encuentran perfectamente mezclados, conformando un mortero seco con una distribución homogénea en todo su volumen (Fig. 4 y 5). Esto permite el estudio de la influencia de la incorporación de PCM en las características del mortero. Al ser un producto cuyo amasado se puede realizar in situ tan solo añadiendo agua, permite adicionar fácilmente PCM.

3.2. Parafina microencapsulada mediante el método spry-dry

Para la realización de este estudio, se han utilizado microcápsulas de parafina desarrolladas por la unidad de Tecnología de Polímeros del Instituto de Tecnología Química y Medioambiental (ITQUIMA) de la Universidad de Castilla-La Mancha. Este instituto cuenta con una larga trayectoria en la investigación con materiales de cambio de fase y sus métodos de encapsulación, habiendo publicado numerosos estudios de difusión internacional.

Entre los diferentes tipos de PCM, los compuestos orgánicos son los que presentan

Figura 6. Microcápsulas de parafina obtenidas mediante spry-dry en el instituto ITQUIMA. Fuente: Ismael Sevilla.

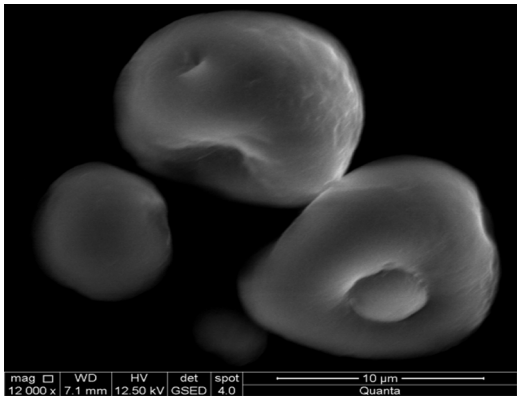

Figura 7. Microscopía electrónica de barrido (SEM) de las microcápsulas de parafina PCM ITQUIMA.

mayores ventajas: tienen gran estabilidad térmica y química, no presentan segregación, subenfriamiento ni problemas de corrosión. Las ceras de parafina son los compuestos orgánicos más utilizados como materiales de cambio de fase dada su alta capacidad de almacenamiento de energía en forma de calor latente, su bajo coste económico, disponibilidad y posibilidad de ajustar el punto de cambio de estado a la temperatura deseada.

Las ceras de parafina requieren ser encapsuladas para poder ser incorporadas en materiales de edificación, debido a los problemas de interacción con el medio que lo rodea y las pérdidas de material que se producen cuando esta se encuentra en estado líquido. La microencapsulación es una técnica mediante la cual pequeñas porciones de un agente activo son recubiertas por una envolvente de un segundo material, generando una membrana que lo contiene y protege del medio que lo rodea. El diámetro total de las microcápsulas obtenidas mediante este proceso de encapsulado oscila desde 0'5 µm hasta 2500 µm, dependiendo del tipo de proceso.

La técnica de microencapsulación mediante el método spray drying consiste en la atomización de una solución homogénea (agente activo, solución o alimento) en una cámara o depósito de secado que se encuentra a un cierto nivel de vacío. En estas condiciones, el disolvente (mezcla de cobertura) se evapora y el polímero se acumula en la superficie del agente activo atomizado, formando microcápsulas sólidas[5]. La principal ventaja del proceso de microencapsulación frente al resto de procesos de encapsulado radica en el incremento sustancial del área efectiva de intercambio. Desde el punto de vista constructivo, su incorporación en el sistema constructivo no conlleva la realización de subestructuras ni elementos portantes como ocurre con los PCM macroencapsulados. Su apariencia es la de un polvo fino (Fig. 6 y 7), por lo que puede ser aditivado como un elemento más de la mezcla tanto en obra (elementos in situ) como en fábrica (materiales prefabricados).

El agente activo utilizado en la encapsulación ha sido parafina comercial Rubitherm RT27, mientras que la cobertura está formada por una mezcla de polietileno de baja densidad (LDPE) y copolímero etilvinilacetato (EVA). A estas microcápsulas, se les ha denominado PCM ITQUIMA en este trabajo.

Las propiedades térmicas de las microcápsulas se han caracterizado mediante una calorimetría diferencial de barrido (DSC). En la figura 8 y en la tabla 1 se recogen los resultados del análisis DSC para una muestra de PCM ITQUIMA. El DCS muestra como la acumulación se inicia a una temperatura de 5'33 ºC, finalizando a 32'71 ºC. En este intervalo de temperatura se produce una acumulación total de 83'41 J/g, siendo esta la capacidad de almacenamiento de calor producida por el cambio de fase de la parafina (calor latente). El punto de acumulación máxima se produce a 24'27 ºC, siendo de 12'24 J/g•ºC.

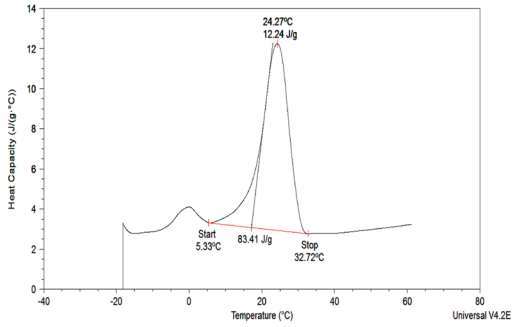

Figura 8. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) PCM ITQUIMA. Fuente: ITQUIMA.

Tª Inicial acumulación	Tª Final de acumulación	Máxima acumulación		Qlat Total
5'33 ºC	32'72 ºC	24'27 ºC	12'24 J/g ºC	83'41 J/g

Tabla 1. Características térmicas PCM ITQUIMA. Fuente: ITQUIMA.

3. Metodología

Este trabajo de investigación tiene como principal objetivo analizar la influencia de la incorporación de materiales de cambio de fase en morteros de arcilla para enlucidos interiores, así como desarrollar un producto de construcción que combine las ventajas del comportamiento térmico de los PCM y las distintas características de un material tradicional como son los morteros de arcilla. A tal efecto, se ha desarrollado un plan de ensayos que permite evaluar las distintas propiedades físicas, mecánicas y térmicas de los morteros de arcilla objeto de estudio con diferentes incorporaciones de PCM. Además de las propiedades del mortero en estado endurecido, se ha considerado imprescindible para la comprensión de los resultados, caracterizar las propiedades del mortero en estado fresco.

Los ensayos físico-mecánicos se han realizado en el Laboratorio de Calidad en la Edificación (LACAE) de la Escuela Politécnica de Cuenca, mientras que los ensayos térmicos se han realizado en el Instituto de Tecnología Química y Medioambiental (ITQUIMA), ambas instalaciones pertenecientes a la Universidad de Castilla-La Mancha. Dada la inexistencia de normativa nacional referente a morteros de arcilla, se ha optado por ensayar este material conforme a lo descrito en la norma UNE-EN 998-1:2010 y la serie normativa UNE-EN 1015, considerando que los materiales que engloba esta norma guardan mayor similitud con el mortero estudiado en este trabajo dadas sus características y usos.

Se han establecido tres dosificaciones diferentes; 5% de PCM, 10% de PCM y 15% de PCM en peso respecto a la cantidad de mortero en estado seco.

El siguiente esquema muestra los ensayos realizados para la caracterización:

o MORTERO EN ESTADO FRESCO

– UNE-EN 1015-3:2000. Determinación de la consistencia del mortero fresco por la mesa de sacudidas.

– UNE-EN 1015-6:1999. Determinación de la densidad aparente del mortero fresco.

– UNE-EN 1015-7:2000. Determinación del contenido en aire en el mortero fresco.

– UNE-EN 1015-9:2000. Determinación del periodo de trabajabilidad y del tiempo abierto del mortero fresco.

o MORTERO EN ESTADO ENDURECIDO

• Ensayos físicos:

– Retracción. Método experimental

– Adaptación UNE 102042:2014. Yesos escayolas de construcción. Otros métodos. Determinación de la densidad en probeta para los yesos de alto rendimiento.

– Absorción de vapor de agua. Método experimental basado en la norma DIN 18947:2012.

– UNE-EN 1015-19:1999. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros endurecidos de revoco y enlucido.

• Ensayos mecánicos:

– UNE-EN 1015-11:2000. Determinación de la resistencia a flexión y compresión del mortero endurecido.

– UNE-EN 1015-12:2000. Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros de revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes.

– Adaptación UNE 102042:2014. Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos. Determinación de la dureza Shore C en laboratorio sobre probetas.

• Ensayos térmicos

– Calorimetría diferencial de barrido DSC.

– Caracterización térmica mediante el método experimental desarrollado por el laboratorio de tecnología de polímeros en el ITQUIMA.

Como se ha mencionado anteriormente, la metodología de ensayo se ha basado en lo descrito en las normas UNE-EN 998-1:2010 y serie normativa UNE-EN 1015, sin embargo, esta se ha debido adaptar a la naturaleza de los morteros de arcilla:

- Para el amasado se ha utilizado una amasadora según UNE-EN 196-1:2005, siendo premezclados los componentes secos previamente en una bandeja. Los tiempos de amasado han sido los siguientes; se introducirán los componentes en la amasadora en un periodo máximo de 60 s, se prolongará el amasado durante 30 s, a continuación se realizará una pausa de 5 minutos para la correcta hidratación de la mezcla, finalmente se completará el amasado con 60 s. Este protocolo de amasado se ha establecido siguiendo las indicaciones de la norma UNE-EN 1015-2:1999 y las recomendaciones del fabricante.

- Dado que los morteros de arcilla (al contrario que los morteros de cemento, yeso, etc.) adquieren sus resistencias por deshidratación, se ha desestimado el curado de las probetas en cámara húmeda según lo descrito en las citadas normas. En su lugar, las probetas se han conservado en condiciones de laboratorio (20 ºC, 60 %HR aprox.) durante un periodo de 14 días.

- El desmoldado de las probetas se ha realizado en un periodo mínimo de 4 días.

5. Resultados

Los resultados de los ensayos del mortero en estado fresco muestran un incremento de la cantidad de agua de amasado requerida para alcanzar un mismo escurrimiento respecto a la dosificación patrón. Con una adición de 5% de PCM se requiere un 9’90% más de agua, un 18’18% más para la dosificación al 10% de PCM y un 30’90% para la dosificación con un 15% de PCM incorporado. Estos datos evidencian como la adición de PCM supone una disminución en trabajabilidad del mortero.

En relación a los resultados sobre la densidad del mortero fresco, se ha observado como a medida que aumenta la concentración de microcápsulas, la densidad disminuye. Siendo la densidad de la dosificación patrón de 1823’34 kg/m3, con la dosificación al 5% de PCM se ha obtenido una densidad de 1550’07 kg/m3, 1491.19 kg/m3para la dosificación con un 10% de PCM y 1406’12 kg/m3 para la dosificación al 15%.

Los resultados del ensayo de trabajabilidad se presentan en la figura 9. El tiempo abierto del mortero fresco refleja que, tanto la dosificación patrón como las distintas dosificaciones con adición de PCM, superan la resistencia determinada por la norma (0’5 N/mm2) a los

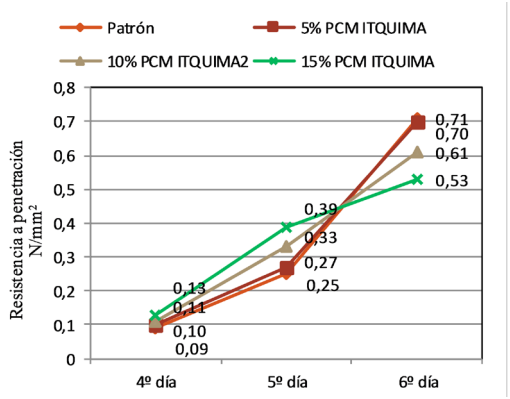

Figura 9. Tiempo abierto del mortero fresco.

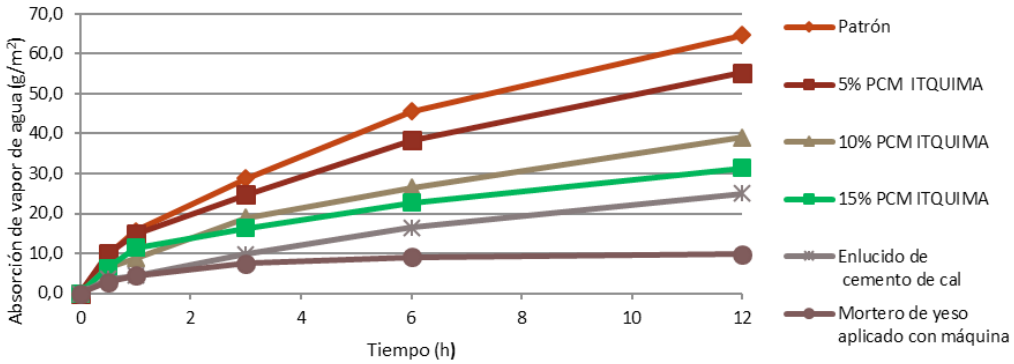

Figura 10. Absorción de vapor de agua tras el aumento de la humedad relativa del aire del 50% al 80%.

6 días de su amasado. En el 4º día, las cuatro dosificaciones presentan una resistencia muy similar, apreciando un aumento poco significativo cuanto mayor es la presencia de microcápsulas. En el 5º día la diferencia de resistencia entre las distintas dosificaciones aumenta, siendo mayor en las dosificaciones que contienen una mayor cantidad de PCM. Al 6º día, la tendencia se invierte, siendo las dosificaciones patrón y con 5 % de PCM las que adquieren mayores resistencias.

Los resultados de contenido en aire ocluido del mortero, muestran un incremento sustancial al incorporar PCM. Para la dosificación patrón se ha calculado en un 7'0%, mientras que con la primera adición, este valor incrementa hasta el 14'5%, siguiendo una tendencia descendente entre las sucesivas dosificaciones de 10 % (14'0 % aire ocluido) y 15% de PCM (12'5% de aire ocluido).

En cuanto a los resultados del mortero en estado endurecido, debemos diferenciar entre los resultados físicos, mecánicos y térmicos.

En cuando a los físicos, los resultados del cálculo de retracción muestran un incremento conforme se adiciona PCM. Estos valores han sido de un 3'22% para la dosificación patrón, un 4'71% con la dosificación al 5% de PCM, 5'47% para la de 10% y 6'71% para la de 15%.

Una de las características que resultaban de especial interés en este trabajo, son la capacidad de absorción de vapor de agua y permeabilidad al vapor de agua, siendo estas características representativas de los productos arcillosos. La capacidad de absorción de vapor de agua disminuye conforme aumenta la cantidad de microcápsulas en la dosificación, sin embargo, la gran capacidad higroscópica de las arcillas hace que todas las dosificaciones, independientemente de su concentración de PCM, presenten mejores resultados que otros morteros convencionales como el yeso o los morteros de cemento y cal (Fig. 10). La permeabilidad al vapor de agua sigue la misma tendencia que la absorción de vapor de agua, disminuyendo conforme se adiciona

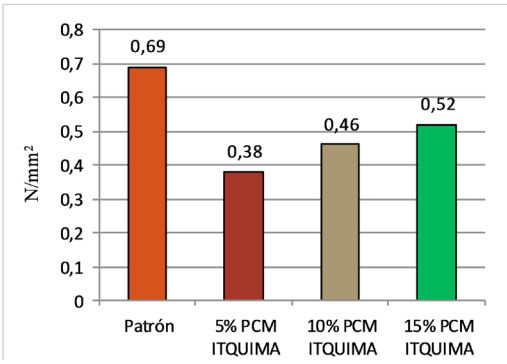

Figura 11. Resistencia a flexión de las distintas dosificaciones con adición de PCM ITQUIMA producido mediante spry drying.

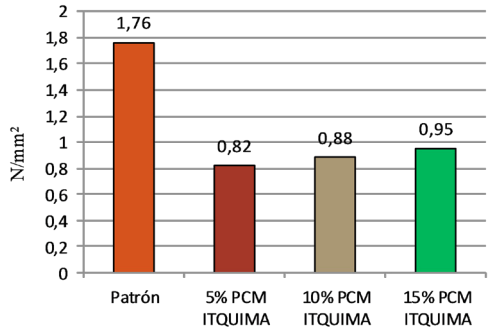

Figura 12. Resistencia a compresión de las distintas dosificaciones con adición de PCM ITQUIMA producido mediante spry drying.

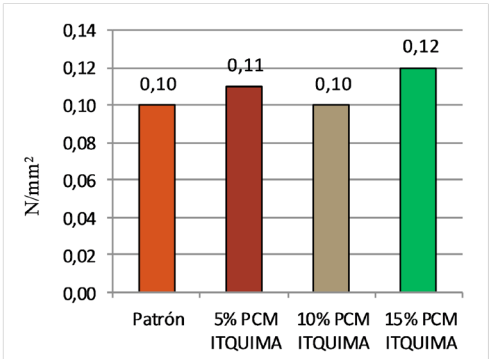

Figura 13. Resistencia a adhesión de las distintas dosificaciones con adición de PCM ITQUIMA.

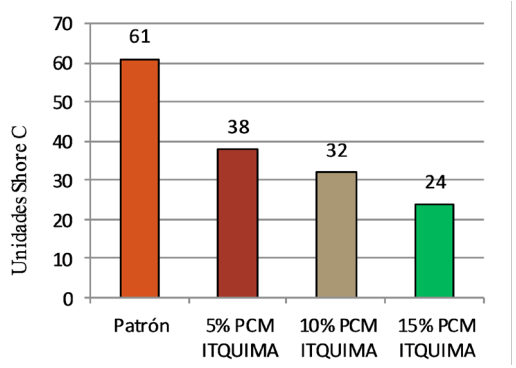

Figura 14. Dureza Shore C de las distintas dosificaciones con adición de PCM ITQUIMA.

PCM. Esto se debe al carácter hidrófobo de las microcápsulas de PCM.

En cuanto a la permeabilidad, los resultados siguen la misma tendencia. La dosificación patrón presenta una permeabilidad de 2'28 •10-11 kg•m/m2•s•Pa. Tras la primera adicción, este valor disminuye hasta 1'42•10-11 kg•m/m2•s•Pa. En cuanto a las dosificaciones al 10 y al 15 % en peso, la permeabilidad es de 1'04•10-11 kg•m/m2•s•Pa y 0'95•10-11 kg•m/m2•s•Pa. Esto supone una disminución de 37'7 %, 54'4 y 58'3 % respectivamente.

Los resultados de los ensayos mecánicos a flexo-compresión (Fig. 11 y 12) muestran una reducción de la resistencia en ambos casos, siendo más significativa a compresión (con un 53'4% respecto a la dosificación patrón) que a flexión (44'9%) para la dosificación con un 5% de PCM. Entre las sucesivas dosificaciones, observamos una recuperación de la resistencia conforme aumenta la concentración de PCM. Con respecto a compresión, la disminución de resistencias para la dosificación con un 10% de PCM es de un 50'0%, y con un 15% de PCM de un 46'0%. En resistencia a flexión, la disminución se resistencia se atenúa de igual modo, siendo respecto a la dosificación patrón de un 33'3% para un 10% de PCM y de un 24'6% para un 15% de PCM.

Los resultados del ensayo de adherencia muestran como la resistencia a tracción perpendicular son estables independientemente de la dosificación utilizada, incluso con respecto a la dosificación patrón como se puede ver en la figura 13.

En cuanto a la dureza superficial Shore C, se produce una disminución significativa de la resistencia conforme aumenta la dosificación en PCM. Estos resultados se muestran en la figura 14.

Para evaluar el características térmicas del mortero de arcilla con adición de PCM, se realizaron ensayos de DSC (calorimetría diferencial de barrido) y caracterización térmica en el instituto ITQUIMA. Mediante

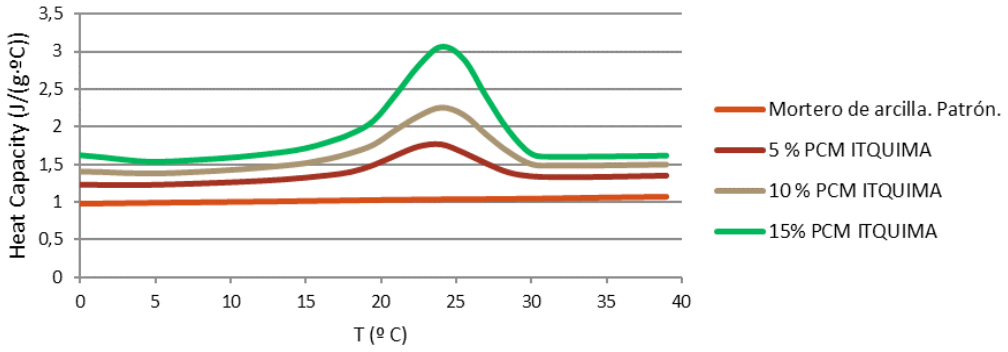

Figura 15. Análisis mediante DSC de las muestras de mortero de arcilla con diferentes concentraciones de microcápsulas representando la capacidad calorífica aparente en función de la temperatura.

Dosificación	Tª Inicial acumulación	Tª Final de acumulación	Máxima acumulación		Qlat Total
Patrón	-	-	-	-	-
5% PCM ITQUIMA	15'63 ºC	31'26 ºC	23'57 ºC	1'77 J/gºC	2'87 J/g
10% PCM ITQUIMA	14'03 ºC	30'55 ºC	24'35 ºC	2'26 J/gºC	5'53 J/g
15% PCM ITQUIMA	11'10 ºC	30'65 ºC	24'39 ºC	3'07 J/gºC	10'59 J/g

Tabla 2.Resultados del ensayo de DSC para las distintas dosificaciones ensayadas.

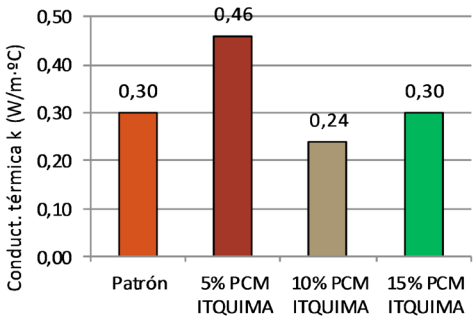

Figura 16. Conductividad térmica k para las distintas adiciones de PCM estudiadas.

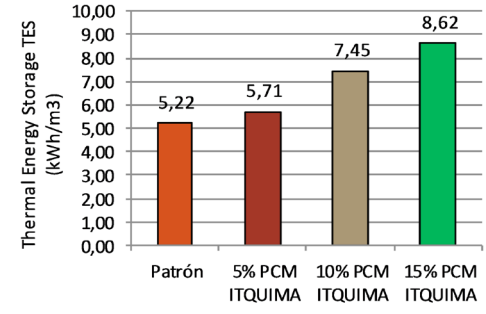

Figura 17. Thermal Energy Storage TES para las distintas adiciones de PCM estudiadas.

este ensayo se ha podido determinar el calor latente total y el rango de influencia del PCM. La figura 15 muestra de forma comparativa la capacidad calorífica de las diferentes muestras con adición de PCM en función de la temperatura. Los picos que presentan las curvas para las dosificaciones al 5%, 10% y 15% reflejan la influencia térmica de la adición de PCM. En la tabla 2 muestra los resultados del ensayo DSC para las muestras de las distintas dosificaciones.

La caracterización térmica es un método experimental desarrollado en ITQUIMA que ha permitido calcular la conductividad térmica y la capacidad TES (Thermal Energy Storage). Como se puede apreciar en la figura 16, la conductividad térmica se ha mantenido estable para las distintas dosificaciones, sin apreciar una tendencia en función de la cantidad de PCM incorporado. El parámetro TES sirve para evaluar la capacidad de almacenamiento por unidad de volumen, midiéndose en kWh/m3. Estos valores se encuentran representados en la figura 17.

4. Conclusiones

En primer lugar, este trabajo ha conseguido plantear una metodología de ensayo para un material sobre el que no existe normativa en el ámbito nacional. El procedimiento descrito puede servir como referencia en la redacción de normativa que englobe este tipo de materiales, así como para futuros trabajos e investigaciones.

Los resultados de los ensayos del mortero en estado fresco muestran como la adición de PCM supone una disminución de la trabajabilidad, de la densidad aparente, y un aumento de la cantidad de aire ocluido. En cuanto a los ensayos físicos del mortero en estado endurecido, se ha apreciado un considerable incremento de la retracción y una disminución en la absorción de vapor de agua y permeabilidad al vapor de agua.

Los resultados mecánicos muestran una disminución de la resistencia a flexión-compresión, apreciándose una recuperación de las resistencias entre las distintas dosificaciones. Sin embargo, los resultados del ensayo de resistencia a adhesión han mostrado parámetros similares indistintamente de la dosificación utilizada.

La adición de PCM ha supuesto una mejora sustancial en los parámetros térmicos ensayados al incrementarse la capacidad de almacenamiento en forma de calor latente. De esta forma, se ha conseguido incrementar la inercia térmica del mortero para su utilización como estrategia pasiva en edificación.

Bibliografía

BORREGUERO, A. M., J. L. VALVERDE, J. F. RODRÍGUEZ, A. H. BARBER, J. J. CUBILLO, AND M. CARMONA. “Synthesis and characterization of microcapsules containing Rubitherm® RT27 obtained by spray drying.” Chemical Engineering Journal 166, no. 1 (2011): 384-390..

SANCHEZ INOCENCIO, A. *Estudio, propuesta y aplicación de estrategias pasivas para el proyecto Symb-city del equipo Plateau Team en la competición Solar Decathlon Europe 2014.* Proyecto fin de grado. Universidad de Castilla-La Mancha. 2014.

ECOCLAY. Ficha técnica Ecoclay Base+Fibra. 2015

CASTILLA, F.J., SERRANO, J.L, ALFARO, J., PÉREZ, V., BAÑO, A. y ESTIRADO, F. Participación en el proyecto Symbcity para la competición internacional Solardecathlon 2014. En: Investigación y Transferencia en la Escuela Politécnica de Cuenca. Eds: Miguel Ángel López Guerrero, David Sanz Martínez, Ana María Torres Aranda. ISBN: 978-84-608-1482-5. (2015): 25-39.

Citas y notas

1. CASTILLA, F.J., SERRANO, J.L, ALFARO, J., PÉREZ, V., BAÑO, A. y ESTIRADO, F. Participación en el proyecto Symbcity para la competición internacional Solardecathlon 2014. En: Investigación y Transferencia en la Escuela Politécnica de Cuenca. Eds: Miguel Ángel López Guerrero, David Sanz Martínez, Ana María Torres Aranda. ISBN: 978-84-608-1482-5. (2015): 25-39.

2. Los materiales empleados fueron: tableros aglomerados de FINSA, mortero base y acabado fino EMBARRO y PCM MICRONAL DS5008.

3. Proyecto Fin de Grado, “Estudio, propuesta y aplicación de estrategias pasivas para el proyecto Symbcity” (ÁNGEL SANCHEZ INOCENCIO). 2014.

4. ECOCLAY. Ficha técnica Ecoclay Base+Fibra. 2015

5. BORREGUERO, A. M., J. L. VALVERDE, J. F. RODRÍGUEZ, A. H. BARBER, J. J. CUBILLO, AND M. CARMONA. “Synthesis and characterization of microcapsules containing Rubitherm® RT27 obtained by spray drying.” Chemical Engineering Journal 166, no. 1 (2011): 384-390.