

Instalaciones de climatización con materiales de cambio de fase microencapsulados

Manuel Domínguez, Carmen García y José M^a Arias, Alberto Viti¹

1 Asesor Técnico

La acumulación del frío en las instalaciones de climatización, cuando se emplean materiales acumuladores de cambio de fase (Phase Change Materials PCM) a temperaturas positivas, permiten ahorros importantes de energía, al trabajar las máquinas de producción de frío por la noche, cuando baja la temperatura de condensación y facilitando el empleo de mejores máquinas al aumentar su potencia y COP mayores, que son más económicas, tanto en costes de inversión como en gastos de explotación, sobre todo a partir de la liberación del coste de la energía eléctrica. Con estos materiales se consigue: disminuir la potencia de la contratación eléctrica, bajar el consumo y reducir la capacidad de las máquinas de producción de frío y por tanto su costo.

Se debe tener presente también, que con la microencapsulación del PCM, se puede mejorar la potencia punta y reducir los volúmenes de acumulación y en algunos casos, el consumo eléctrico de las bombas de circulación.

1. Introducción

En los países cálidos, las necesidades de frío para la climatización, se están desplazando los máximos de producción eléctrica a los meses de verano, con la sustitución de los refrigerantes fluorados y clorados por otros nuevos para paliar la disminución de la capa de ozono, que tienen menor efectividad, lo que se notará más en los próximos veranos, porque ya no se podrán hacer instalaciones con el refrigerante R-22. La pérdida de rendimiento de las instalaciones de climatización cuando empleen otros refrigerantes repercutirá en un aumento del consumo de los combustibles fósiles y con ello contribuirá al calentamiento global de la tierra.

En los últimos años han aparecido los materiales de cambio de fase (PCM), a temperaturas por encima de 0°C y se ha empezado a emplear para aumentar la inercia de las edificaciones y también de las instalaciones de climatización. Una de las formas más sencillas de aplicación, podría ser microencapsulación, tanto para su incorporación en los materiales de construcción, como en los circuitos de agua. También se han desarrollado en estos últimos años las instalaciones de frío, transportando hielo micronizado, tanto en la industria pesquera, como en la propia de climatización.

La acumulación de frío en agua, por su gran volumen y en hielo por requerir evaporar las máquinas a muy baja temperatura, con la complejidad propia de la necesidad de empleo de mezclas glicoladas, están en retroceso. Parece lógico pensar, que las nuevas instalaciones de climatización se puedan realizar con acumulación de frío, empleando los PCM positivos, con grandes máquinas de producción de frío de compresión o con sistemas de adsorción con combustibles gaseosos o mejor con biomasa. Una vez se desarrollen los microencapsulados, se disminuirán sus precios, se emplearán más.

En las referencias [1] a la [27] se han recogido amplia información sobre los PCM en general, las aplicaciones más empleadas y los diversos productos que se están comercializando. En las referencias [28] a la [55] se han agrupado las que son más directas con la aplicación en la climatización. En las referencias [56] a [61], se han agrupado las relacionadas con la construcción. En las [62] a [67], las específicas de la microencapsulación y por último en las referencias [68] a la [70] las relacionadas con los clatratos o emulsiones de PCM hidratados.

Por todas las razones expuestas, se considera que es conveniente continuar la investigación y el desarrollo de nuevos PCM microencapsulados y de las instalaciones de climatización en que se les incorpore.

El objeto pretendido es recopilar información sobre los PCM microencapsulados y analizar algunas instalaciones de climatización que los emplean.

2. Los PCM adecuados para su empleo en las instalaciones de climatización.

En función del tipo de instalación de climatización el fluido empleado para enfriar es: *el aire*, en el caso de instalaciones pequeñas, a temperaturas próximas a 12 °C, *el agua* enviada sobre 6 °C y retorno a 12°C, *el agua glicolada* en el circuito primario a temperaturas de -2°C y retorno a 4°C y *el propio refrigerante*, expandiendo en cada evaporador o unidad enfriadora, para instalaciones reducidas o zonales. En grandes instalaciones se tiende a enviar el agua a temperatura lo más baja posible y con el mayor salto entre la impulsión y el retorno, con el objeto de reducir potencia de bombeo y tamaño de las unidades terminales. Dado que en las unidades terminales se controla indirectamente la humedad, salvo en instalaciones de tratamiento de aire primario, la temperatura del agua de los circuitos secundarios está condicionada. Es muy posible que las temperaturas idóneas medias de estas instalaciones, desde el punto de vista general, sean de 7/14°C. Si se quiere acumular frío deberá tenerse muy presente, además de las temperaturas del agua, el tipo de instalación deseada, así como el tiempo de carga del acumulador y tipo de funcionamiento (pueden ser nocturna o diurna, total o de apoyo).

Se debe contar, tanto en la carga, como en la descarga con el salto de temperatura entre el fluido y el acumulador. Sin anticongelante, el sino se quiere un área de transmisión antieconómica agua no conviene enfriarla por debajo de 4°C y el salto entre ésta y el acumulador, no debe ser inferior a 3 °C, Por otra parte, los PCM disponibles en el mercado a precios bajos, tienen una zona de temperatura de cambio de fase amplia, del orden entre 2 a 4 °C. Ver figura nº 1.

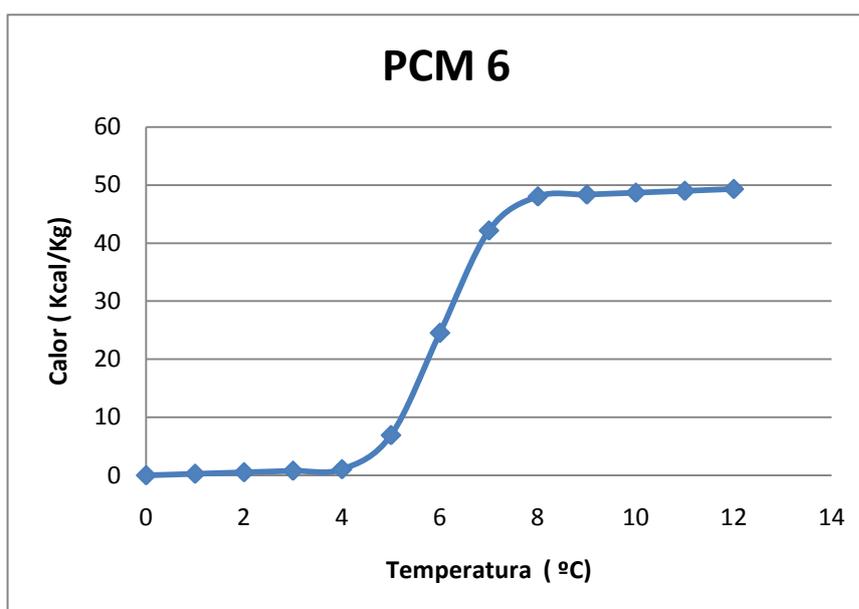


Figura 1. Variación del calor en función de la temperatura en un PCM típico de cambio de fase a 6

Instalaciones de climatización con materiales de cambio de fase microencapsulados

La temperatura media idónea de cambio de fase estaría en 9 °C, si se trabajase conjuntamente con las máquinas con una potencia equivalente al 25 %, ver figura nº 2, se tendría la temperatura de la mezcla del agua de valor siguiente (suponiendo que sale del acumulador a 10°C):

$$T_m = 10 \cdot 0.25 + 6 \cdot 0.75 = 7 \text{ °C}$$

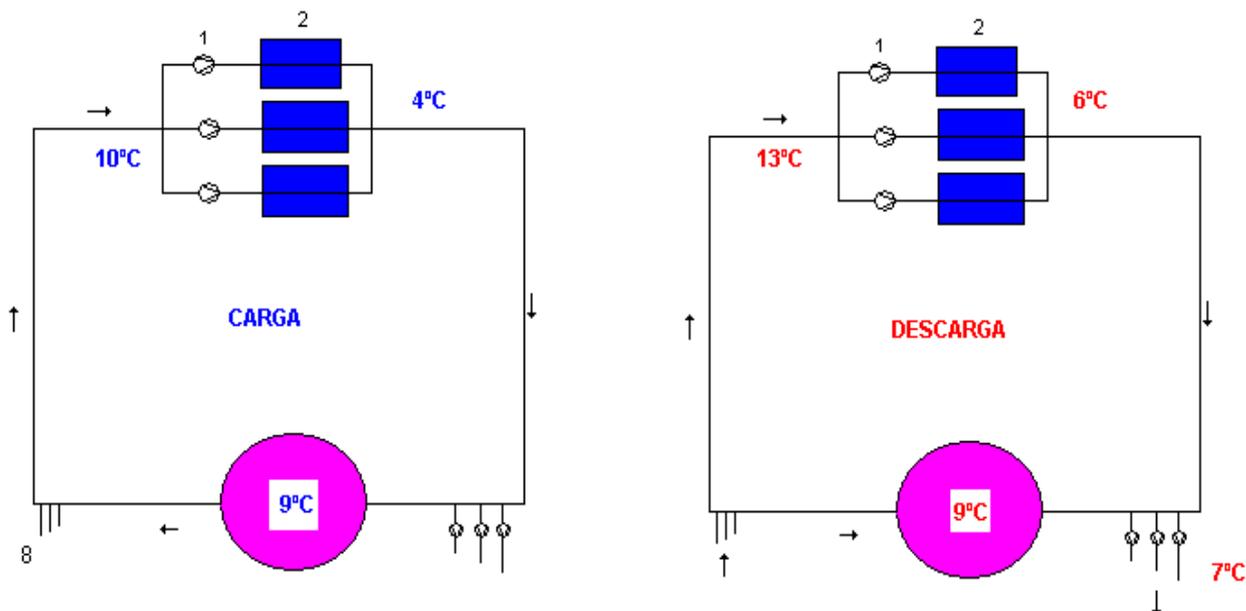


Figura nº 2 Esquema de carga nocturna y descarga diurna, con potencia de acumulador 25% con temperatura de cambio de fase del PCM de 9°C.

La capacidad del acumulador depende del calor latente y de su peso o sea del producto de su densidad por el volumen. Los PCM positivos tienen valores del calor latente del orden de 50 kWh/m³ y los precios incluidos todos los elementos necesarios para su completa instalación (intercambiadores, válvulas tanque y conductos etc.), pueden ser del orden de 5000 €/m³, es decir, que el sobre costo de la instalación debido al acumulador es de 100 €/kwh (del cual se tiene que reducir el ahorro en equipos de producción de frío, instalación eléctrica, etc.). El coeficiente global de transmisión de calor depende del sistema de transmisión, si es en tubos de cobre por donde circula el agua con aletas de aluminio, en donde se encuentra el PCM, es del orden de 50 Kcal/h. °C. m² (58 w/m². K) y en el caso de tubos de plástico de media pulgada de diámetro se reduce a 40 Kcal/h.°C.m² (46,5 w/m². K). En la tabla 1 se indica un ejemplo de una instalación de 10 Mw de potencia punta de diseño, con el 25% obtenido por acumulación, durante 6 h del día, suponiendo que tiene tres máquinas de 2,5 Mw de potencia. Se podrían cargar los 300 m³ del acumulador en 6 h con una de las máquinas, tal como se ha indicado en la figura nº 3.

Tabla 1

Potencia	Mw	10
Maquinas de frío		
potencia	Mw	2,5
número		3
Total	Mw	7,5
Acumulación		
temperatura	°C	9
capacidad	kwh	15.000
volumen	m ³	300
tiempo de carga	h	6
tiempo de descarga	h	6
área de transmisión	m ²	23.889
costo aproximado	M€	1,5
potencia	Mw	2,5

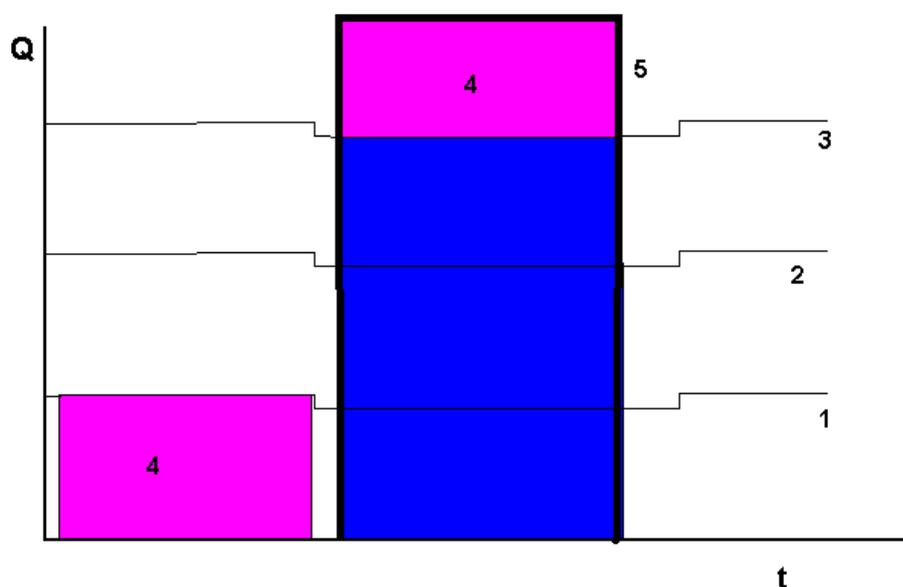


Figura 3 Siendo: Q calor, t tiempo, 1 primera unidad enfriadora (u. e), 2 segunda (u. e), 3 tercera (u. e), 4 frío acumulado, 5 diagrama estimado de cargas.

También podría cargarse el acumulador por la noche y pararse por el día, como puede verse en la figura nº 4. En este caso se debería diseñar la instalación, con una temperatura del acumulador de 6 a

Instalaciones de climatización con materiales de cambio de fase microencapsulados

7 °C, en lugar de los 9 °C antes indicado, si se quiere que la temperatura del agua vaya al edificio a 7°C. La capacidad del acumulador en este caso sería cuatro veces mayor.

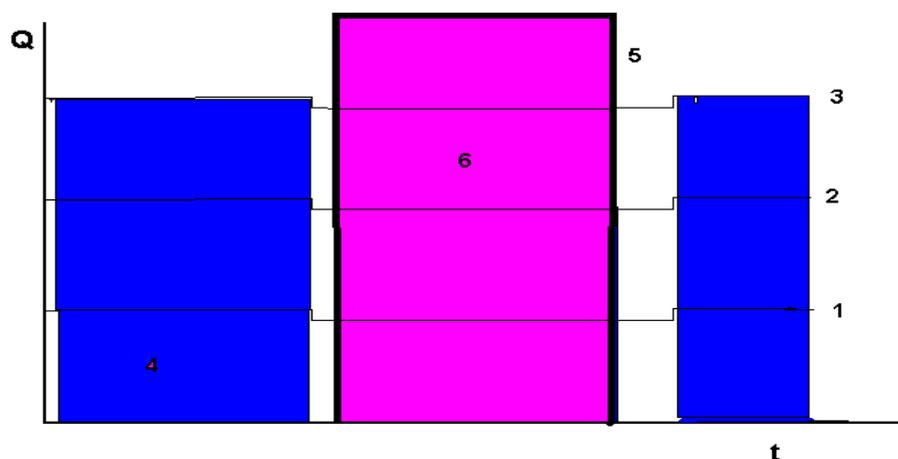


Figura 4 Siendo: 1 primera unidad enfriadora (u. e), 2 segunda u. e, 3 tercera u. e, 4 producción y acumulación nocturna de frío, 5 carga de la instalación, 6 frío aportado por el acumulador durante el día.

Otra ventaja añadida de la acumulación es, la regulación de capacidad de la instalación. Con la acumulación no se requiere fraccionar la potencia de las máquinas o aumentar el número de ellas, puede verse esto en el esquema de principio representado en la figura nº 5.

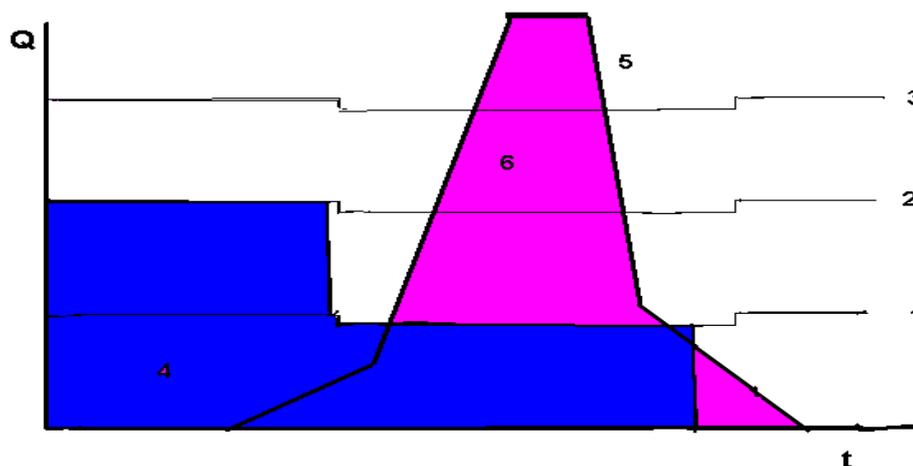


Figura 5 Siendo: 1 primera u e, 2 segunda u. e, 3 tercera u. e, 4 producción y acumulación nocturna de frío, 5 carga de la instalación, 6 frío aportado por el acumulador durante el día.

3. Las ventajas e inconvenientes de los microencapsulados en las instalaciones de climatización.

Se considera muy interesante el empleo de los PCM microencapsulados debido al área tan grande que tienen de intercambio térmico y por ello se reduce grandemente el salto de temperatura necesario para la transmisión de calor. En la figura nº 6, se ha representado la curva de variación del área por unidad de volumen, en función del radio de las esferas. Con radios entre 2 a 50 micras, se pueden considerar como islas rodeadas por moléculas de agua, que suelen de por sí, formar claustrros (“clústeres”) de dichas dimensiones. El factor de forma de una esfera, relación del área con respecto a su volumen es:

$$F= 3/r$$

Haciéndose muy grande al disminuir el radio.

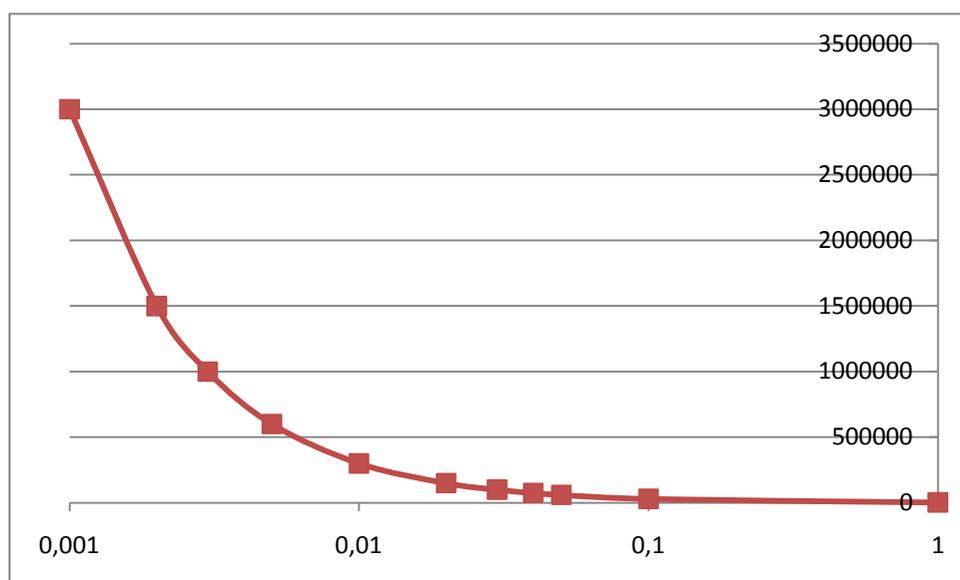


Figura 6. Variación del factor de forma en mm^{-1} de una esfera en función del radio en mm.

En la figura nº 7 se ha representado un esquema de principio de una instalación de climatización con PCM microencapsulados, en donde puede trabajar por el día solamente el acumulador, si va a trabajar conjuntamente con las máquinas se puede eliminar la bomba 3 y el circuito de “bypass” 10 y la llave 9.

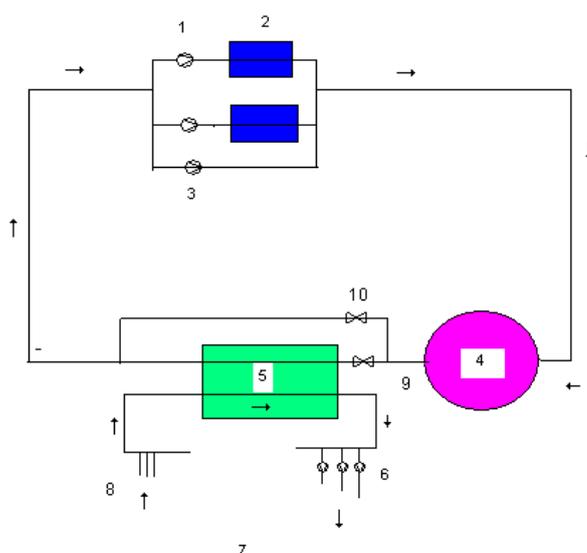


Figura 7. Siendo: 1 bombas primarias, 2 unidad enfriadora, 3 bomba de descarga del acumulador, 4 acumulador, 5 intercambiador, 6 entrada del circuito secundario, 7 edificio, 8 salida del circuito secundario, 9 válvula del intercambiador, 10 válvula de "bypass" del intercambiador.

Lo ideal es que el microencapsulado tenga la densidad del agua, para que no se requieran agitadores y puedan aparecer problemas de decantación o flotabilidad, con posibles obstrucciones. Dado que la viscosidad aumenta grandemente con la concentración, habrá un límite de ésta que no se deberá sobrepasar. En la figura nº 8, se ha representado la curva de variación de la viscosidad en función de la concentración para un PCM microencapsulado de temperatura de 6 °C, diámetro de 10 micras y densidad 1 gr/cm³. El microencapsulado tiene una proporción de 70% de PCM (parafina) y un 30 % de plástico envolvente. Se considera que la concentración ideal es del 34% de microencapsulado en agua, el aspecto sería el indicado en la figura nº 9.

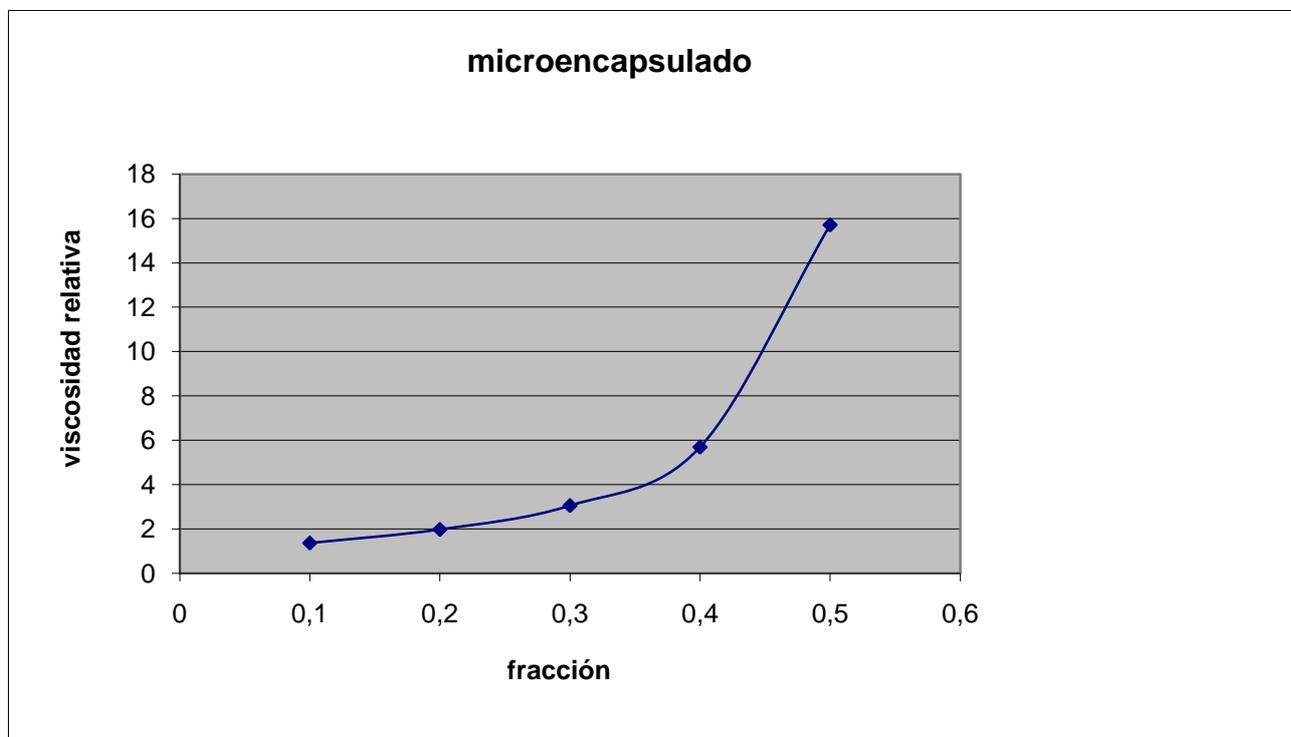


Figura 8 Variación de la viscosidad relativa (con respecto al agua) de la mezcla de un microencapsulado en función con la concentración en tanto por uno.



Figura 9 Vista de una mezcla de microencapsulado al 34 %, de densidad 1000 kg/m^3

En la tabla 2 se recogen las principales propiedades de la mezcla agua con el 34% de este producto.

Tabla 2

PCM	microencapsulado			
	Temperatura C. fase	°C	6	
	Calor latente	Kj/Kg	208	
	Proporción	micro/agua %	34	
		PCM/micro %	70	
	capacidad	mezcla	kj/m ³	49.500
	capacidad	mezcla	kwh/m ³	13.750
agua	Salto		°C	6
	Proporción	mezcla	%	66
	Capacidad		kj/m ³	16.470
Plástico	Capacidad		kj/m ³	130
Total	Capacidad		kj/m ³	66.100
	Capacidad		kwh/m ³	18.360

4. Análisis de diversas instalaciones de climatización con microencapsulados.

Desde el año 2002 está funcionando en el aeropuerto de Narita (Japón) una instalación de climatización, realizada por Mitsubishi Heavy Industries LTD [12], cuyo esquema de principio es el indicado en la figura nº 10. El PCM es una parafina de cambio de fase entre 7 y 8 °C, de calor latente real, por masa de la mezcla de ella y el agua, de 75.9 Kj/Kg.

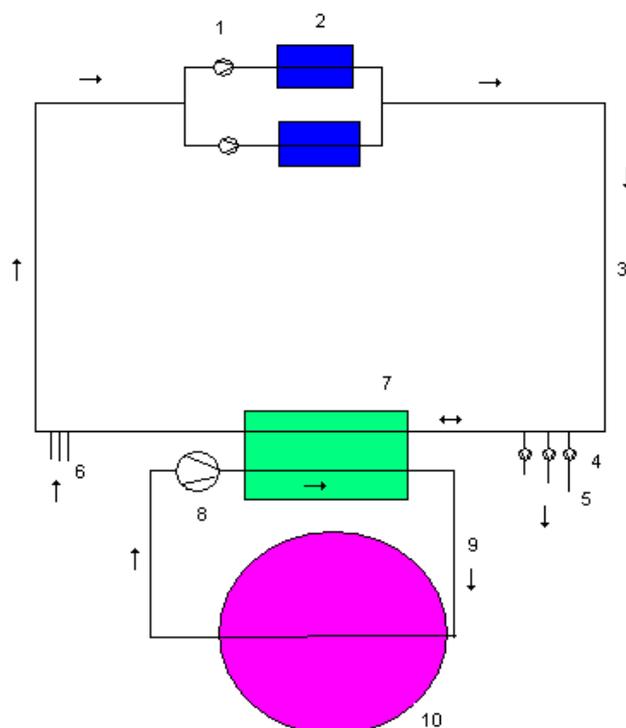


Figura 10. Siendo: 1 bombas primarias, 2 unidad enfriadora, 3 circuito primario, 4 bomba secundaria, 5 salida del circuito secundario, 6 entrada del circuito secundario, 7 intercambiador de calor, 8 bomba circuito de acumulación, 9 circuito de acumulación, 10 acumulador de PCM microencapsulado.

Más recientemente, en el 2005 se ha publicado [13] otro interesante trabajo, proponiendo el empleo de disoluciones de *Clatratos*, que son estructuras lagunares de agua, que retienen en su interior moléculas de Bromuro de Tetra-n-butil amonio (TBAB), siendo equivalente a una emulsión de agua. La energía está asociada a las moléculas de agua, se comporta de forma similar a los acumuladores de tipo sales hidratadas, como son las de Globber. Se requiere en este caso disponer de un concentrador. En la figura 11, se ha representado el esquema de principio de éste tipo de instalaciones. En dicho trabajo indican que en una instalación de demostración con una concentración del 22.8 % de agua, entre 7 y 12 °C, el calor latente es de 67.2 Kj/kg, (el sensible del agua con dicho intervalo de temperatura sería de 21 Kj/kg) y que el consumo de las bombas para la misma potencia y régimen de funcionamiento, se redujo en un 27.4 %, en gran parte debido a que puede reducirse 3,2 veces el caudal.

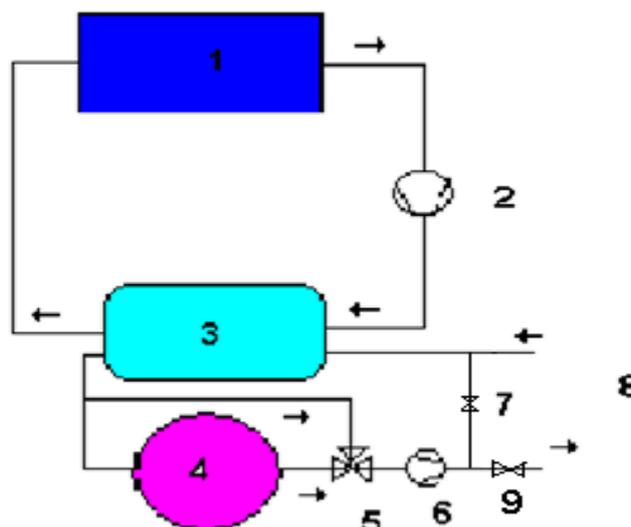


Figura 11 Siendo: 1 unidad enfriadora; 2 bomba primaria; 3 generador CHS; 4 acumulador; 5 válvula de tres vías; 6 bomba secundaria; 7 válvula de recirculación; 8 Edificio; 9 válvula de suministro al edificio

Parece lógico pensar que no es conveniente, en grandes instalaciones, llevar hasta los últimos elementos las mezclas, que deben concretarse al circuito primario e introducir intercambiadores de calor entre ambos circuitos.

Se están desarrollando este tipo de instalaciones en paralelo a las instalaciones con “slurry” con hielo micronizado conocido como hielo líquido [14] a [18]. El esquema de principio sería el indicado en la figura 12, el fluido puede ser agua, salmueras o mezclas de propilenglicol, las dimensiones de los micro cristales de hielo están comprendidas entre 10 y 500 micras y las proporciones o concentraciones de hielo no sobrepasan el 40%. Las patentes o variantes que se conocen están fundamentalmente relacionadas con el sistema de fabricación de los cristales.

Básicamente la problemática es similar en todos estos tipos de instalaciones en cuanto a: viscosidad, pérdidas de carga, transmisión de calor, pudiéndose intercambiar conocimientos entre ellas, en particular los factores de fricción en función con la concentración. Se debe tener presente que a la capacidad térmica posible a transportar debida al cambio de fase, hay que sumar la sensible del resto de la fracción del agua o del fluido secundario.

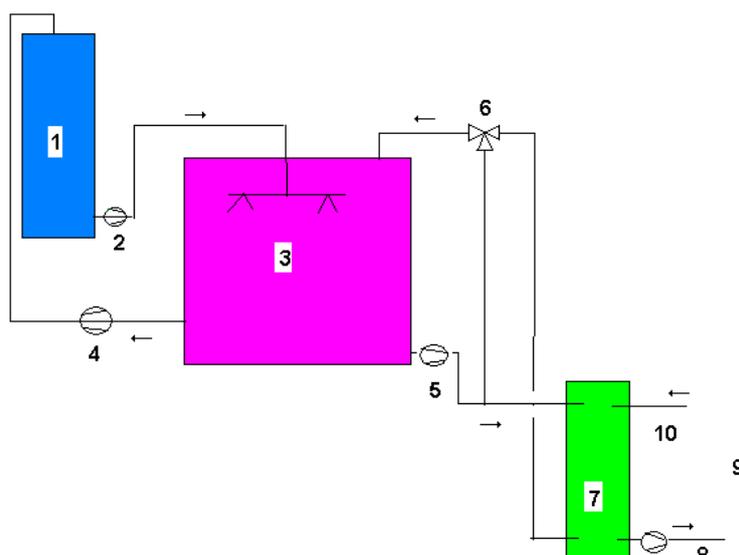


Figura 12 : 1 unidad enfriadora y generador de cristales de hielo , 2 bomba primaria impulsora, 3 tanque acumulador, 4 bomba primaria de retorno, 5 bomba primaria de mezcla, 6 válvula de tres vías, 7 intercambiador; 8 bomba secundaria, 9 edificio y 10 retorno.

5. Las ventajas e inconvenientes de los microencapsulados en las instalaciones de climatización.

La acumulación de calor o de frío con los sistemas clásicos de bolas o de serpentines, presentan los problemas de necesitar mezclas anticongelantes, sistemas adecuados de bombeo e intercambiadores y sobre todo máquinas que evaporen a temperaturas mucho más bajas , del orden de -15°C , lo que encarecen las instalaciones y sobre todo, la explotación. Se debe tener presente que por cada $^{\circ}\text{C}$ que se baje la temperatura de evaporación se pierde un 3% de potencia. Las instalaciones con agua helada tienen las ventajas de mayor potencia punta, que las clásicas de hielo y el poder transportar mucho mejor el frío, pero tienen el inconveniente de necesitar un generador de cristales de hielo y el riesgo de su crecimiento fortuito en algún remanso o válvula, produciendo obstrucciones, en general se requieren bombas más robustas.

Las instalaciones de PCM tienen muchas ventajas, por no requerir máquinas que evaporen tan bajo, pero tienen el inconveniente del sobrecosto del producto y de los intercambiadores con respecto a las instalaciones con solo agua. Las instalaciones con clatratos presentan las ventajas de necesitar menos potencias en las bombas pero necesitan los concentradores.

Lo ideal es poder eliminar los intercambiadores y poder usar mezclas de microencapsulados en todos los circuitos reduciendo grandemente los caudales y los tamaños de los intercambiadores, el

óptimo de concentración puede estar ligeramente por debajo de los valores de 35%, en el que se observa un cambio importante en la curva de viscosidad.

Es muy importante resaltar que la capacidad del fluido secundario en las instalaciones de climatización, confiere la inercia térmica necesaria para que se puedan parar las máquinas sin problemas y reducir el número de arranque-paradas que acortan la vida de la instalación, evitando las puntas de sobre intensidad de los arranques de los motores.

El trabajo nocturno de los equipos de funcionamiento en climatización, solo tienen ventajas económicas de explotación por todos bien conocidas y reduce grandemente el riesgo de infecciones por Legionela, al bajar la temperatura de condensación.

Se considera que en cada proyecto se deberían analizar las ventajas e inconvenientes y escoger el tipo de instalación más adecuado.

6. Discusión general

La liberación de la energía, lleva a poder contratar las tarifas de electricidad y con los plazos de los convenios internacionales relacionados con la capa de ozono, en particular la no fabricación del R-22 a partir de enero del 2010, hace interesante la acumulación de frío empleando los PCM, en particular los de temperaturas positivas, que no requieren emplear mezclas glicoladas y es muy posible que una vez se desarrollen los microencapsulados de éstos productos y/o los clatratos, se disponga de experiencia con ellos en este tipo de instalaciones. Es muy posible que se generalice el uso de estos materiales, pues sus ventajas compensan a sus inconvenientes.

7. Conclusiones

La acumulación de frío en las instalaciones de climatización tiene cada vez más ventajas, debido a la tendencia a pagar la energía a su precio de producción, lo que lleva a la liberación de la energía y a poder producir la electricidad o a comprarla empleando tarifas horarias personalizadas. Por otra parte, el ahorro de energía que se produce por trabajar por las noches, cuando la temperatura ambiente es menor, es muy importante.

El poder emplear los PCM reduce mucho los volúmenes de acumulación y el que estos tengan la temperatura positiva, facilitan las instalaciones y la elección de las máquinas de generación de frío idóneas. El que estos materiales se puedan micro encapsular y transportar en los fluidos secundarios, aportan una reducción importante de volumen, de caudales de bombeo, y permiten una respuesta muy importante en el tiempo, tanto de carga como de descarga, que pueden compensar a los sobrecostos de los materiales.

8. Referencias bibliográficas

GENERALIDADES SOBRE LOS PCM

- 1] Mehling. Cabeza. Heat and cold storage with PCM 2008 SPRINGER ISBN 978.3.540.68556.2 Berlin
http://books.google.es/books?id=N8LGwUNYWX8C&pg=PA271&lpg=PA271&dq=narita+airport+PCM&source=bl&ots=Lj9xmz0psI&sig=owMo-cKkxNqzLYpKHUdrRqJVZ4&hl=es&ei=y4m3SvenMI_bjQeLoeXRCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3#v=onepage&q=narita%20airport%20PCM&f=false
- 2] <http://www.google.es/search?hl=es&source=hp&q=PCM-micro+Capsule+Slurry+Thermal+Storage+System+for+Cooling&btnG=Buscar+con+Google&meta=&aq=&oq=>
- 3] http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V1Y-4C0TC52-3&_user=4225285&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1018268966&_rerunOrigin=google&_acct=C000048559&_version=1&_urlVersion=0&_userid=4225285&md5=0e88fc901926f12ec4a7df104c852848
- 4] http://www.jstage.jst.go.jp/article/jtst/1/2/1_66/article
- 5] http://www.pcm.yverdon.com/archives/Archive%20site%202005/proceedings_fichiers/INABA.pdf
- 6] http://www.pcm-storage.info/voe/paper_eurosun2006_gsch.pdf
- 7] <http://www.fskab.com/Annex17/Workshops/EM4%20Indore%202003-03-21--24/Presentations/ANNEX%2017%20WS%20MARCH%202003.pdf>
- 8] <http://www.climator.com/>
- 9] <http://www.rubitherm.com/english/index.htm>
- 10] <http://www.google.es/search?hl=es&source=hp&q=PCM+CLIMATIZACIÓN+MICROENCAPSULACIÓN&btnG=Buscar+con+Google&meta=&aq=f&oq=>
- 11] <http://www.patentstorm.us/patents/5916478-description.html>
- 12] <http://www.patentstorm.us/patents/4268558/fulltext.html>
- 13] <http://www.patentstorm.us/patents/4504402/fulltext.html>
- 14] http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VMY-4X5JTXM-1&_user=4225285&_coverDate=09%2F06%2F2009&_alid=1019923625&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=6163&_sort=r&_docanchor=&_view=c&_ct=1&_acct=C000048559&_version=1&_urlVersion=0&_userid=4225285&md5=bd2f8166f35316d037b7b65963496194
- 15] <http://www.fskab.com/Annex17/FINAL%20REPORT.pdf>
- 16] <http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a725288772>

- 17] <http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a713715009>
- 18] <http://www.pcmproducts.net/PCM%20Products%202008-1.pdf>
- 19] <http://www.freepatentsonline.com/EP1416027.html>
- 20] <http://www.freepatentsonline.com/EP1416026.html>
- 21] <http://www.freepatentsonline.com/EP1461398.html>
- 22] http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V50-4F4NV3M-3&_user=4225285&_coverDate=09%2F30%2F2005&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000048559&_version=1&_urlVersion=0&_userid=4225285&md5=5bbf11e1430180c099a9570e110237de#SECX3
- 23] http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/tamme_phase_change_storage_systems.pdf
- 24] Ahmet Sarı, Ali Karaipekli Preparation and thermal properties of capric acid/palmitic acid eutectic mixture as a phase change energy storage material *Materials Letters, Volume 62, Issues 6-7, 15 March 2008, Pages 903-906*
- 25] Atul Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, In Press, Corrected Proof, Available online 17 Dec*
- 26] Barragán V.M; Arias J.M^a; Domínguez M; García C. Testing the computer assisted solution of the electrical analogy in heat transfer processes with a phase change which has an analytical solution. *International Journal of Refrigeration. IIF. Vol 25 n° 5 ag 2002.552-537.(2002)*
- 27] Zalba B, Marín J M ^{ao}, Luisa F. Cabeza; Mehling H. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications *Applied Thermal Engineering Volume 23, Issue 3*, February Pages 251-283 (2003)

PCM EN CLIMATIZACIÓN

- 28] Domínguez M.; García C. Aprovechamiento de los materiales de cambio de fase (PCM) en la climatización
- 29] Cemil Alkan, Kemal Kaya, Ahmet Sarı Preparation and thermal properties of ethylene glycol distearate as a novel phase change material forenergy storage *Materials Letters, Volume 62, Issues 6-7, 15 March 2008, Pages 1122-1125*
- 30] Dominguez M., Pinillos J. M, García C., Gutiérrez P. Sistema pasivo de climatización. Patente de invención. n° 9900558 .España, 18 mar (1999);
- 31] Domínguez M. Colubret J.; Soto A. Nuevo sistema de climatización evaporativo y acumuladores con cambio de fase para nodos de comunicación. *Montajes e Instalaciones n° 358 feb.2002. 64,68 (2002);*
- 32] Domínguez M, Gutiérrez P. González F; Arias J, M. Mejora de la eficiencia energética en instalaciones de climatización empleando los MCF. N° 407. Abril 69,78.(2004)

Instalaciones de climatización con materiales de cambio de fase microencapsulados

33] Domínguez M.; Colubret J.; Tarin E; Manzanque J. Comprobación del funcionamiento de una instalación de climatización con acumuladores de cambio de fase. Montajes e instalaciones. nº 403. Marzo 82,85 (2006)

34] Domínguez M. Los PCM en la climatización y en la construcción. El instalador. nº 430. mayo. 24,31. (2006).

35] Domínguez M. y otros (2008)

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/6232/1/COMPROBACIÓN%20EXPERIMENTAL%20mcf%20vaso.pdf>

36] Domínguez M. y García C. y otros (2008)

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/6302/1/TANQUES%20SIMULACI%c3%93N.pdf>

37] Domínguez M., García C., Arias José M^a. Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables.

<http://hdl.handle.net/10261/13451>

38] Domínguez M., Gutiérrez P., González F., Arias J. M. Mejora de la eficiencia energética en instalaciones de climatización empleando los MCF. (407). 69,78. (2004)

39] Domínguez, M; Gracia, C. Aprovechamiento de los Materiales de Cambio de Fase (PCM) en la Climatización.

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642009000400012&lng=en&nrm=iso&tlng=en

40] http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V1Y-47CPVBY-1&_user=4225285&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000048559&_version=1&_urlVersion=0&_userid=4225285&md5=38e7973cf860a01040f91e5e5439bbad .

41] <http://www.cristopia.fr/francais/news/news15.html>

42] <http://www.ingentaconnect.com/content/els/01407007/2002/00000025/00000002/art00087>

43] http://www.paulmueller.com/ProductDivisions/Ice_Systems_Group/pdfs/isg.pdf

44] <http://www.projects.ex.ac.uk/ice/articles/case%20for%20support%2018%20sept.pdf>

45] <http://www.sunwell.com/suntech12.htm>

46] <http://www.detail.de/Db/DbFiles/hefte/160/span.pdf>

47] <http://www.greenpeace.org/espana/reports/parafinas-cloradas-de-cadena-c>

48] http://www.micronal.de/portal/basf/ide/dt.jsp?setCursor=1_290222

49] http://www.energiforumdanmark.dk/fileadmin/pr_sentationer/Phase_Change_Material_-_Micronal_-_with_notes.pdf

Instalaciones de climatización con materiales de cambio de fase microencapsulados

50] Zhaolin Gu, Hongjuan Liu, Yun Li Thermal energy recovery of air conditioning system—heat recovery system calculation and phase change materials development *Applied Thermal Engineering, Volume 24, Issues 17-18, December 2004, Pages 2511-2526*

51] Domínguez M. ; Gutiérrez P.; González F ; Arias J, M. Mejora de la eficiencia energética en instalaciones de Climatización empleando los MCF. El instalador N° 408 . 2004. 69,78

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/7361/1/PCM%20CONSTRUCCIÓN%20GRISES%20E.TORROJA%2029%20SEP.pdf>

52] Domínguez M. La acumulación de frío en las grandes instalaciones de climatización. II International workshop advances in engineering of hvac&r. 23 y 24. Abril. Escola superior de tecnología de la Universidade do Algarbe. Faro. Portugal (2007).

53] Domínguez M.; Gracia C. Los acumuladores de calor de cambio de fase a temperaturas positivas en la climatización. Cytef-2007 IV Congreso Ibérico y II Congreso Iberoamericano. Ciencias y técnicas del frío (2007)

54] Domínguez M., García C., Arias José M^a. Diversas aplicaciones de los intercambiadores acumuladores de cambio de fase. <http://hdl.handle.net/10261/13820>

55] Zalba B, Marín J M a, Luisa F. Cabeza; Mehling H. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications *Applied Thermal Engineering Volume 23, Issue 3, 251-283 (2003)*

PCM EN CONSTRUCCIÓN

56] Kaltenbach F. PCM Acumuladores de calor latente para calefacción y refrigeración. Detail. Arquitectura solar. 4 . 482,486. (2005).

57] Frédéric Kuznik, Joseph Virgone, Jean Noel. Optimization of a phase change material wallboard for building use *Applied Thermal Engineering, Volume 28, Issues 11-12, August 2008, Pages 1291-1298*

58] Faustini C. Análisis del aprovechamiento energético de los acumuladores de cambio de fase en algunas propuestas constructivas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela de Arquitectura (2007).]

59] Domínguez M., García C., González F., Arias José M^a. Importancia de la capacidad térmica en la resistencia al paso del calor en los cerramientos. <http://www.conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/09.pdf>

60] Domínguez M., García C., Arias José M^a. Factores importantes en el comportamiento térmico de cerramientos. Ventajas de la incorporación de los materiales de cambio de fase. <http://hdl.handle.net/10261/14242>

61] Domínguez, M.; Carrasco, J.A.; Díaz, J.M. Acumulador-captador térmico. Patente invención 533462. C.S.I.C. España (1984)

MICROENCAPSULADOS

62] <http://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc72/inti2.php>

- 63] PCM-micro Capsule Slurry Thermal Storage System for Cooling in Narita Airport
<http://www.fskab.com/Annex17/Workshops/EM3%20Tokyo%202002-09-30--1002/Presentations/20%20Full%20Paper%20of%20Shibutani.pdf>
- 64] http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V2V-4THC1D4-1&_user=4225285&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1031153652&_rerunOrigin=google&_acct=C000048559&_version=1&_urlVersion=0&_userid=4225285&_md5=8f84b4d9a2711826061a7b1279409569
- 65] Domínguez M., García C., Viti A. Los microencapsulados en las instalaciones de Climatización. El Instalador. (452) 12,30 (2008)
- 66] Domínguez M. La acumulación de frío con materiales de cambio de fase. Micro encapsulación.
<http://hdl.handle.net/10261/12566>
- 67] <http://sciencelinks.jp/j-east/article/200424/000020042404A0856505.php>

CLATRATOS

- 68] <http://www.jfe-steel.co.jp/en/research/report/003/pdf/003-02.pdf>
- 69] http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive/PalencAIVC2007/Volume2/PalencAIVC2007_V2_109.pdf
- 70] http://www.mrs.org/s_mrs/sec_subscribe.asp?CID=18401&DID=242756&action=detail



Manuel Domínguez Alonso
Carmen García Rodríguez
José M^a Arias Carrillo
Instituto del Frío. CSIC

<http://www.grupodominguezinstitutodelfrio.es/>

Alberto Viti Corsi

Asesor Técnico