

## **ALGUNAS POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE LOS ACUMULADORES DE CAMBIO DE FASE EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES.**

**Manuel Domínguez. Carmen García .José María Arias.** Instituto del Frío. CSIC. C/ Antonio Novias 10. 28040 Madrid [dominguez@if.csic.es](mailto:dominguez@if.csic.es)

### **RESUMEN**

Se caracterizan las energías renovables por su intermitencia o variabilidad en el tiempo y los materiales de cambio de fase (PCM) por requerir gran cantidad de calor para su intercambio y, mintiéndose constante la temperatura. Estas dos características se complementan, por lo que su unión tiene que ser muy buena. Se estudian algunas de las posibilidades del empleo de los PCM, en diversas aplicaciones o aprovechamientos de las energías renovables, en particular: La solar, el frío gratis y la cogeneración.

### **INTRODUCCIÓN**

La eficiencia energética de muchos equipos de producción de frío, como pueden ser los sistemas de compresión, dependen de las temperaturas de los focos térmicos y de su estabilidad en el tiempo. En muchos casos se dispone de calor o de frío en tiempos distintos a los que se pueden consumir con las energías renovables. Hay casos en que, a lo largo de una jornada se puede necesitar calor y frío, pudiéndose mejorar grandemente su eficacia si se puede almacenar estas energías térmicas.

Los PCM por necesitar gran cantidad de calor para cambiar de estado, son idóneos por reducir espacio y mantener temperaturas constantes. (1) a (5). Se ha visto que puede evitarse el empleo de máquinas de producción de calor o de frío en ciertos casos aprovechando las variaciones de temperatura del aire ambiente a lo largo del día, captando el calor o el frío en las horas adecuadas, guardándolos en grandes bancos de calor o de frío empleando PCM y restituyéndolos en las horas del día más conveniente (6) a (10).

**La acumulación de calor estacional**, que se potenció grandemente en la primera crisis del petróleo, se ha ido desechando por problemas de espacio y de costo, se está recientemente estudiando, junto a las bombas de calor, aprovechando el calor denominado comúnmente geotérmico, la acumulación del calor en el terreno. Se están imponiendo en ésta aplicación las bombas de calor agua-agua (11), sobre las de aire-agua. (12).

## **Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables. 2009**

En los últimos años, en algunas aplicaciones en la industria de la alimentación y hasta del aire acondicionado, se ha visto que el transporte de **hielo micronizado** junto al agua podría ser interesante y se podría aumentar grandemente la energía térmica transportada, del centro de producción al de consumo (13) y (14). También se ha pensado que se podría conseguir transportar PCM micro encapsulados (15) y (16), de forma similar, a otras temperaturas diferentes a los 0 °C del hielo.

La **cogeneración** de calor a partir de combustibles tradicionales o de biomasa, esta en estos momentos cogiendo gran interés, así como la **trigeneración**, o producción de calor y frío al mismo tiempo que electricidad. Las grandes potencias, se están desarrollando y con más dificultades comerciales las medianas hasta los 100 Kw. eléctricos, pero es, sin duda, en la **micro** donde más se esta investigando para su aplicación a la vivienda individual. En las grandes y medianas instalaciones se están empleando: los motores de combustión, las turbinas, las calderas junto a las maquinas de absorción de simple efecto y en las pequeñas las calderas de gas y de biomasa, motores tipo "Stirling" y a las maquinas de absorción y hasta las de adsorción. En este interesante desarrollo tecnológico que nos encontramos hay un gran problema, el aprovechamiento energético total, que conduce sin duda, a la acumulación de calor y/o frío (17).

A parte de otras aplicaciones que se han ido exponiendo (18) a (22), hemos pensado conveniente presentar y discutir en este momento, posibles mejoras en ciertas aplicaciones. El **objetivo** pretendido es llamar la atención sobre las ventajas que tienen los PCM en el aprovechamiento de muchas energías renovables, en particular: la solar, la térmica del aire y la biomasa.

## **Los PCM a temperaturas por encima de los 0 °C.**

Los PCM que más se están empleando pueden verse, entre otros en (23), la mayoría son parafinas o similares, cuyo envejecimiento con los ciclos y en el tiempo es prácticamente nulo. Los PCM a bases de *sales hidratadas*, que de entrada parecen muy interesantes, por su mal comportamiento a los ciclos deben desecharse y las *aleaciones moleculares* por precio, no terminan de imponerse.

A parte de los problemas propios, entre los que se encuentra el comportamiento al fuego, nos encontramos con los derivados del recipiente y del sistema de disipación del calor. El **fluido intercambiador** del calor puede ser el aire o el agua, influyendo grandemente en los contenedores y en sus superficies de intercambio. En (24) se han recogido los sistemas más empleados.

La generalización del empleo de los PCM requiere pasar por estudios de viabilidad técnico-económicos y en casos de cierto riesgo por experimentación o sistemas demostrativos. Se debe tener muy presente, que toda solución técnica, no terminará de imponerse, si no es una solución económica. Puede ser interesante durante su lanzamiento o promoción, apoyarlas con subvenciones, como se está realizando con algunas energías

### ***Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables. 2009***

renovables, pero a la larga no serán soluciones efectivas, sino son competitivas con otras soluciones impuestas.

De forma general, se puede afirmar, que en el amplio margen de temperaturas, entre 0 y 90 ° C, se dispone de PCM estables que permiten acumular calor del orden de 50 Kwh. /m<sup>3</sup>. Con precios instalados, del orden de 5.000 €/m<sup>3</sup>. En los casos que resulte económico su empleo, terminaran por imponerse y en los restantes no lo harán, salvo que las autoridades competentes, subvencionen las instalaciones, como se está realizando con algunas de las energías renovables. No se debe considerar la acumulación de calor con estos materiales, como una competencia a las energías renovables, sino como un complemento ó conjunto con ellas y potenciar su empleo en los casos interesantes. Veamos algunos de ellos:

### **Energía solar fotovoltaica con acumulación de calor con PCM**

Supongamos una casa experimental, tal como, la indicada en las figuras 1 y 2 , en que se instala en la terraza placas fotovoltaicas y debajo de las mismas un sistema de tubos o micro tubos , por los cuales circula agua para su refrigeración , la cual se puede calentar en las horas de insolación y enfriarse en las de no insolación

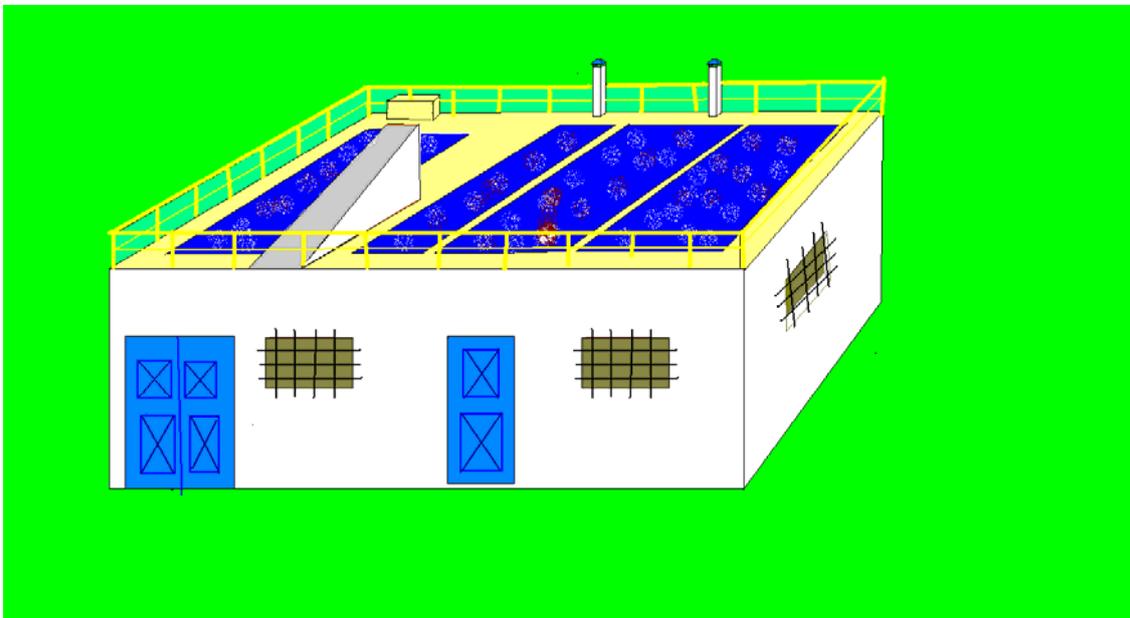


Figura 1



Figura 2

Con un sistema de bomba de calor agua-agua y un tanque de acumulación con PCM se podría llegar a la **autosuficiencia energética**. En la figura 3 se indica el esquema de principio del sistema y en la tabla 1 un resumen de los cálculos justificativos.

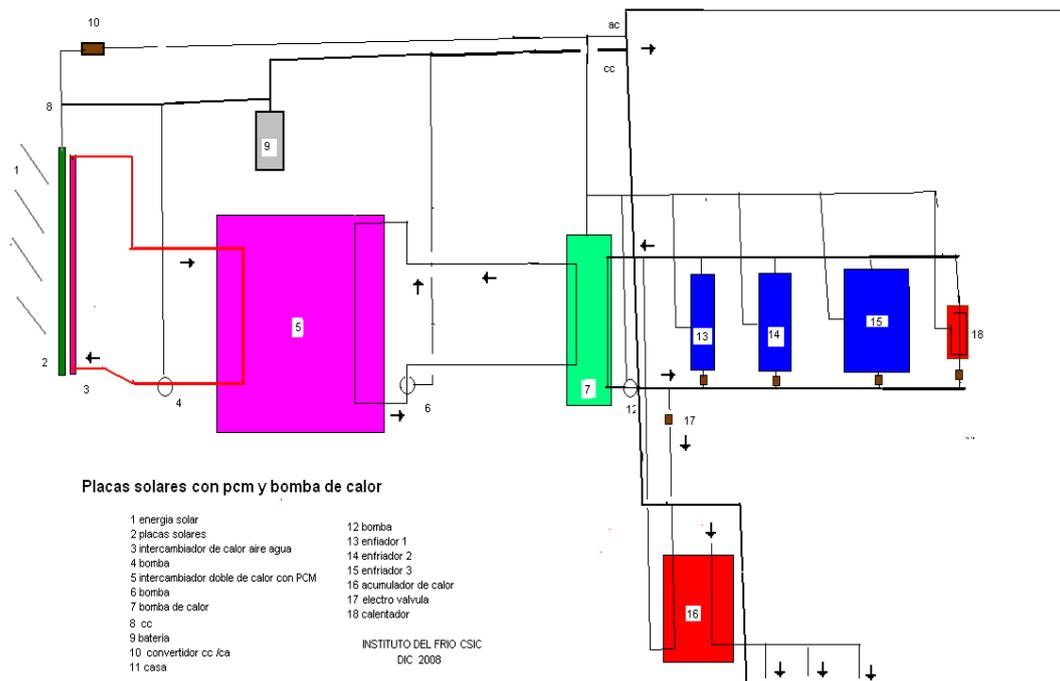


Figura 3

Tabla 1

Magnitudes			
Dimensiones	largo	7,95	m
	Ancho	6	m
	alto	3	m
aislamiento	espesor	6	cm
Cargas	Calor	2700	w
	Frío	1200	w
Colectores solares	Área	45	m <sup>2</sup>
	Radiación	30	w/m <sup>2</sup>
	Producción		w
Colectores térmicos		20	m2
Bomba de calor	Consumo	333	w
	Calor	1667	w
	frío	1000	w
Acumulador	Temperatura	30	°C
	capacidad	12	Kwh.
	volumen	0,24	m <sup>3</sup>
	Tiempo de carga	5	h

## **Trigeneración en una vivienda familiar con acumulación de calor con PCM**

Supongamos el mismo edificio, en el que se ha sustituido el sistema fotovoltaico y el de agua, por una máquina de micro cogeneración y se incorpora un tanque de acumulación de calor con PCM a temperatura aproximada de 30 ° C, empleándose también una bomba de calor agua-agua , tal como se ha representado en el esquema de principio de la figura 4, partiendo de un kilovatio de combustible. Que puede ser fósil o biomasa.

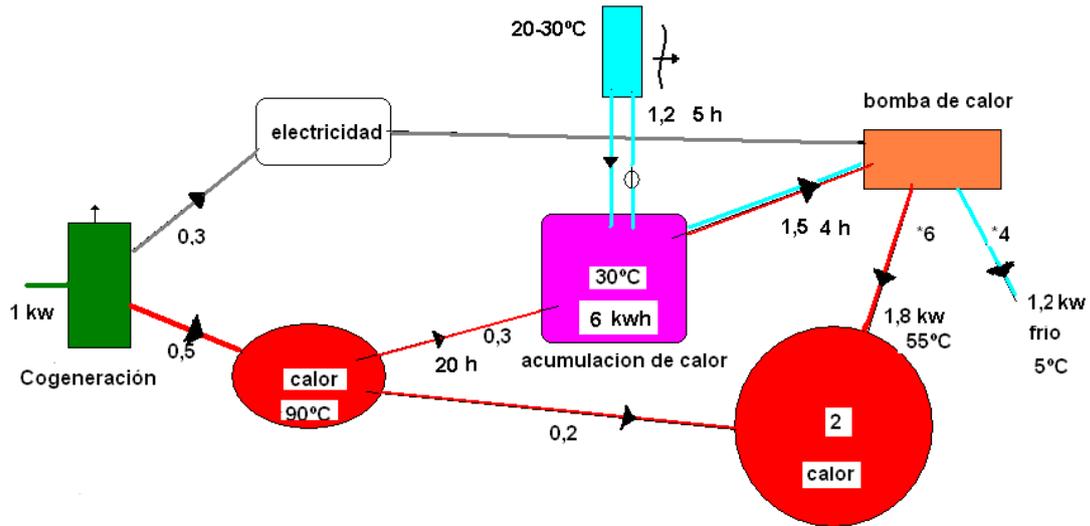


Figura 4

Se podría conseguir con un acumulador de cambio de fase de 30 °C y capacidad 6 Kwh. , con una batería de agua enfriada por aire exterior de potencia de frío de 1.2 Kw Con una bomba de calor partiendo de 1,5Kw de calor o de frío del acumulador trabajando 4 h por día podría producir con un consumo de 0,3 Kw Eléctricos 1,8 Kw de calor y/o 1,2 Kw de frío, que podrían cubrir las necesidades de las cuatro horas punta de la carga.

## Posibilidades del empleo de la Micro encapsulación de PCM con las energías renovables

Se considera que el micro encapsulado de los PCM presenta muchas ventajas, pues permite su empleo en diferentes campos, desde: la reprografía, pasando por la alimentación y la medicina, a la construcción y a la climatización (25) y (26). En el campo de las energías renovables, se considera que pueden tener una gran importancia, sobre todo en la acumulación y en el transporte. El tamaño de la micro encapsulación puede ser muy variable, presentando ventajas a nuestro juicio, las comprendidas entre 10 y 50 micras, pues el área de intercambio es muy grande, facilitándolo muy considerablemente, no requieren espesores muy elevados de las paredes, permiten soportar sin colapsarse por presiones o impactos y no aumentan grandemente la viscosidad del fluido, si no se sobre pasa una concentración muy elevada.

En la figura 5 se puede ver la variación de la viscosidad con el % de contenido de un micro encapsulado en agua , de diámetro promedio 10 micras de un PCM de densidad 1 g/cm<sup>3</sup>

**Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables. 2009**

de cambio de fase a 6 ° C, conteniendo aproximadamente, un 60 % de PCM y el 40 % un recubrimiento plástico.

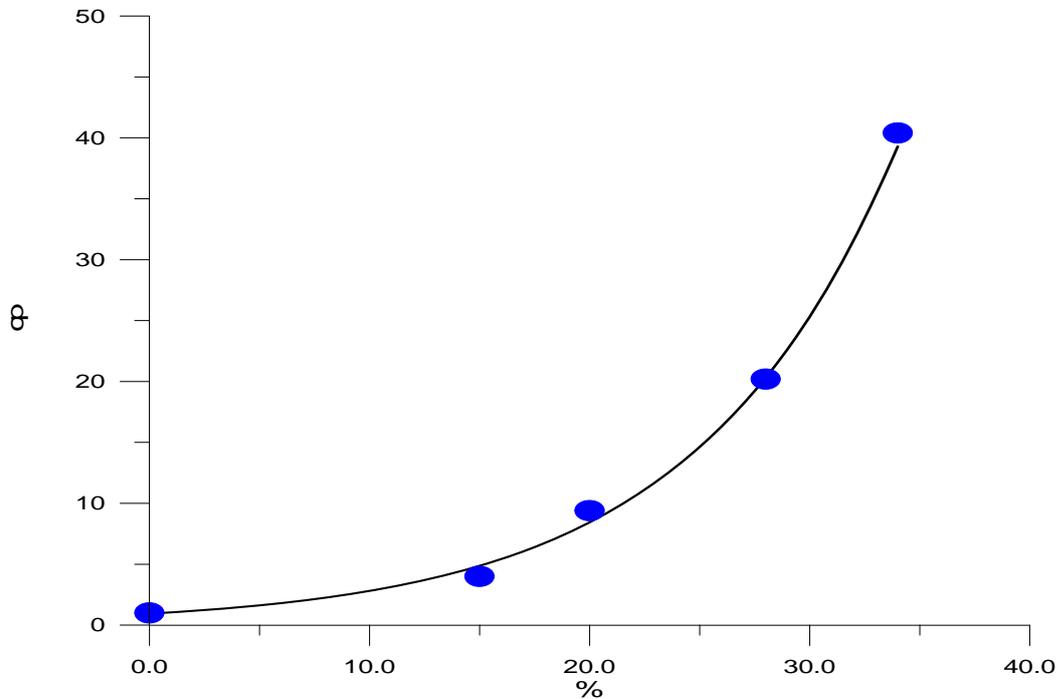


Figura 5

En la figura 6 se ha representado la energía térmica que puede transportar, en función de la concentración en KJ/kg, (en una mezcla con agua, considerando que el calor posible de aprovechar de ella es el de un salto de 6 ° C). O la energía por caudal de la mezcla (kJ/kg/s)

Para valores del 35 % de concentración, en el cual se comportaría desde el punto de pérdida de carga, equivalente a una mezcla clásica de propilenglicol y agua, de empleo en instalaciones solares con colectores térmicos, se aumenta la capacidad con respecto al agua y con el salto indicado de 6 °C en 3,2 veces, o lo que es muy interesante, se podría reducir considerablemente el diámetro de las conducciones o la potencia necesaria de consumo de electricidad en el sistema de bombeo.

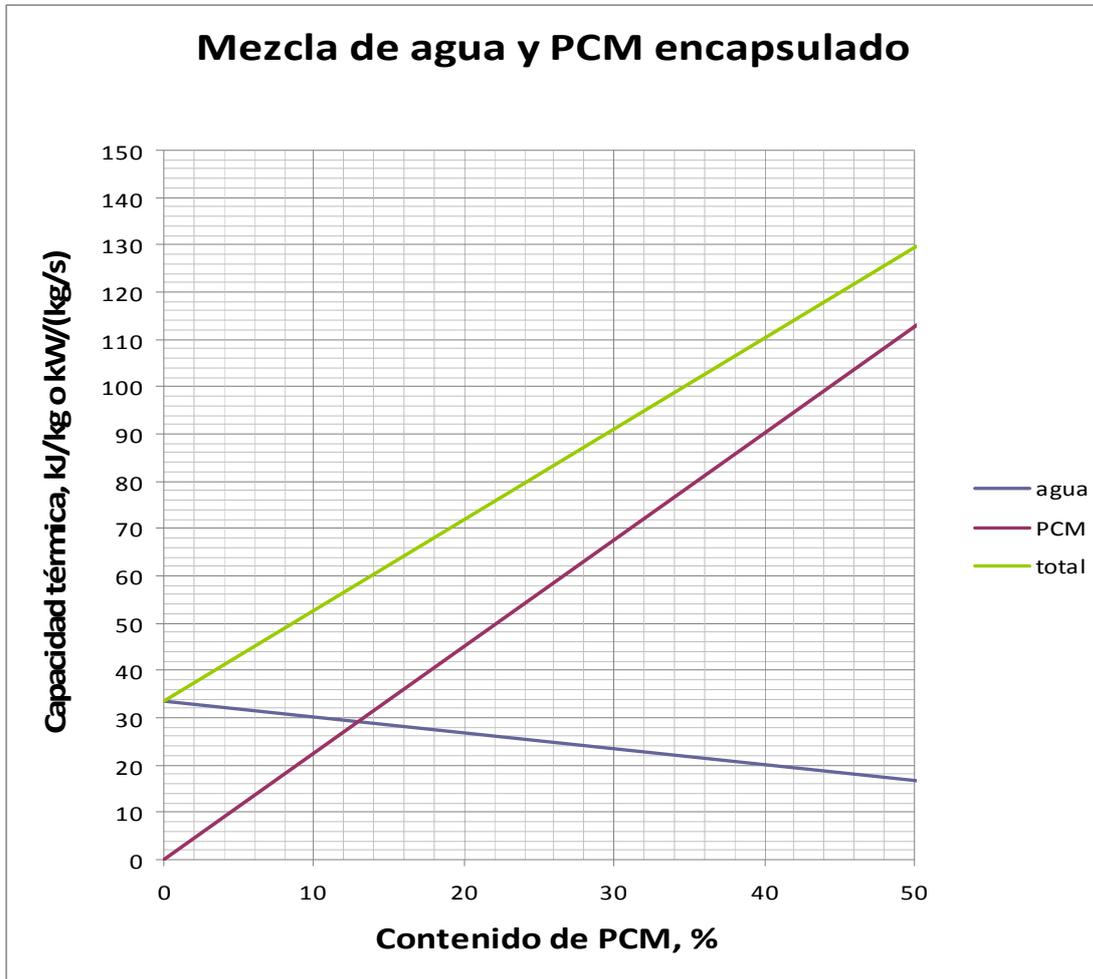


Figura 6

Aun siendo todo lo indicado muy interesante y digno de tenerse en cuenta, hay otro factor que suele pasarse por alto y que tiene gran importancia en la mejora de la eficiencia energética, que es la **capacidad térmica de las instalaciones**. Cuando el agua de la instalación es pequeña, se tienen que realizar sistemas muy sofisticados de regulación de capacidad, pues se pararían muy rápidamente las máquinas de frío y se acortarían los ciclos de funcionamiento y con ello la vida de las máquinas y no se podría ir a pocas y grandes máquinas con las que se consigue mejores rendimientos, COP hasta de 6. Hay máquinas centrifugas que requieren tiempos de parada próximos a la hora, que no podrían instalarse en algunas instalaciones.

Otro factor muy importante, a tenerse en cuenta en las construcciones, son los volúmenes y los pesos, pensar en utilizar tanques de inercia a base de agua llevan volúmenes muy grandes y por tanto a instalaciones costosas.

**Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables. 2009**

En la figura 7 se ha representado un esquema de principio de una instalación de climatización con un **circuito cerrado acumulador con PCM micro encapsulado**, intercalado entre el circuito primario y el secundario, con intercambiadores de placas. Con esta solución se podrían utilizar todos los elementos de las instalaciones clásicas de climatización, disminuyendo posibles riesgos de depósitos u obstrucciones en paradas prolongadas. Si se conectan los ramales indicados (nº 8 y 11), se puede aumentar la potencia punta en las condiciones más exigentes o de diseño grandemente, pues se aprovechan las máquinas y los intercambiadores de placas y todo el potencial de acumulación de calor del lazo. Se puede por tanto no necesitar instalar tanta potencia en máquinas y reducir la contratación de electricidad y los centros de transformación, cuadros etc. y mejorar muy satisfactoriamente las tarifas eléctricas.

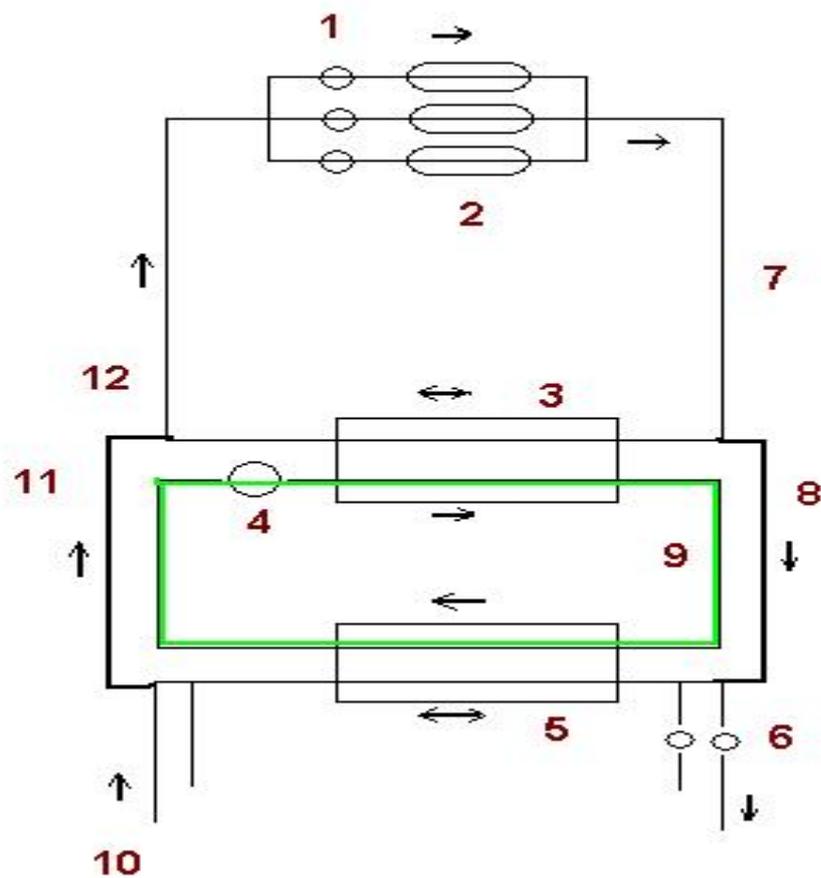


Figura 7

Calores como el sensible de los refrigerantes que generalmente no se aprovechan y obliga a sobredimensionar los condensadores, el gas sale del compresor a temperatura próxima a 100º C lo que puede aprovecharse, acumulando este calor en PCM a temperaturas del orden de 60º C, por ejemplo para **agua caliente sanitaria ACS**.

## ***Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables. 2009***

En el empleo de **colectores solares** se considera sería idóneo y máxime cuando se consigue con estas mezclas **excelentes anticongelantes**, pudiendo eliminarse el propilenglicol o reducirlo grandemente su concentración.

## **Conclusiones**

Algunas de las energías renovables se pueden aprovechar mucho mejor, acumulando calor o frío, en materiales de cambio de fase. En particular: la solar, tanto la fotovoltaica, como la térmica; el aprovechamiento térmico del aire ambiente o “free cooling” y los sistemas de cogeneración o trigeneración.

La inercia térmica que se pueden conseguir con los PCM, mejora la regulación de capacidad, y permite mejorar la eficiencia, reducir equipos de producción de frío y facilitar la reducción de las tarifas eléctricas.

Junto a bombas de calor agua-agua y acumuladores de temperatura próxima a 30 ° C, pueden aumentar grandemente la eficiencia energética de instalaciones domésticas. Tanto con paneles fotovoltaicos refrigerados con agua, como con micro calderas de cogeneración y enfriadores de aire forzado..

Micro encapsulando los PCM se pueden transportar en mezclas de agua, reduciendo volúmenes y diámetros de conducciones o potencias de bombas.

Las energías renovables que están carectizadas por su intermitencia, se pueden aprovechar grandemente en unión a los ACUMULADORES DE CALOR DE CAMBIO DE FASE.

## Referencias

- 1] B. Zalba, J M. Marín, F. Luisa Cabeza; H. Mehling. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications Applied Thermal Engineering Volume 23, Issue 3, 251-283 (2003)
- 2] F. Kaltenbach PCM- Acumuladores de calor latente para calefacción y refrigeración. Detail. Arquitectura solar. 4 . 482,486. (2005).
- 3] M. Domínguez Presente y futuro de la investigación en la edificación. Comportamiento térmico y posibilidades de empleo de los materiales de cambio de fase (PCM) (2006)
- 4] B. Zalba, J.M<sup>a</sup> Marin A. Lázaro, P. Dolado, M. Medrano, L.F. Cabeza. Investigación y desarrollo de aplicaciones del almacenamiento térmico de energía con materiales de cambio de fase. El Instalador. Febrero. 2007. 138,148.
- 5] Frédéric Kuznik, Joseph Virgone, Jean Noel. Optimisation of a phase change material wallboard for building use Applied Thermal Engineering, (28), Issues 11-12, 1291-1298 (2008)
- 6] Domínguez M.; Culubret J.; Mascheroni R. H; López, P. Pinillos; J. M.; García C. CIAR 2001. VI Congreso iberoamericano de aire acondicionado y refrigeración. Argentina. Agosto "la acumulación de energía con cambio de fase a temperaturas positivas en instalaciones de climatización".
- 7] M. Domínguez; C. García; P. Gutiérrez; R. Fuentes & J. Culubret. La acumulación de calor en los sistemas de climatización a temperatura por encima de 0 °C. El Instalador. n° 349. Enero 1999, Págs. 65-72.
- 8] M., Domínguez C. Gracia. 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)
- 9] M Domínguez., P Gutiérrez., F González., J. M. Arias. Mejora de la eficiencia energética en instalaciones de climatización empleando los MCF. (407). 69,78. (2004)
- 10] M Domínguez, C. García. Aprovechamiento de los materiales de cambio de fase (PCM) en la climatización.(Pendiente de publicación CIT Agosto 2009)
- 11] <http://hdl.handle.net/10261/12566>
- 12] M. Domínguez.; J, C García; M; Arias. Estudio térmico en tubos enterrados circulando aire. Montajes e instalaciones n° 426 abril 2008. 74,78.
- 13] [http://www.sunwell.com/sp\\_index.html](http://www.sunwell.com/sp_index.html)
- 14] [http://www.un.org/esa/sustdev/sids/2008\\_roundtable/presentation/fisheries\\_viglundsson.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/sids/2008_roundtable/presentation/fisheries_viglundsson.pdf)
- 15] M. Domínguez; C. García, A. Viti Los microencapsulados en las instalaciones de climatización. El Instalador. (452) 12,30 (2008)
- 16] <http://hdl.handle.net/10261/12566>
- 17] [http://www.cogeneurope.eu/Downloadables/Publications/Cogeneration\\_Europe\\_Draft\\_paper\\_on\\_Security\\_of\\_Supply\\_in\\_EU\\_energy\\_policy.pdf](http://www.cogeneurope.eu/Downloadables/Publications/Cogeneration_Europe_Draft_paper_on_Security_of_Supply_in_EU_energy_policy.pdf)
- 18] M., Domínguez, J Culubret., A Soto. Nuevo sistema de climatización evaporativo y acumuladores concambio de fase para nodos de comunicación. Montajes e Instalaciones (358). 64,68 (2002)

***Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables. 2009***

- 19] M. Domínguez; J. Culubret. Nuevo sistema de climatización empleando el enfriamiento evaporativo y los acumuladores de cambio de fase. Montajes e Instalaciones n ° 365. Oct. 2002. 53,57
- 20] M. Domínguez; J. Culubret; J. A. Barbero. Ventajas de los nuevos acumuladores de frío en las redes de telecomunicaciones. BIT. N° 125.Enero-feb. 2001. 92,94
- 21] L.E Gómez.; M. Domínguez. Proyecto de edificaciones escolares bioclimáticas en Colombia. El Instalador especial julio-agosto N° 338. Energías renovables II.64,72 (2002)
- 22] Gu, Zhaolin; Liu Hongjuan, Li Yun. Thermal energy recovery of air conditioning system—heat recovery system calculation and phase change materials development. Applied Thermal Engineering, (24), 2511-2526 (2004)
- 23] M. Domínguez, J. Culubret., E. Tarin, J. Manzanque. Comprobación del funcionamiento de una instalación de climatización con acumuladores de cambio de fase. Montajes e instalaciones. (403). 82,85 (2006)
- 24] <http://hdl.handle.net/10261/12564>
- 25] <http://hdl.handle.net/10261/11503>
- 26] <http://hdl.handle.net/10261/7361>