

CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA INCORPORACIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE EN PANELES DE ESCAYOLA PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE CALOR LATENTE.

PHYSICAL CHARACTERIZATION OF PCM INCLUSION IN GYPSUM BOARDS FOR THERMAL ENERGY STORAGE THROUGH LATENT HEAT

Departamento: Construcción y Tecnología Arquitectónicas. E.T.S. Arquitectura de Madrid

Autores: Alicia Oliver Ramírez, Alfonso García Santos, F. Javier Neila

RESUMEN

En esta investigación se ha diseñado y fabricado un panel de escayola que incorpora un 45 % en peso de material de cambio de fase, manteniendo las propiedades físicas y mecánicas exigidas en la normativa. Así, un panel de 1,0 m² y 1,5 cm de espesor, contiene 4,75 kg de PCM, cantidad muy superior a la conseguida hasta la fecha (3 kg por m² de panel, o un 26% en peso) Para ello se ha mejorado previamente sus prestaciones mecánicas y físicas mediante adiciones binarias: fibras de polipropileno y dispersión de melanina formaldehído. Este porcentaje, es capaz de almacenar en 1,5 cm de espesor, 5 veces la energía térmica de un panel de cartón yeso con el mismo espesor, y la misma cantidad que ½ pie de fábrica ladrillo hueco, en el rango de temperaturas próximas a la de confort (20-30°C).

Se ha elegido la escayola como material más adecuado para desarrollar un nuevo producto de construcción

ABSTRACT

In this research a gypsum board, including a 44.5% in weight of phase change materials (PCM), has been designed and manufactured, maintaining the mechanical and physical properties required by the regulations in force. So a 1.5 cm board contents 4.75 kg of PCM per square meter. This quantity is much higher than the one achieved to date (3 kg per square meter, or a 26% in weight) It has been improved previously mechanical end physically by incorporating polypropylene fibers and melamine formaldehyde as fluidificant. This board is able to store 5 times the thermal energy of a current gypsum board -with the same thickness-, and the same amount to 12 cm brick layer, in the comfort temperature range (20-30 °C).

Gypsum has been chosen as the most suitable material to develop developing a new construction product combined

combinado con estos materiales de cambio de fase –por su disponibilidad, profusa utilización en el campo de la edificación y bajo coste.

Experimentalmente se han combinado los agregados entre sí, variando las proporciones para obtener diferentes compuestos, los cuales se han ensayado para conocer sus propiedades: físicas –densidad, porosidad, higroscopicidad, resistencia a fuego, durabilidad...; mecánicas –dureza, resistencia, flexibilidad,...-; estéticas, etc. Se han comparado los resultados obtenidos para obtener un modelo de comportamiento conjunto que sirva para prever las características de los diversos compuestos constituidos por estos agregados.

Se ha elegido la combinación más adecuada para desarrollar constructivamente por la idoneidad de sus características: físicas, mecánicas y térmicas.

with PCM for its availability, profuse use in construction and low cost.

Experimentally different aggregates have been combined varying the proportions to get different compound materials, which have been tested to evaluate their properties: physical -density, porosity, hygroscopicity, durability ... -; mechanical -toughness, endurance, flexibility, -; aesthetic, and so on. There have been compared the results to get a whole behavior pattern to predict the characteristics of different compounds made from these aggregates.

The most suitable combination has been chosen to develop a constructive system according to the adequacy of its features: physical, mechanical and thermal.

1. ANTECEDENTES

Se ha elegido el yeso como material más adecuado para desarrollar un nuevo producto de construcción por su disponibilidad, profusa utilización en el campo de la edificación y bajo coste.

Esta línea de investigación se inició, en el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica de la E.T.S.A.M., por A. García. Santos en cuya Tesis caracterizaba el comportamiento mecánico del yeso reforzado con polímeros sintéticos. (1988)

En esta línea se han publicado trabajos sobre "Comportamiento mecánico de yeso reforzado con polímeros sintéticos". Informes de la Construcción (1988); "Estudio del comportamiento dipolar de las adiciones poliméricas combinadas de fibras y dispersiones, con

efectos sinérgicos en los materiales compuestos de matriz conglomerada hidráulica" (1999); "Proyecto de desarrollo y caracterización de material compuesto de yeso y escayola, para revestimientos y paneles prefabricados para divisiones interiores" dentro del Programa PROFIT 2000 o "Caracterización de compuestos de escayola reforzados, en relación con el tipo de refuerzo y la relación A/Y". Informes de la Construcción" (2004).

Respecto a los materiales de cambio de fase y su integración en materiales de construcción se han publicado diversos trabajos en el ámbito internacional desde inicios de los años 80 (hormigón, yeso, cerámica, vidrio,...) En España se ha realizado una investigación basada en la incorporación de estos materiales en módulos prefabricados de hormigón (Zalba, Cabeza 2004), y se está investigando en la integración de PCM en ladrillo perforado (Instituto del Frío).

Comercialmente existe un producto basado en la incorporación de PCM a paneles de cartón yeso (Smart Board, de BASF) que incorpora un 26% en peso del material, es decir, 3 kg/ m² de panel, con 1,5 cm de espesor.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

MATERIALES COMPUESTOS

Un material compuesto es un producto formado por varios componentes con las siguientes propiedades.

- Están formados de 2 o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.
- Presentan varias fases químicamente distintas, (no forman sistema: ante variaciones cuantitativas de las fases aparecen variaciones cuantitativas de las propiedades). Éstas son completamente insolubles entre sí – aunque separables por medios físicos- y separadas por una intercara.
- Sus propiedades mecánicas pueden ser superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes produciendo los denominados efectos sinérgicos.
- Sus componentes deben ser compatibles; teniendo diferente forma y siendo separables por medios físicos.

Cuando sus componentes son muy diferentes hablamos de:

- **Fase matriz** o simplemente matriz: tiene carácter continuo y es la responsable de las propiedades físicas y químicas. Transmite los esfuerzos al agente reforzante. También lo protege y da cohesión al material.
- **Agente reforzante**: es una fase de carácter discreto y su geometría es fundamental la hora de definir las propiedades mecánicas del material.

Las limitaciones de estos materiales son las dificultades en la fabricación, las incompatibilidades entre materiales y el elevado coste.

Los materiales compuestos se pueden dividir en:

- **Materiales Compuestos reforzados con partículas**: material duro y frágil disperso discreta y uniformemente, rodeado por una matriz más blanda y dúctil.

En el caso del yeso, se utilizan **plastificantes o fluidificantes**, que disminuyen la cantidad de agua necesaria para el amasado, y por tanto reduce su porosidad interna y capilaridad, aumentando la compactación, es decir, la reducción en la separación entre cristales. Además contribuyen a la homogenización del material, en el reparto de cargas.

- **Materiales Compuestos reforzados con fibras**: que en caso de ser plásticas poseen macromoléculas presentan directriz lineal que facilite el proceso de transformación. En estos compuestos la matriz envuelve y liga las fibras, transfiriendo la carga de las fibras rotas a las intactas y entre las que no están alineadas con las líneas de tensión. También evita el pandeo de las fibras por compresión.

Si el agregado está dispersado o granulado, se conseguirá un material isotrópico. Por el contrario, el relleno puede tener una estructura localizada: *armado*: (unidireccional), *tejido* (bidireccional)

También puede ser un agregado de refuerzo a través de fibrado aleatorio: fibra larga (rotura a tracción), fibra corta (rotura por adherencia)

Las fibras (responsables de las propiedades mecánicas) sirven para resistir la tracción, la matriz (responsable de las propiedades físicas y químicas) para resistir las deformaciones, y todos los materiales presentes sirven para resistir la compresión, incluyendo cualquier agregado.

La resistencia del material reforzado frente a la tensión es el resultado de un **efecto sinérgico entre la fibra y matriz**, debido a la complementariedad entre las propiedades de ambas y la compatibilidad necesaria para permitir el trabajo conjunto. Por ello es necesario realizar un análisis de compatibilidad en función del contacto que se establece entre sus superficies de todos los componentes de un material reforzado.

COMPORTAMIENTO CONJUNTO

El comportamiento conjunto de los materiales compuestos depende tanto de las propiedades intrínsecas de cada agregado, del estado físico que posean en el momento de producirse la agregación, como de las relaciones que se establezcan entre ellos, fundamentando los fenómenos de adherencia en base a las tensiones superficiales de los agregados, producidas por la energía superficial de los límites de cada fase existente, en función de la superficie de cada elemento constitutivo.

En cuanto la **relación físico-mecánica** de los componentes del compuesto es importante tener en cuenta:

- En la superficie de una fase existe una resultante de las fuerzas que actúan sobre una molécula, tendente a empujarla perpendicularmente hacia el interior debido a la ausencia de equilibrio de fuerzas, intentando la fase asumir la forma que presente menor área.
- Esta energía puede ser cuantificable, aportando energía calorífica hasta producir el cambio de estado de las moléculas superficiales. En valor absoluto coincide con la tensión superficial, ya que las superficies actúan como si una fuerza estuviera siendo ejercida tangencialmente a ellas, o como si existiera una capa superficial comprimida en la superficie de la fase que produjera su minimización.
- Cuando un líquido y un sólido insoluble se ponen en contacto, las moléculas de ambas fases se atraen a lo largo de toda la superficie de contacto,- fuerzas de adhesión- siendo contrarrestada por las fuerzas de cohesión interna. En función de la diferencia de tensiones superficiales, se producirá una mayor o menor *bañabilidad* de un cuerpo sobre otro. Este efecto está relacionado con la sustitución de los posibles enlaces superficiales que el sólido posea y con la adhesión específica entre fases.
- Cuando se produce una solución con varios tipos de moléculas que poseen diferentes estados cohesivos, aquéllas de menor energía cohesiva serán expulsadas hacia la superficie, disminuyendo la energía superficial de ésta. Esta tendencia a contraerse es conocida como *efecto Gibbs*.
- Las adiciones modifican el estado de energía superficial, denominándose sustancias *tensoactivas*.
- Las fibras absorben las tensiones internas que se generen en el interior de un material diferenciándose su

comportamiento según sean las características de la matriz (elástica o frágil)

- Aunque existe una gran documentación sobre los efectos de los polímeros sintéticos como aditivos con efectos fluidificantes sobre morteros pastas y hormigones, y sobre los efectos mecánicos que producen las fibras de polímeros sintéticos, no ocurre lo mismo sobre los efectos que sinérgicamente produce el comportamiento conjunto de ambos aditivos y menos aún con la escayola.

3. ENSAYOS

Condiciones de los Ensayos: Según la EN 13279.2, para una correcta ejecución de los ensayos las condiciones han de cumplir las siguientes especificaciones:

- Temperatura de laboratorio = $20^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$
- Humedad relativa $> 65\%$
- Materiales y herramientas para la fabricación de probetas estancas serán impermeables y resistentes al Ca_2SO_4
- Materiales y herramientas de realización de ensayos estarán limpios.

Materiales utilizados:

- Matriz: Escayola E.30.L, "La Maruxiña". Dosificación: Sacos de 30 kg
- Fibras: Polipropileno (25 mm y 7 deniers), "Propilan". Dosificación: Sacos de 15 kg
- Dispersión: Policondensado de melamina-formaldehído, "Bettor", Melment L-10. Dosificación: Recipiente de 20 l
- Material de cambio de fase: Micronal DS 5001X. Dosificación: Sacos de 15 kg

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS CON PROBETAS

ABREVIATURAS

A	Agua
D	Dispersión (Melamina Formaldehído)
F	Fibra (polipropileno)
G	Gel, material de cambio de fase
PCM	Phase Change Material, material de cambio de fase
PR	Probeta
Y	yeso

LETRAS GRIEGAS

ρ	Densidad	[Kg/m ³]
--------	----------	----------------------

UNIDADES

L	Longitud	[m]
m	Masa	[kg]

q	carga	kN
t	Tiempo	[s]

Ejemplo de nomenclatura de las probetas

La probeta denominada 100Y-90A-4F-5D-80G, posee 100% de Yeso, 90% de Agua, 4% de Fibra, 5% de Dispersión, y 80% de PCM, en proporciones relativas a la cantidad de yeso, que se toma como 100%.

Así para hacer esta muestra, si ponemos por ejemplo 1000 g de yeso, necesitaríamos, 900 g de agua, 40 g de fibra, 50 g de dispersión, y 800 g de PCM.

REDUCCIÓN DE PESO

Es la sufrida tras el proceso de fraguado y secado de la pasta la por pérdida de agua de la mezcla.

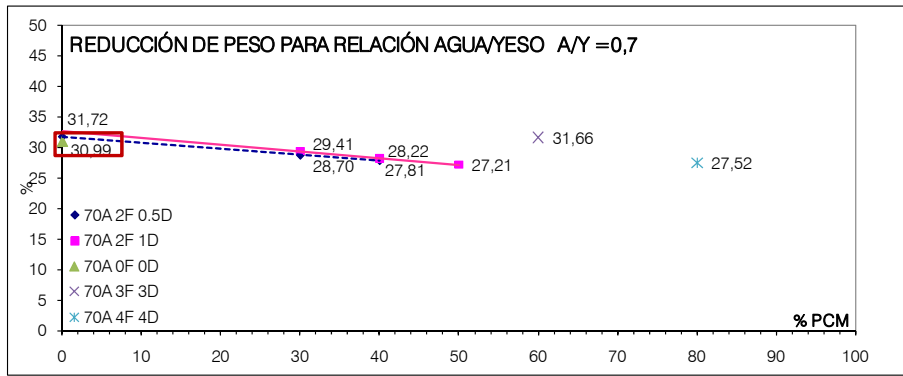
Las gráficas obtenidas de los ensayos son casi lineales, ya que el factor más determinante en cuanto a la reducción de peso se refiere son:

- La **relación agua/yeso**: está en relación directa con la pérdida en peso que experimenta la pasta, siendo mayor cuanto mayor sea la relación A/Y. En efecto, cuanto más cantidad de agua se añada a la mezcla, más cantidad de agua tiene habrá que perder ya que -químicamente expresado- por cada molécula de semihidrato $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$, se necesitan $\frac{3}{2}$ de $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$, para formar el dihidrato
- El aumento de la **proporción de PCM**: disminuye sensiblemente la pérdida en peso (%). El PCM se presenta como un microencapsulado con un con un diámetro de 2-20 micrómetros, es decir como un agregado muy fino, lo que implica mayor cantidad de discontinuidades en la masa del compuesto.

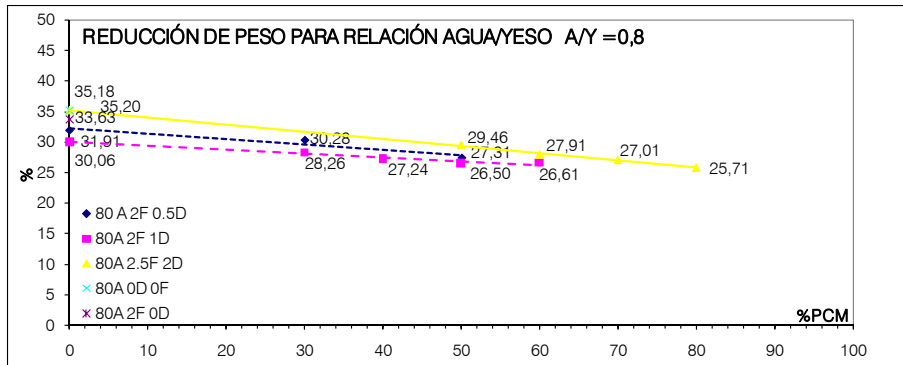
Así para un porcentaje de agua del 70%, la reducción de peso varía del 32% (sin PCM) al 24% (con el 80% de PCM); cuando el porcentaje de agua es del 80%, la reducción varía del 35,2% (con 0% de PCM) al 25,7% (para 80% de PCM); mientras que para la mezcla con 90% de agua, los valores oscilan entre 39% y 26%

Respecto a la influencia de los otros componentes se puede decir:

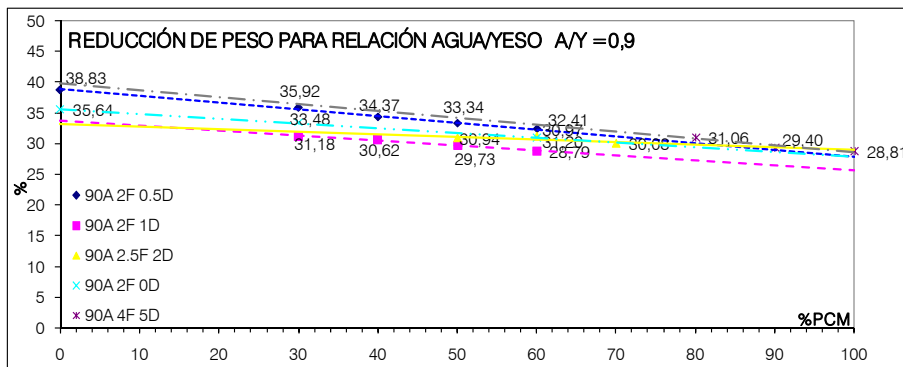
- La incorporación de fibras, no afecta de manera significativa a la reducción de peso.
- La adición de dispersión (melamina), contribuye a la disminución en la reducción de peso en tanto y cuanto, reduce las necesidades de agua en la mezcla.
- Para una misma cantidad de agua y de PCM, no están claros los efectos que produce la adición de dispersión en cuanto a la reducción de peso, ya que varía con las distintas proporciones de los diferentes agregados en la mezcla.



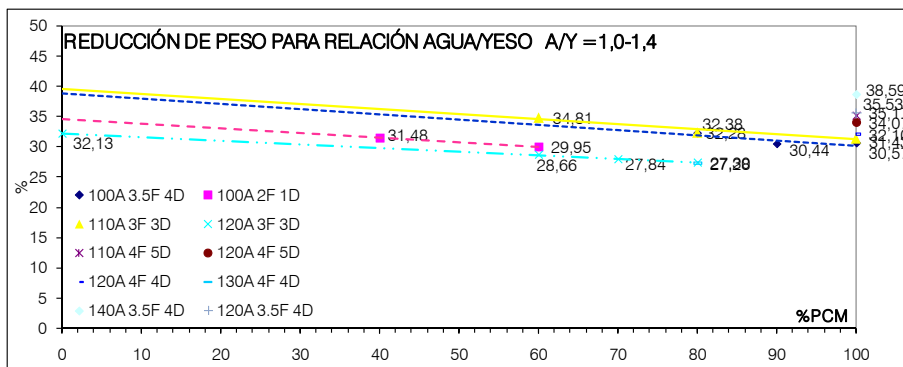
Gráfica 4-1 Reducción de peso con 70% de agua



Gráfica 4-2 Reducción de peso con 80% de agua



Gráfica 4-3 Reducción de peso con 90% de agua



Gráfica 4-4 Reducción de peso con 100-140% de agua

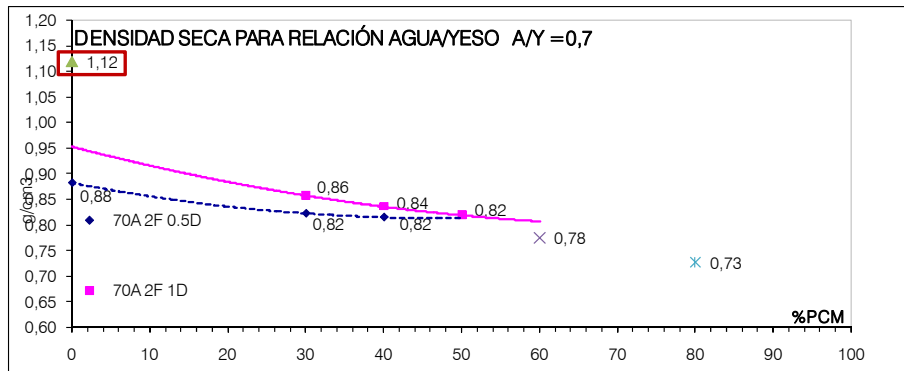
DENSIDAD

Las densidades obtenidas en la muestra patrón -sin adiciones- son del orden de $1,12 \text{ g/cm}^3$, y se halla en el rango establecido por la normativa.

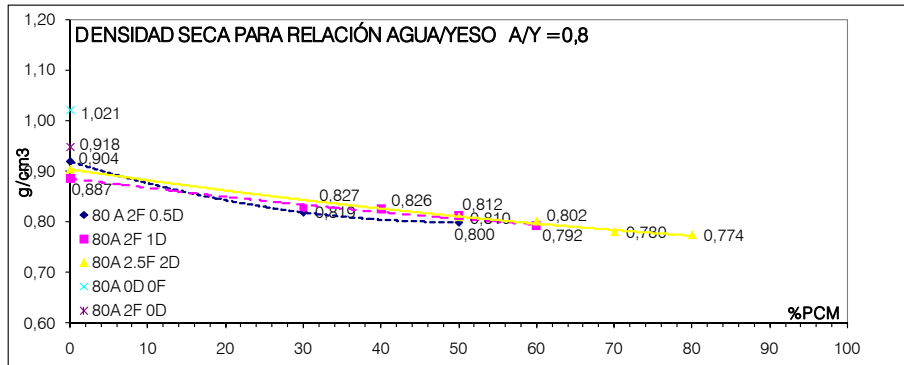
- La línea de tendencia derivada de los resultados obtenidos es polinómica, de lo que se deduce que todos los agregados influyen en aquellos.

- Según esto se pueden determinar las siguientes conclusiones:

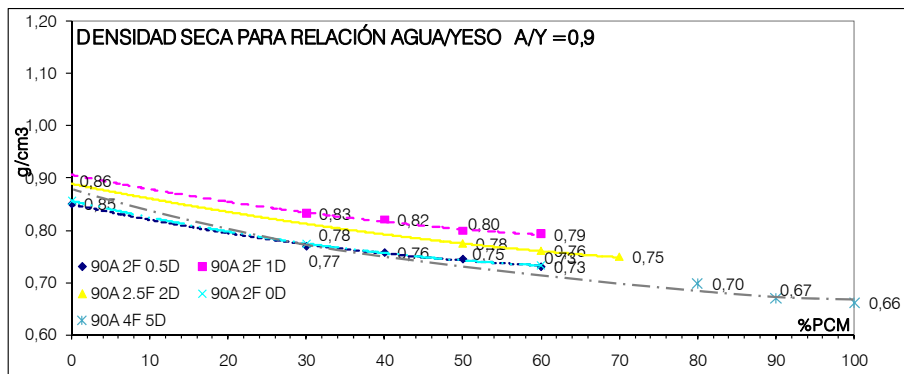
- Una mayor proporción de agua en la mezcla aumenta la densidad húmeda, y disminuye la densidad seca, tanta más cuanto mayor cantidad de microencapsulado se incorpore.
- Así para las muestras que no contienen PCM, el valor es similar tanto para las probetas con 70%, como las de 80, 90 ó 100% de agua (0.85-0.9 g/ cm³). Para dosis de 80% de Micronal, este valor es de 0.8-0.82 g/ cm³ en las probetas con 70% de agua; 0.77 g/ cm³ para las de 80%; próximas a 0,75 g/cm³ para las de 90%, y 0.7 y 0.65 g/cm³ para las de 100% y 130% de agua respectivamente.
- La incorporación de dispersión aumenta la densidad seca de las muestras, ya que disminuye la aidez de agua.
- El incremento de la proporción de de fibras disminuye la densidad húmeda y seca de la muestra ya que incrementa el volumen sin apenas añadir masa.
- El aumento del porcentaje de PCM reduce tanto la densidad húmeda como la seca de la mezcla. Ello se explica porque la densidad de éste es inferior a la del yeso, 2,3 – 2,5 g/cm³ frente a 6.5-11 g/cm³ del polvo de yeso. Así para muestras con 0% de PCM, la densidad seca oscila entre 0,85-0.9 g/cm³, mientras que para 80% de PCM ésta cae hasta un 0,77 g/cm³.



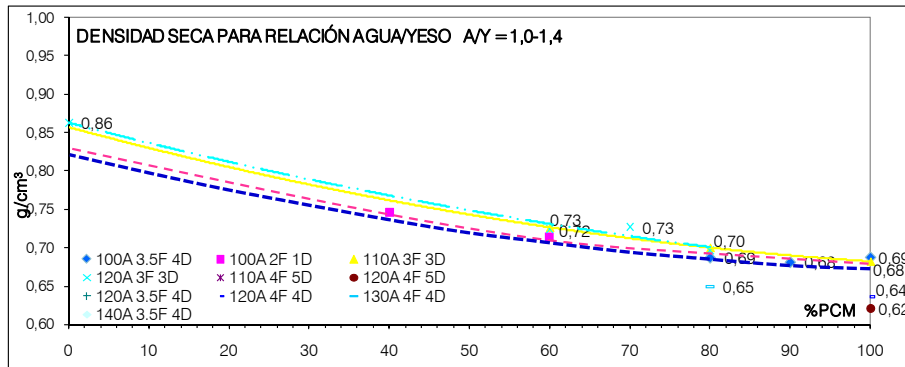
Gráfica 4-5 Densidad seca con 70% de agua



Gráfica 4-6 Densidad seca con 80% de agua



Gráfica 4-7 Densidad seca con 90% de agua



Gráfica 4-8 Densidad seca con 100-140% de agua

TIEMPO DE FRAGUADO:

Es el tiempo que tarda la pasta de yeso fresca en perder su trabajabilidad y comenzar su endurecimiento

- Una mayor finura del yeso favorece también una evolución rápida de sus propiedades, en particular de su fraguado, ya que hay más superficie de contacto, que incrementa la atracción entre estas partículas y el agua.
- La adición de fibras disminuye considerablemente el tiempo de fraguado reduciendo el efecto de aumento que podría suponer el agua y la dispersión. Este aspecto se estudia en profundidad en la Tesis Doctoral de (García-Santos 88) donde se elaboraron 900 muestras de material para analizar la influencia de diferentes adiciones a la matriz de escayola, en el comportamiento físico y mecánico del compuesto.
- La adición de PCM, influye en el tiempo de fraguado en tanto que aportan materia seca al conjunto, por lo que incrementan la avidez de agua de los diferentes agregados.

En este tipo de mezclas, con escasa proporción de agua, se ha utilizado una elevada cantidad de dispersión -5%-para retardar el tiempo de fraguado. Se ha observado durante el amasado de éstas el efecto fluidificante que posee la melamina, multiplicando los efectos del agua a los pocos segundos de iniciarse la reacción, lo que ha posibilitado cierta trabajabilidad del material.

Aun así, es necesario asegurar una cierta cantidad de agua en relación a la suma total de la materia seca – esto es, escayola, PCM y fibras- para que la dispersión tenga efecto fluidificante.

Para aumentar el tiempo de fraguado, de cara a una aplicación comercial del producto, sería recomendable utilizar unas dosis más elevadas de dispersión, evitando utilizar más cantidad de agua, que reduce las propiedades mecánicas, como se verá más adelante.

TRABAJABILIDAD DE LA MUESTRA

La trabajabilidad de la mezcla con fibras es inferior a la del yeso convencional. Ello se debe a que las fibras, delgadas y alargadas, con geometría muy diferente a la del resto de los agregados –yeso y microencapsulados de PCM- pudiendo provocar una trabazón que dificulta la mezcla, al tiempo que su gran superficie específica absorbe agua libre, lo que resta fluidez a la mezcla. Cuanto mayor es la proporción de fibras y su coeficiente de aspecto menor es la trabajabilidad de la mezcla.

Se requiere una mayor energía de compactación al ser mayor la consistencia (según ensayos realizados)

La trabajabilidad disminuye con la adición de PCM, ya que incrementa la proporción de masa seca respecto a la cantidad de agua.

La incorporación de dispersión mejora la trabajabilidad de la muestra para la misma proporción de agua, pudiendo reducirse hasta un 10% de agua por 1% de dispersión añadida.

5. CONCLUSIONES

Se ha conseguido **incrementar la tasa de PCM** en paneles de yeso, **de un 26%** en peso, logrado como máximo en trabajos anteriores, a más de un **44,5% en peso**, o lo que es lo mismo, en una placa de escayola de 1,5 cm de espesor, se ha incrementado la cantidad de menos de 3 kg/m², a **4,75 kg/m²** que, en términos energéticos, supone un incremento de **más del doble de capacidad de almacenamiento** (para un incremento de temperatura de 10 °C).

Para ello se han incorporado previamente otros aditivos que **mejoran las propiedades físicas y mecánicas del material compuesto**

Se ha elegido la dosificación 100Y-100A-3,5F-4D-80G, para industrializar por ser la que, con mayor cuantía de material de cambio de fase incorporado, cumple las recomendaciones establecidas por la Normativa con lo que se asegura su correcta funcionalidad en los diferentes usos para los que han sido diseñados.

PROBETA	Reducción de Peso (%)	Densidad seca (g/cm³)
100Y-70A-0F-0D-0G	31,00	1,11
100Y-100A-3,5F-4D-80G	32,28	0,71
NORMATIVA	-	>0,6

Tabla 5-1 Comparación de las características físicas de la probeta de referencia(A/Y=0,7) y los de la dosificación elegida para industrializar

REDUCCIÓN DE PESO

La **reducción de peso** tras el proceso de fraguado es sensiblemente superior a la de la probeta de referencia, con lo que se pueden aplicar las mismas consideraciones que en el curado de un yeso convencional

- El factor más determinante en cuanto a la reducción de peso es la relación agua/yeso: está en relación directa con la pérdida en peso que experimenta la pasta, siendo mayor cuanto mayor sea la relación A/Y: cuanto más cantidad de agua se añada a la mezcla, más cantidad de agua tiene que perder.

- La incorporación de fibras, no afecta de manera significativa a la reducción de peso.
- La adición de dispersión (melamina), contribuye a la disminución en la reducción de peso en tanto y cuanto, reduce las necesidades de agua en la mezcla
- El aumento de la proporción de PCM disminuye sensiblemente la pérdida en peso (%), ya que al ser un agregado muy fino implica mayor cantidad de discontinuidades en la masa del compuesto.

DENSIDAD

La **densidad seca se reduce en un 38 % respecto a la probeta base**, es decir, de 1100 kg/m³ a 700 kg/m³. Ello implica un aligeramiento de la placa de yeso con PCM frente a una convencional, con la consiguiente disminución del número de fijaciones mecánicas necesarias para su instalación, y reducción de la carga a soportar por las estructuras

Así una placa de yeso con PCM propuesta, pesa 10,45 kg/m², frente a 16,8 kg/m² que pesaría la placa de referencia (A/Y= 0,7).

- Una mayor proporción de agua en la mezcla aumenta la densidad húmeda, y disminuye la densidad seca, tanta más cuanto mayor cantidad de microencapsulado se incorpore.
- La incorporación de dispersión aumenta la densidad seca de las muestras, ya que disminuye la avidez de agua.
- El incremento de la proporción de de fibras disminuye la densidad húmeda y seca de la muestra ya que incrementa el volumen sin apenas añadir masa.
- El aumento del porcentaje de PCM reduce tanto la densidad húmeda como la seca de la mezcla.

TIEMPO DE FRAGUADO Y TRABAJABILIDAD

- Una mayor finura del yeso favorece la aceleración su fraguado, ya que hay más superficie de contacto, que incrementa la atracción entre estas partículas y el agua.
- La adición de fibras disminuye considerablemente el tiempo de fraguado reduciendo el efecto de aumento que podría suponer el agua y la dispersión.
- La adición de PCM, influye en el tiempo de fraguado en tanto que aportan materia seca al conjunto, por lo que incrementan la avidez de agua de los diferentes agregados.
- La trabajabilidad de la mezcla con fibras es inferior a la del yeso convencional y se requiere una mayor energía de compactación al ser mayor la consistencia.
- La trabajabilidad disminuye con la adición de PCM, y mejora con la incorporación de dispersión pudiendo reducirse hasta un 10% de agua por 1% de dispersión añadida.

6. BIBLIOGRAFÍA

- A State-of-the-Art. Report. Smart Energy-Efficient Buildings Research Program at NTNU and SINTEF 2002-2006, Trondheim, December 2002,
- Abhat (1978). "Latent Heat Thermal Energy Storage in the Temperature range 20-80°C." (Bericht IKE 5-209, Institut für Kernenergetik und Energiesysteme, Universität Stuttgart).

- Abhat, A. (1983). "Low temperature latent heat thermal energy storage-Heat storage materials." Solar Energy 30(4).
- Antequera, P.; Jiménez, L.; Miravete, A.: "Los materiales compuestos de fibra de vidrio". Edit: secretariado de publicaciones. Zaragoza, 1991.
- Banu D, Feldman D, Haghghat F, Paris J, Hawes D. Energy storing wallboard—flammability tests. J Mater Civil Eng 1998;10(21):98–106;
- BASF. How Phase Changing Materials Work. .
- Egli, P.H. & Johnson, L.R. «The Art and Science of Growing Crystals». J.J.Gilman, Ed., Wiley, N.Y. 1963. Pág. 194.
- Energy For The Future: Renewable Fuentes Of Energy - White Paper for a Community Strategy and Action Plan 2003,
- Feldman D, Banu D, Hawes D, Ghanbari E. Obtaining an energy storing building material by direct incorporation of an organic phase change material in gypsum wallboard. Sol Energy Mater 1991; 22:231–42,
- Feldman D., Banu D., Hawes D.W. 1994, Development and application of organic phase change mixtures in thermal storage gypsum wallboard Centre for Building Studies, Concordia University, Canada
- Feldman, D., D. Banu, et al. (1995). "Development and application of organic phase change mixtures in thermal storage gypsum wallboard." Solar Energy Materials and Solar Cells 36(2): 147-157,
- Feldman. D. "Polymeric Building Materials" (Elsevier, London, 1989),
- García Santos "Comportamiento mecánico de yeso reforzado con polímeros sintéticos", Informes de la Construcción, Vol. 40 N° 397. págs. 67-91. 1988.
- García Santos, "Caracterización de compuestos de escayola reforzados, en relación con el tipo de refuerzo y la relación a/y". Informes de la Construcción, Vol. 56, n° 493, septiembre-octubre 2004. Pg 19-31
- García Santos, A. "Apuntes de la asignatura Materiales de Construcción". Cursos 1999-2000-2001
- García Santos, A. "Los plásticos en la construcción (I) y (II)". Estructura y propiedades. "Cuadernos del Instituto Juan de Herrera". Madrid, 1999.
- Gunn, D.J. "Mechanism for the Formation and Growth of Ionic Precipitates from Aqueous Solution". 1976. Pág. 133-140.
- Gurney, R.W. "Ionic Processes in Solution". Mc. Graw Hill
- Hawes, D. W., D. Feldman, et al. (1993). "Latent heat storage in building materials." Energy and Buildings 20(1): 77-86,
- Houle, J.-F. (1991). Process for Incorporation of a Phase Change Material into Gypsum
- Ilston, J.M. Construction materials. London, 1994.
- International Energy Agency (IEA). Implementing Agreement (IA) on Energy Conservation through Energy Storage (ECES).
- Kaasinen, H. (1992). "The absorption of phase change substances into commonly used building materials."
- Krenchel, H. "Fibre Reinforcement". Akademisk Forlag, Copenhagen. 1964. Pág. 159.
- Kroschwitz J.I. "Polymers: Fibers and textiles". A. Compendium.Ed. John Wiley, New York. 1990.
- Kuntze, R.A. "Retardation of the Crystallisation of Calcium Sulphate Dehydrate". Nature n° 5047, vol. 211, 1966. Pág. 406- London. 1961.
- Martínez-Jiménez, A. "Los Tensoactivos en el Campo del Yeso". Hoecht Ibérica, S.A1994

- Moillet, J.L., Collie, B. & BLACK, W. "Surface Activity". Spon
- Murat Pusztaszeri y Gremion. "Correlación entre la Estructura Cristalina y Propiedades Mecánicas de los Yesos Endurecidos". Rilem. Budapest 1974. Pág. 377-385.
- N.Y. 1953
- Peippo K., K. P., Lund P. D. (1991). A Multicomponent PCM Wall Optimized for Passive Solar Heating. Energy and Building. 17: 259-270,
- Rudd, A. F. (1993). "Phase-change material wallboard for distributed thermal storage in buildings." ASHRAE Transactions 99(2): 339-46,
- Salyer, I. O. (1998). Building Products Incorporating Phase Change Materials and Method of making them. US. 5,755,216,
- Sanders, B.A. "Short Fiber Reinforced Composite Materials" ASTM, 1982.
- Šarlah A. - Stritih U. - Medved S. The Role Of PCMs On Thermal Storage For Panel Heating – Time Dependence Of Temperatures Within The Wall. University of Ljubljana - Faculty of Mechanical Engineering
- Scalat S, Banu D, Hawes D, Paris J, Haghihata F, Feldman D. Full scale thermal testing of latent heat storage in wallboard. Sol Energy Mater Sol Cells 1996; 44(1):49–61,
- Schossig, P., H. M. Henning, et al. (2005). "Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials." Solar Energy Materials & Solar Cells 89: 297-306,
- Sholze, H. "Comportamiento en Mojado y Adherencia de yeso". Eurogypsum. Würzburg. 1982.
- Sholze, H. "La estructura en la zona de contacto y de la superficie en los enlucidos de yeso". Munich. 198
- Smith, B.R. & Alexander, A.E. "The Effect of Additives on the Process of the Crystallisation". Journal of Colloid and Interface Science, vol. 34. 1976. Pág. 81-90.
- Villanueva Domínguez, L. "Influencia de los movimientos diferenciales y del módulo de elasticidad en el comportamiento del yeso". Artículos Técnicos. 1985. Pág. 2-8.
- Wallboards and other Aggregate Construction Panels. US 4,988,543,
- Zalba, Lázaro, Cabeza. Experimental Study On Phase Change Materials And Plastics Compatibility (Plan Nacional De Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003
- Zhang Y, Faghri A. Heat transfer enhancement in a latent heat thermal storage system by using internally finned tube. Int J Heat Mass Transf 1996; 39:717–24,