

**Recepción:** 29 de diciembre de 2014

**Aceptación:** 03 de febrero de 2014

**Publicación:** 11 de marzo de 2015

# APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS MATERIALES CON CAMBIO DE FASE

---

## INDUSTRIAL APPLICATIONS OF PHASE CHANGE MATERIALS

David Juárez Varón<sup>1</sup>

Santiago Ferrándiz Bou<sup>2</sup>

Miguel Ángel Peydró Rasero<sup>3</sup>

Ana Mengual Recuerda<sup>4</sup>

1. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: [djuarez@mcm.upv.es](mailto:djuarez@mcm.upv.es)
2. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: [sferrand@mcm.upv.es](mailto:sferrand@mcm.upv.es)
3. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: [mpeydro@mcm.upv.es](mailto:mpeydro@mcm.upv.es)
4. Ingeniero en Organización Industrial. Doctorando en Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: [amrecuerda@hotmail.com](mailto:amrecuerda@hotmail.com)

## RESUMEN

El presente estudio pretende identificar las diferentes aplicaciones industriales de materiales con cambio de fase, para identificar aquellos que son potencialmente viables para su adición en materiales termoplásticos.

## ABSTRACT

This study identifies the different industrial applications of phase change materials, in order to identify those that are potentially viable for addition with thermoplastic materials.

## PALABRAS CLAVE

Materiales; cambio de fase; PCM; industria; termoplástico

## KEY WORDS

Materials; phase change; PCM; industry; thermoplastic

## INTRODUCCIÓN

Los materiales con cambio de fase (PCMs) poseen la capacidad de almacenar de calor (unidades de almacenamiento de calor latente), alto calor de fusión y punto de transición de fase en el entorno de la temperatura de operación. El objetivo para el que son diseñados es evitar la pérdida de calor mediante la absorción o desprendimiento del mismo.

El estado del arte está más desarrollado en aplicaciones de baja y media temperatura que en las de alta temperatura. Existe un amplio campo para el I+D en cuanto al “screening” (selección) de PCM, la micro/macroencapsulación, el desarrollo de nuevos materiales y de nuevos sistemas de almacenamiento.

Fallahi y Fang [2-4] preparan microPCMs en base a diferentes tipos de parafinas y analizan su comportamiento térmico.

Hadam [5] analiza la transferencia de calor durante la fusión de un material con cambio de fase, determinando la propagación e inclinación de la interfase sólido-líquido a lo largo del tiempo

Alkan [6] estudia la preparación, caracterización y propiedades térmicas de un PMC microencapsulado para el almacenamiento de energía térmica. Una vez microencapsulado el PMMA, procede a un análisis con microscopía SEM e infrarrojos FT-IR, análisis térmico por calorimetría DSC y termogravimétrico TGA, para concluir en el buen potencial térmico.

Alvarado y Bukovec [7-8] proceden de igual manera al análisis del comportamiento de microPCMs con técnicas DSC y TGA.

Huang [9] estudia las mejoras aportadas por un modelo 3D de análisis de materiales con cambio de fase y compara los resultados con los aportados por un modelo 2D previo.

Finalmente, en un plazo más largo, la investigación en nanofluidos y nano-PCM puede suponer un importante avance en la aplicación de las tecnologías basadas en PCM.

Una clasificación de los PCM, en base al tamaño de las cápsulas [10], puede ser la siguiente:

- MicroPCMs
- MacroPCMs

## DESARROLLO

Las aplicaciones para los materiales microencapsulados son casi ilimitadas. Los materiales microencapsulados se utilizan en agricultura, productos farmacéuticos, alimentos, cosméticos y fragancias, productos textiles, papel, pinturas recubrimientos, y adhesivos, aplicaciones de impresión, y muchas otras industrias.

Históricamente, el papel de copia sin carbón fue el primer producto comercial en utilizar microcápsulas. Una capa de tinta incolora microencapsulada se aplicaba a la hoja superior de papel, y un material revelador se aplicaba a las siguientes hojas. Cuando se aplicaba la presión al escribir, las cápsulas rompían y la tinta reacciona con el revelador para producir el color oscuro de la copia.

### ENCAPSULADO EN EL SECTOR ALIMENTARIO

Los ingredientes de los alimentos son encapsulados por varias razones. La mayoría de los aromas son volátiles, por lo que la encapsulación de estos componentes extiende la vida útil de los productos mediante la retención en el sabor de los alimentos, que de otra manera se evaporaría y se perdería. Algunos ingredientes son encapsulados para enmascarar el sabor, tales como los nutrientes añadidos para reforzar un producto, sin comprometer el gusto al que va destinado el mismo. Por otra parte, los sabores son a veces encapsulados para durar más tiempo, como en la goma de mascar. La cantidad de aroma encapsulado requerido es mucho menor que los aromatizantes líquidos, ya que el aromatizante líquido se pierde y no se recupera mientras se mastica. Algunos aromas contienen componentes reactivos, por lo que para que no reaccionen y pierdan sabor antes de tiempo son encapsulados de manera individual al producto terminado. Igualmente, algunos aromas también deben ser protegidos de oxidación u otras reacciones causadas por la exposición a la luz.

### ENCAPSULADO EN EL SECTOR FARMACÉUTICO

Algunas variedades de formulaciones farmacéuticas orales e inyectables son microencapsuladas para ser liberadas durante períodos más largos de tiempo o en determinados lugares del cuerpo. La aspirina, por ejemplo, puede causar úlceras pépticas y hemorragias si la dosis se introduce a la vez. Por lo tanto las tabletas de aspirina se producen a menudo por la compresión de cantidades de microcápsulas que poco a poco liberan la aspirina a través de sus envoltorios, disminuyendo el riesgo de daño estomacal.

### MICROENCAPSULACIÓN EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

En el sector de la construcción, los microPCM se han incorporado en los materiales de construcción, para aumentar la eficiencia energética de los edificios residenciales y comerciales. Estos materiales se utilizan en combinación con el calor radiante y la energía

solar para ampliar la eficiencia de la calefacción y la refrigeración de estos sistemas. Los microPCM también se están incorporando en paredes, yesos, aislamientos, tableros de fibras, tejas, azulejos, baldosas, techos, etc.

Hasse [11] lleva a cabo la realización, prueba y modelado numérico de tableros que contienen un material con cambio de fase, bajo condiciones de aire y agua.

## **MICROENCAPSULACIÓN EN ELECTRÓNICA**

En electrónica se pueden emplear para enfriar los componentes eléctricos en las computadoras, el aumento de ciclos de trabajo en los láseres, y ayudar a mantener una temperatura constante de instrumentación científica y equipo militar utilizado en el campo.

## **MICROENCAPSULACIÓN EN AUTOMOCIÓN**

Aparecen nuevas aplicaciones como el sector de automoción, donde Kim [12] estudia la viabilidad de una nueva técnica de refrigeración que emplea un material de cambio de fase para un motor. Este nuevo sistema de refrigeración contribuirá a una reducción sustancial en el sistema de refrigeración en términos de volumen y prestaciones.

## **MICROENCAPSULACIÓN EN TELEFONÍA**

Igualmente, en telefonía móvil, Setoh [13] examina el enfriamiento de los teléfonos móviles que utilizan un material de cambio de fase (PCM), llevando a cabo prototipos experimentales de teléfonos móviles fabricados con aluminio. El estudio indica que el uso de disipadores de calor mediante PCMs fue efectivo para el enfriamiento de los teléfonos móviles en las condiciones de uso moderado intermitente.

Wutting [14] propone la incorporación de PCMs en la refrigeración memorias flash, como consecuencia de la reciente sustitución de los discos duros (informática) por estos dispositivos.

## **MICROENCAPSULACIÓN EN ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE**

En almacenamiento y transporte, los microPCMs son una magnífica alternativa para el costoso transporte refrigerado o el hielo seco. Los microPCMs se pueden incorporar en los contenedores de muestras biomédicas, productos farmacéuticos, productos perecederos, alimentos, muestras de laboratorio y productos químicos sensibles a la temperatura durante el transporte.

## ENCAPSULADO DE PESTICIDAS

Algunos pesticidas son encapsulados para ser liberados a lo largo del tiempo, permitiendo a los agricultores aplicarlos con menos frecuencia, en lugar de requerir pesticidas muy concentrados y quizás tóxicos con aplicaciones iniciales seguidas de aplicaciones repetidas con tal de luchar contra la pérdida de eficacia debido a la evaporación o la degradación. Protegiendo los pesticidas de la exposición total a los elementos disminuye el riesgo para el medio ambiente (así como protege de haber estado expuesto a productos químicos) y proporciona una estrategia más eficiente para el control de plagas.

## APLICACIONES EN EL SECTOR TEXTIL

Hoy en día la industria textil hace uso de materiales microencapsulados para mejorar las propiedades de los productos terminados. Una aplicación cada vez más utilizada es la incorporación de materiales con cambio de fase microencapsulados (PCM). Los materiales con cambio de fase absorben y liberan calor en respuesta a cambios en las temperaturas del entorno. Cuando la temperatura aumenta, el material con cambio de fase se funde, absorbiendo el exceso de calor, y se siente genial. Por el contrario, cuando las temperaturas descienden, el PCM libera calor que se solidifica y se siente caliente. Esta característica de los materiales con cambio de fase microencapsulados puede aprovecharse para aumentar el nivel de confort para los usuarios de equipos deportivos, equipos militares, ropa, ropa de cama, materiales de construcción, y muchos otros productos de consumo. Los PCM microencapsulados incluso han sido utilizados en la sistemas de protección térmica patentados por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) para las naves espaciales.

Como se ha podido comprobar, las tecnologías de microencapsulación abarcan un amplio rango de aplicaciones en diversidad de sectores industriales, con posibilidad de incorporación de diferentes compuestos.

En relación a los materiales concambio de fase (PCMs), como se ha descrito anteriormente, son numerosas las aplicaciones en el sector textil, no obstante, en los últimos años han incrementado las potenciales aplicaciones en otros sectores industriales.

No obstante, el uso principal de los productos microPCM se encuentra en el revestimiento de telas y espumas para la industria textil. El material de revestimiento tiene amplias aplicaciones para su uso en prendas de vestir varias, tales como ropa interior y exterior, guantes y calzado. Estos productos de uso final, que contienen microPCMs, trabajan absorbiendo el exceso de calor del cuerpo, almacenando el calor, y lo liberan de nuevo al cuerpo cuando sea necesario.

Un ejemplo serían los microPCM empleados en chaquetas de esquí, que inicialmente absorben el calor corporal (el PCM funde dentro de la cápsula) y lo almacena hasta que la temperatura del cuerpo baja debido a la temperatura ambiente, desprendiendo calor para regular la temperatura y proporcionar confort.

En el sector textil, los microPCMs se han incorporado a la ropa, calzado, fundas para muebles, colchones, ropa exterior, uniformes militares, ropa de trabajo, sillas para bebé, etc. para la regulación de la temperatura.

Recientemente, Grahremanzadeh [15] analiza la mejora de propiedades sobre la superficie de tejidos basados en lana al incorporar microPCMs, observando una actividad termal superior, una mayor durabilidad y una mejora del rendimiento de la fibra.

Choi [16] estudia los cambios en la temperatura de los tejidos tratados con PCMs en ambientes fríos y templados, analizando de manera objetiva y subjetiva las sensaciones soportadas.

Zhang [17-18] estudia el almacenamiento de calor y la termorregulación en fibras no tejidas con PCMs.

## CONCLUSIONES

El uso de materiales encapsulados con cambio de fase (PCM) es un método eficiente para obtener los efectos térmicos de regulación en los sistemas de calentamiento y enfriamiento.

Entre las clasificaciones de los diferentes materiales con cambio de fase disponibles a nivel industrial, los micro PCM pueden ser considerados ideales para incorporarlos como aditivos a materiales termoplásticos por su tamaño, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y regulación térmica, siendo clave el análisis de la posible modificación de características mecánicas del polímero y el grado de saturación máximo admisible.

## REFERENCIAS

- [1]. Pérez, Á. d. P., "Situación y Futuro de los PCM (Phase Change Material)", Centro de Desarrollo Tecnológico - Fundación LEIA, (2010).
- [2]. Fallahi, E., Barmar, M. and Kish, M. H., "Preparation of Phase-change Material Microcapsules with Paraffin or Camel Fat Cores: Application to Fabrics", *Iranian Polymer Journal*, 19:(4), 277-286 (2010).
- [3]. Fang, G. Y., Li, H., Liu, X. and Wu, S. M., "Experimental Investigation of Performances of Microcapsule Phase Change Material for Thermal Energy Storage", *Chemical Engineering & Technology*, 33:(2), 227-230 (2010).
- [4]. Fang, Y. T., Kuang, S. Y., Gao, X. N. and Zhang, Z. G., "Preparation of nanoencapsulated phase change material as latent functionally thermal fluid", *Journal of Physics D-Applied Physics*, 42:(3), (2009).
- [5]. Hamdan, M. A. and Al-Hinti, I., "Analysis of heat transfer during the melting of a phase-change material", *Applied Thermal Engineering*, 24:(13), 1935-1944 (2004).
- [6]. Alkan, C., Sari, A., Karaipekli, A. and Uzun, O., "Preparation, characterization, and thermal properties of microencapsulated phase change material for thermal energy storage", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93:(1), 143-147 (2009).
- [7]. Alvarado, J. L., Marsh, C., Sohn, C., Vilceus, M., Hock, V., Phetteplace, G. and Newell, T., "Characterization of supercooling suppression of microencapsulated phase change material by using DSC", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 86:(2), 505-509 (2006).
- [8]. Bukovec, N., Bukovec, P. and Arbanas, V., "TG AND DSC INVESTIGATION OF CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, A PHASE-CHANGE MATERIAL FOR ENERGY-STORAGE", *Thermochimica Acta*, 148:(281-288 (1989).
- [9]. Huang, M. J., Eames, P. C. and Norton, B., "Comparison of predictions made using a new 3D phase change material thermal control model with experimental measurements and predictions made using a validated 2D model", *Heat Transfer Engineering*, 28:(1), 31-37 (2007).
- [10]. Microtek Laboratories, I., "Phase Change Materials", Microtek Laboratories, Inc., (2010).
- [11]. Hasse, C., Grenet, M., Bontemps, A., Dendievel, R. and Sallee, H., "Realization, test and modelling of honeycomb wallboards containing a Phase Change Material", *Energy and Buildings*, 43:(1), 232-238 (2011).
- [12]. Kim, K. B., Choi, K. W., Kim, Y. J., Lee, K. H. and Lee, K. S., "Feasibility study on a novel cooling technique using a phase change material in an automotive engine", *Energy*, 35:(1), 478-484 (2010).

- [13]. Setoh, G., Tan, F. L. and Fok, S. C., "Experimental studies on the use of a phase change material for cooling mobile phones", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37:(9), 1403-1410 (2010).
- [14]. Wuttig, M. and Steimer, C., "Phase change materials: From material science to novel storage devices", *Applied Physics a-Materials Science & Processing*, 87:(3), 411-417 (2007).
- [15]. Ghahremanzadeh, F., Khoddami, A. and Carr, C. M., "Improvement in Fastness Properties of Phase-Change Material Applied on Surface Modified Wool Fabrics", *Fibers and Polymers*, 11:(8), 1170-1180 (2010).
- [16]. Choi, K., Chung, H. J., Lee, B., Chung, K. H., Cho, G. S., Park, M., Kim, Y. and Watanuki, S., "Clothing temperature changes of phase change material-treated warm-up in cold and warm environments", *Fibers and Polymers*, 6:(4), 343-347 (2005).
- [17]. Zhang, X. X., Wang, X. C., Zhang, H., Niu, J. J. and Yin, R. B., "Effect of phase change material content on properties of heat-storage and thermo-regulated fibres nonwoven", *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 28:(3), 265-269 (2003).
- [18]. Zhang, Y. W. and Faghri, A., "ANALYSIS OF FORCED-CONVECTION HEAT-TRANSFER IN MICROENCAPSULATED PHASE-CHANGE MATERIAL SUSPENSIONS", *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 9:(4), 727-732 (1995).