

Los materiales de cambio de fase (PCM) en la construcción.

M. Domínguez, C. García y J. M^a Arias.

Departamento de Ingeniería . Instituto del Frío. CSIC.

RESUMEN

Se analizan algunos de los materiales de cambio de fase que se pueden emplear en la construcción y sus formas posibles de hacerse : incorporándolos a los materiales de construcción, muros tipo Trombe, tanques de almacenamiento y en los fluidos secundarios de transporte de calor.

Se concluye analizando las ventajas que presentan los PCM en la climatización de algunas construcciones aprovechando el "frío gratis" del aire y la recuperación de calor.

Palabras claves: PCM, Construcción, cambio de fase, eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética y el cambio climático son temas de la máxima actualidad y todo lo que se haga a favor de aumentar lo primero y aminorar lo segundo, será muy bien visto por todos, ver (1). En el campo de la construcción se puede hacer mucho en estos temas empleando los materiales de cambio de fase, que son conocidos universalmente por sus siglas en Inglés, PCM. Se considera, por tanto, de máxima interés y actualidad este tema .

En el Departamento de Ingeniería del Instituto del Frío, desde hace muchos años , (más de un cuarto de siglo) se ha seguido una línea de investigación sobre la búsqueda del empleo de los PCM en el transporte de productos perecederos y en la climatización en general , algunos de sus resultados se han recogido en las patentes y publicaciones siguientes: (2) al (5).

Recientemente han aparecido trabajos de recopilación o de síntesis de materiales posibles de ser empleados como PCM y soluciones constructivas que se están investigando y hasta se encuentran en el mercado, como puede verse en (6) al (14).

Consideramos que , el posible empleo generalizado, no depende exclusivamente del conocimiento del tema, pues hay gran información disponible, sino del convencimiento de sus ventajas, requiriendo un tiempo prudencial para que se pase por el natural desarrollo de sus aplicaciones.

El objetivo pretendido es facilitar una mejor información a través de exponer una amplia panorámica del estado del arte en este tema, e insistir en las grandes ventajas que se ven en su empleo.

METODOLOGÍA.

Una vez analizadas las principales soluciones que se han ido introduciendo, se insistirá en las ventajas que la acumulación de calor con cambio de fase tiene en el aumento de la inercia térmica de las construcciones, que facilita el deseado grado de confort, permitiendo desfasar las puntas de demanda a las horas de menor costo de la electricidad y de mayor rendimiento de los sistemas mecánicos de producción de frío. Y también, se insistirá en el poder bajar muchísimo el consumo energético por el aprovechamiento masivo del frío gratis o “free cooling” del aire necesario de renovación.

Se analizarán posibles lugares de colocación de los PCM en los muros de las construcciones y las temperaturas más recomendadas de cambio de fase Se analizaran las posibilidades que presenta su microencapsulación con dos vertientes, en los materiales de construcción y en los propios aislantes. Añadiendo los PCM al agua o fluidos

transportadores de calor, es decir, en el agua fría para climatización o en la caliente, para calefacción y usos sanitarios (ACS).

RESULTADOS

Es bien conocido, el que se requiere mucha energía para cambiar la materia de estado y que durante dicho cambio permanece constante la temperatura, también es bien conocido que muchas reacciones químicas requieren o producen calor. Estos dos sistemas se han empleado para acumular energía térmica. En la primera crisis del petróleo se buscaron los segundos sistemas, sobre todo las sales hidratadas, debido a su envejecimiento rápido con los ciclos de funcionamiento, su empleo masivo se vió frenado. En estos últimos años, los productos a base de hidrocarburos, como son entre otros las parafinas, han sido más empleados, a pesar que su precio esté ligado al del petróleo.

En estos momentos se puede decir que, en el intervalo de -30 a 100 °C está cubierto, con diversos materiales PCM que, no varían sus propiedades con el tiempo, compatibles con los materiales normales, plásticos o metales, sin problemas tóxicos o de manipulación, de precio reducido, pero no despreciable. Pueden verse entre otros en los trabajos indicados en la introducción. Las propiedades termofísicas cambian entre ellos, pero una idea de los ordenes puede verse en la tabla 1.

Se debe tener presente en la construcción que al tener una fase líquida requiere sean retenidos en envases. Los acumuladores sólido-sólido que han sido estudiados, se han desechado por bajo rendimiento y alto precio.

Tabla 1

Temp. Cambio de fase	°C	7
Densidad	Kg/m ³	1.100
Calor latente	Kj/Kg	167,2
Coefficiente de Conductividad sólido	w/m.K	0,58
Coefficiente de Conductividad líquido	w/m.K	0,291
Calor específico sólido	J/Kg.K	1.756
Calor específico líquido	J/Kg.K	836

La acumulación de hielo que se generalizó y fue hasta de obligado cumplimiento en algunos países hace años, está actualmente en desuso por ser antieconómica, así como también, la acumulación de calor en forma sensible, en frío en grandes masas de agua o en calor a altas temperaturas en materiales refractarios.

Los sistemas centralizados de producción de calor o de frío, permiten obtener mayores rendimientos, por lo que se generalizaron en grandes edificios, pero al aumentar los costos de la mano de obra, se tendió en la climatización de edificios de viviendas a eliminarlos y hasta en la calefacción. Es ahora, en esta segunda crisis del petróleo, en donde se está pensando aumentar la eficiencia y el volver a sistemas centralizados, no sólo para un edificio, sino para grandes zonas urbanas, volviendo a tener gran interés los temas relacionados al aumento de eficiencia energética, (15) y (16)

Dado que se puede producir electricidad con grandes rendimiento con equipos modernos de cogeneración y tener como subproductos calor a diversos niveles de temperaturas, resuelta la acumulación del calor, se puede proceder a su empleo en los momentos que se quiera, es decir en las horas punta, bien para calefacción o ACS, o bien en climatización empleando máquinas de absorción.

Por todo lo dicho se puede desprender que las posibilidades del empleo de los PCM son grandes y muy diversas en la construcción.

El problema técnico no puede separarse nunca del económico y como estos materiales son algo costosos, deben de optimizarse o racionalizarse su empleo. Se debe tener en cuenta dos aspectos importantes, uno la capacidad de almacenamiento y otro la potencia térmica disponible y la facilidad de su carga. Mientras que la primera está en función de la masa y del calor latente, en la segunda interviene el área, el coeficiente global de transmisión, en el que la conductividad térmica del PCM tiene una gran importancia. y el salto de temperatura.

Con un esfuerzo grande nos hemos dedicado a medir las propiedades termofísicas de los PCM, requiriendo nuevas técnicas de medida, como la descrita en (17) y (18) y también estudiando la transmisión de calor incluido el cambio de fase, desarrollando una nueva técnica, descritas en (19) al (21).

El fluido transportador, del calor o del frío, desde la fuente térmica al acumulador y de éste al disipador último, en grandes capacidades es el agua y en pequeñas es el propio aire, en convención forzada o natural. Se estudiaron diversas soluciones, comenzando por la convención natural, basadas en la generalización de los muros tipo Trombe, sustituyendo el "muro pesado" de gran capacidad térmica por uno ligero y translucido también de gran capacidad térmica, incorporando el PCM en bloque de vidrio, como puede verse en las figuras 1 a la 3. Sistema que fue protegido por la patente (4). Las Casetas construidas y experimentadas han hecho ver que el sistema es sumamente interesante, permitiendo con un área de captación-acumulación de 8 m² orientada al sur, cubrir las necesidades de climatización de una vivienda de 100 m² en la meseta Castellana.



Fig. 1 Casetas experimentales de Aitemin Toledo, descritas en (22)

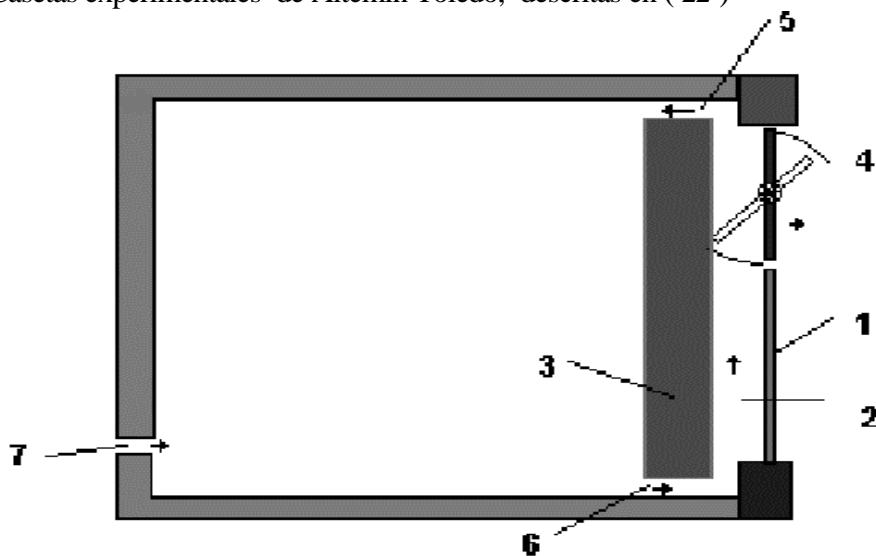


Fig. 2 Esquema de principio del muro tipo Trombe con PCM . 1 Muro traslucido. 2 Cámara de aire ventilada. 3 Muro formado por bloques de vidrio conteniendo el PCM 4 Sistema manual de apertura (verano) o cierre (invierno) del aire. 5 Entrada al interior de la caseta del aire caliente. 6 Aire aspirado del interior de la caseta . 7 Toma de aire exterior en época de verano.

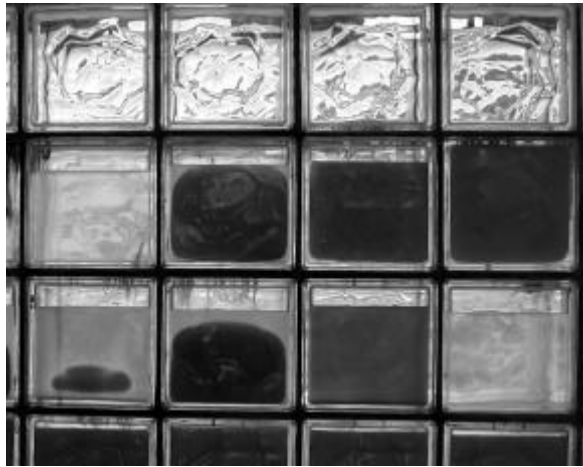


Fig. 3 Vista parcial de la vidriera durante su funcionamiento. Se puede observar de oscuro al PCM no fundido.

Se pensó desde un principio el introducir el PCM en los cerramientos, bien en recipientes estancos, como en cápsulas , esto último fue protegido por la patente (2) . De los estudios y experiencias realizadas sobre su incorporación en muros mixtos aislantes y de gran capacidad, se vio que la onda anual podría desfasarse una estación(tres meses) y la diaria eliminarse totalmente, ver trabajos sobre el tema (23) al (26).

La resistencia real de los cerramientos depende del producto del coeficiente de conductividad, de la capacidad térmica y de la frecuencia principal de la onda térmica. Los muros con materiales de cambio de fase tienen grandes valores de la capacidad térmica y son muy interesantes incorporarlos en los cerramientos. En el trabajo (27) puede verse las ecuaciones teóricas encontradas para el cálculo de los desfases y de las resistencias térmicas reales en función de estas tres magnitudes. En las casetas indicadas en la figura 1, se incorporaron en los muros los PCM , en placas de 48*28*3 cm y como se indica en figura 4.

En otras latitudes como es el caso del proyecto presentado en el trabajo (28) que son edificios en el ecuador (Colombia), los PCM se pueden colocar en el techo en lugar de, al medio día.





Fig. . 4 Vista parcial durante la construcción de una de las casetas , formado por piezas cerámicas conteniendo el aislante poliestireno y el PCM en piezas plásticas , las temperaturas de cambio de fase eran alternativamente de 20 y 26 °C en la primera capa y de 23 °C en segunda (la interior de la caseta).

En otras aplicaciones como la que se puede ver en (29) se ha colocado el PCM en el suelo directamente en baldosas o en “plenum” con ventilación forzada intermitente cargándose el acumulador por la noche y descargándose por el día..

Otros lugares de colocación interesantes de los PCM son: en el suelo , con calefacción eléctrica o con agua caliente , de temperaturas de cambio de fase de 28 a 29 °C , en los techos con temperaturas entre 16 a 18 °C , cargados o enfriados por aire o con agua fría. En los cerramientos, se considera que es más conveniente colocarlos por el interior, siendo la temperatura de cambio de fase de 23 °C .

Otros lugares que se ha visto interesante la colocación ha sido, en los bajos de ventanas o en la zona de “quita miedos” de los muros cortina y en general en forjados y huecos de vigas , colocándolo dentro de tubos con aletas o sin ellas, tal como, se puede ver en la figura 5 .

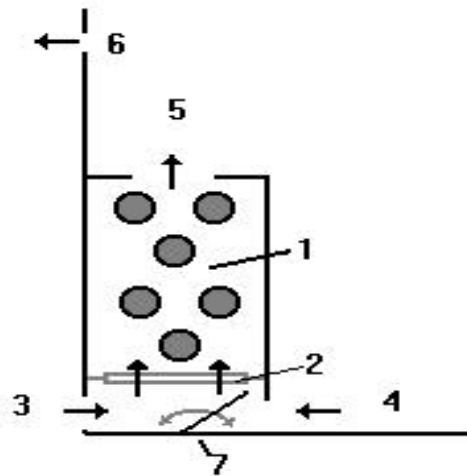


Fig. 5 Esquema de principio de sistemas de climatización de edificios con PCM y aire forzado, cargándose con aire exterior y descargándose con recirculación del aire interior. 1 Batería con el PCM en los tubos. 2 Ventiladores. 3 Toma de aire del exterior. 4 Toma del aire del interior. 5 Salida del aire al interior.. 6 Salida del aire al exterior por sobrepresión.

En las grandes instalaciones los PCM se han incorporado en: falsos techos de aseos , en terrazas , en salas de máquinas en sótanos y hasta en plazas de garajes. El tamaño de los tanques se ha ido adaptando a las disponibilidades de espacio en cada caso . De los tanques con baterías de aluminio y el PCM por fuera de los tubos, se ha pasado a los de plástico cilíndricos , ver figuras 6 a la 9.

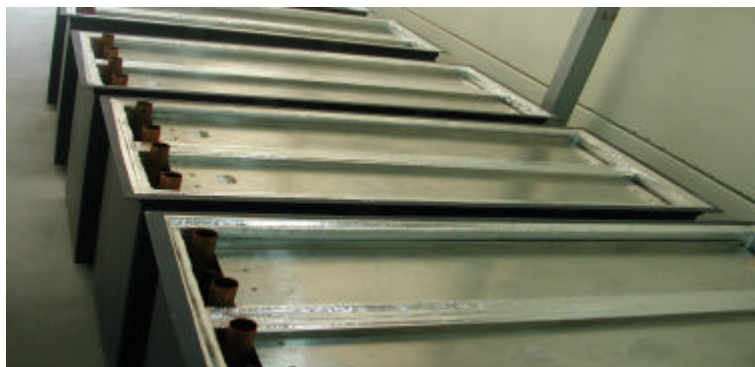


Fig.6 Es un detalle de la fabricación de los tanques, en donde se pueden ver las dos baterías de tubos de cobre y aletas de aluminio que tenían , el PCM esta por fuera de los tubos, es decir, entre las aletas.



Fig. 7 Vista parcial de una de las instalaciones formada por 32 m³ de PCM , los tanques fueron de 1 m³ , ver (31)



Fig. 8 Vista parcial de una instalación de 180.000 Kg. de PCM, los tanques son cilíndricos de plástico de 4 m³

En el caso del aire acondicionado la ubicación del PCM y su temperatura puede variarse, de la clásica a la salida de las máquinas en el anillo primario a 6°C, se puede pasar a la entrada de las máquinas a 12 °C o en el anillo de cierre a 7 °C, ver figura 9, y trabajos de (32) y (33).

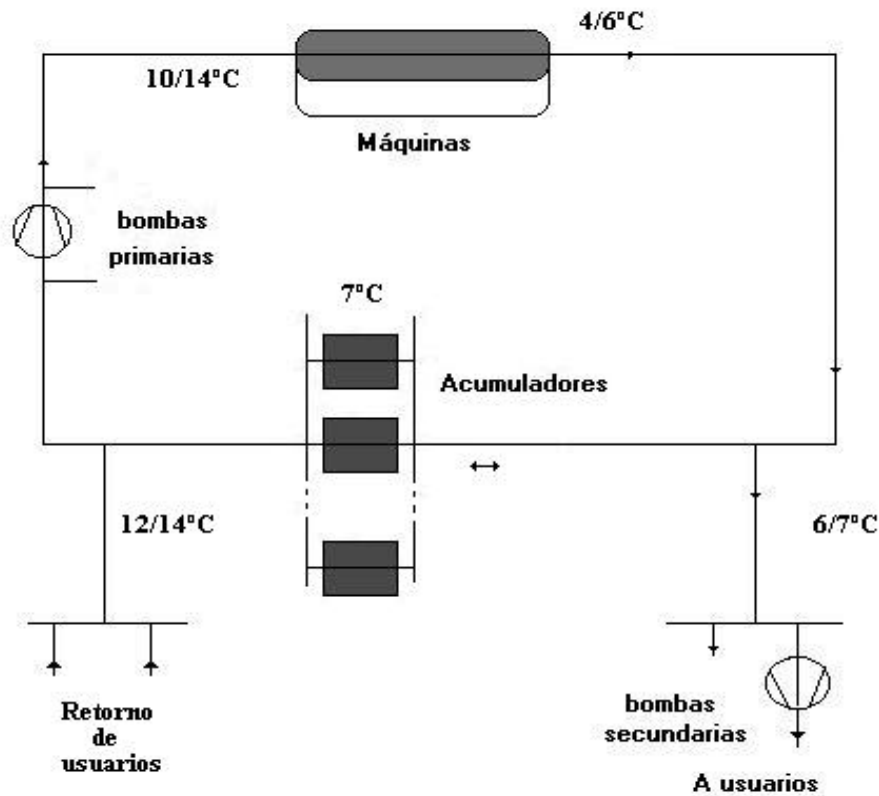


Fig. 9 Esquema de principio de una instalación de climatización con PCM en el lazo de cierre del anillo primario

Otra de las posibilidades grandes que presentan los PCM es poder colocarse en la toma de aire externo o a la salida del interno y hasta en los recuperadores de calor se puede acoplar a los sistemas evaporativos y eliminarse así en algunos casos, los sistemas de producción de frío, ver (34) y (35) y las figuras 10 y 11.

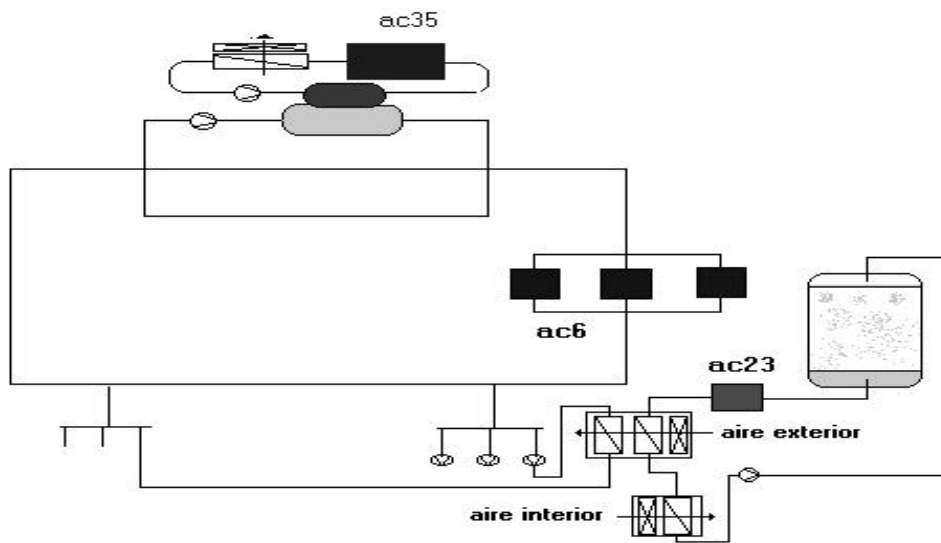


Fig. 10 Diversos lugares de colocación de los PCM en una instalación de climatización a temperaturas de 35, 23 y 6 °C

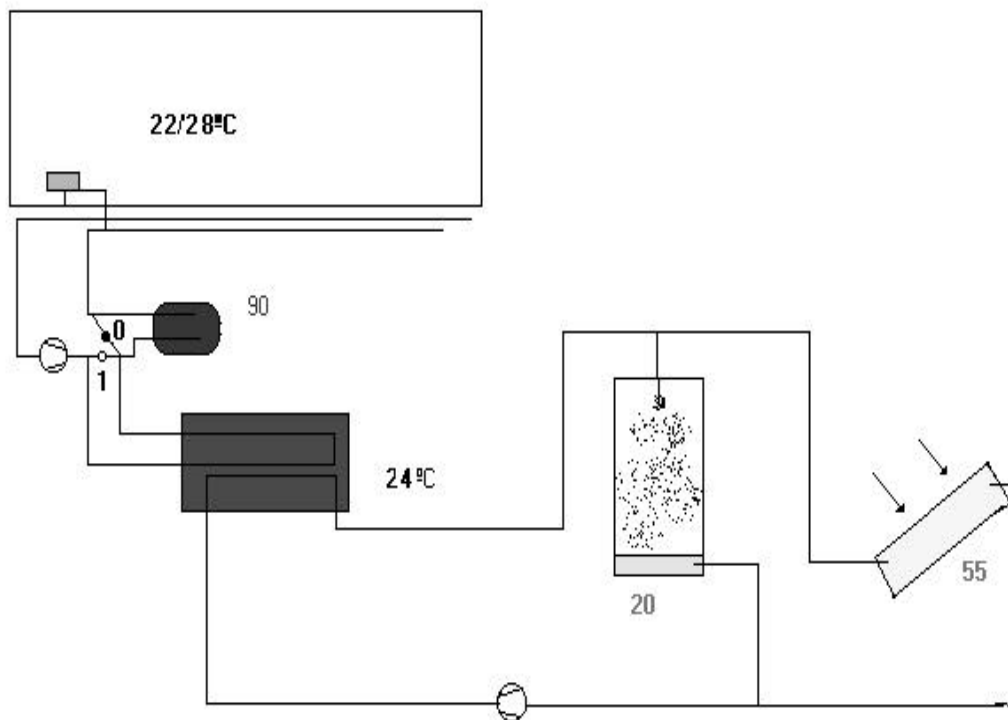


Fig. 11 Esquema de principio de la instalación de climatización de un polideportivo con PCM a 24°C , en tanque acumulador-intercambiador.

En el caso de empleo de turbinas para la producción de electricidad , conviene que su funcionamiento sea continuado, pudiéndose producir calor a diversas temperaturas o niveles , calor que acumulado en PCM, puede ser aprovechado para cubrir las diversas necesidades térmicas de los edificios, ACS, calefacción y/o frío con sistemas de absorción, pudiéndose acumular calor o frío o los dos niveles de temperatura deseados ver la figura 12.

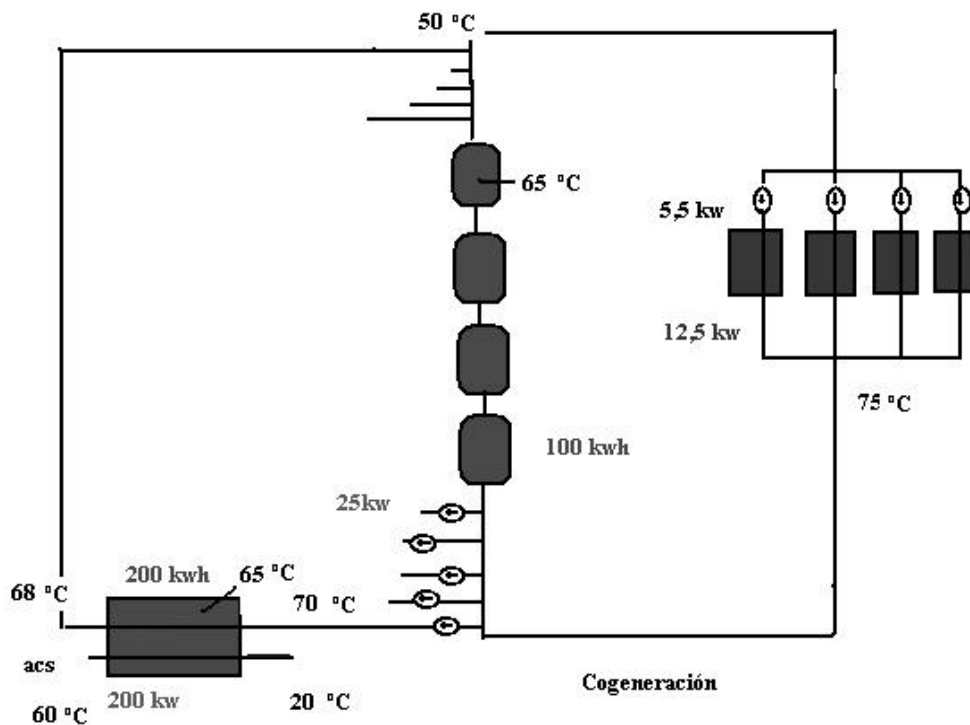


Fig. 12 Esquema de principio de un sistema de cogeneración para un bloque de viviendas con PCM a 65°C

DISCUSIÓN

En los aprovechamientos de las energías renovables , en particular las más variables en el tiempo, como la solar, ver y la eólica, es fundamental recurrir a la acumulación de energía, mientras se pasa al vector energético el hidrógeno, la acumulación en forma de calor latente es una solución interesante.

Los PCM a emplear requieren que sean estables en el tiempo y con los ciclos, de bajo costo y sin problemas secundarios de manipulación y riesgos personales, con gran energía a la temperatura deseada. Es de esperar que con su uso generalizado se pueda disponer de más materiales con precios competitivos.

Se ha visto al analizar el comportamiento térmico de edificaciones en barro, que la evaporación del agua, es decir, el aprovechamiento de su calor latente de evaporación, puede ser muy importante para reducir las entradas de calor en los meses cálidos en las edificaciones. En el trabajo (36) puede ampliarse este tema. En este caso el PCM, se puede considerar en este caso que la evaporación del agua equivale a un cambio de fase de un PCM.

Se considera de sumo interés los PCM encapsulados, en particular "los micro", en plásticos, que permitan agregarlos como áridos al cemento ó a los yesos, ver (22) o hasta trasportarse en el agua, ver (37). Se espera en los próximos años un desarrollo muy grande en estos materiales, para ser incorporado en los materiales de construcción o en los líquidos de transporte de calor.

Hay abierto, sin duda, un campo de investigación muy interesante y un posterior campo de desarrollo, a los cuales se invita a seguir.

CONCLUSIONES

Se considera que en la construcción, se pueden incorporar con resultados muy interesantes los PCM, bien introduciéndolos en los elementos constructivos de los cerramientos, lo cual permite desfasar las ondas térmicas anuales una estación climática, bien en los muros tipo Trombe o en la concepción más amplia de edificio convectivo, o en equipos captadores acumuladores apropiados, colocados en forjados o en zonas "quitamiedos" de soluciones muro cortina, o bien en los circuitos de agua de calefacción o de climatización.

También pueden emplearse los PCM, para el aprovechamiento del "frío gratis", la recuperación de calores residuales y la generación, con o sin sistemas de absorción.

REFERENCIAS

- (1) 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)
- (2) Dominguez, M.; Carrasco, J.A.; Diaz, J.M. Acumulador-captador térmico. patente invención 533462. C.S.I.C. España (1984)
- (3) Dominguez, M; Carrasco, J.A.; Díaz, J.M. contenedores de colmenas climatizado por energía solar mediante suelo radiante con acumulación de calor por cambio de estado. modelo de utilidad291049. CSIC. España (1985)

- (4) Domínguez M., Pinillos J. M., García C., Gutiérrez P. Sistema pasivo de climatización. Patente de invención. N° 9900558. España, 18 mar (1999)
- (5) Domínguez M, García C. Aprovechamiento de los materiales de cambio de fase (PCM) en la climatización. (Pendiente de publicación CIT Agosto 2009) (2008)
- (6) Ahmet Sari , Ali Karaipekli . Preparation and thermal properties of capric acid/palmitic acid eutectic mixture as a phase change energy storage material/ Materials Letters, (62), 903-906. (2008)
- (7) Carbonari, De Grassi, Di Perna y Principi. Numerical and experimental analyses of PCM containing sandwich panels for prefabricated walls. Energy and Buildings. (38). 472-483. (2006).
- (8) Cemil Alkan, Kemal Kaya, Ahmet Sari . Preparation and thermal properties of ethylene glycol distearate as a novel phase change material for energy storage Materials Letters, (62), 1122-1125 (2008)
- (9) Darkwa, O'Callaghan y Tetlow. Phase-Change drywalls in a passive – solar building. Applied Energy. (83). 425-435. (2006).
- (10) 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)
- (11) Kaltenbach F. PCM- Acumuladores de calor latente para calefacción y refrigeración. Detail . Arquitectura solar. 4 . 482,486. (2005) .
- (12) 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)
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 .
- (13) 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, (24), 2511-2526 (2004)
- (14) Paksoy Ó. Springer . Nato Science Series. Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption (2008)
- (15) Domínguez M. I Eficiencia energética en las instalaciones del frío y de climatización. El Instalador. (416). 70,106. (2005)
- (16) Domínguez M. , Colubret J. II Eficiencia energética en las instalaciones de frío y de climatización. El instalador. (418). 126,160. (2005)

- (17) Domínguez, M.; Pinillos J.M.; Arias J.M. Posibilidades de la " calorimetría diferencial analógica" (cda) en los estudios de cambio de fase líquido-sólido. XXIV Reunión bienal de la Real Sociedad Española de Física. Jaca. (1993.)
- (18) Domínguez M., Pinillos J.M, García C, Arias J.M., López N. Algunas propiedades termofísicas de "agua sólida", obtenidas con la técnica c.d.a. VII Encuentro del grupo especializado de termodinámica de las Reales sociedades españolas de física y química. Tarragona. Junio 1998. A3-1,3. (1998)
- (19) Barragán V.M, Arias J.M^a, Domínguez M, Garcia 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. (25,5) .552-537.(2002)
www.elsevier.com/locate/ijrefrig
- (20) Domínguez M., García C. Simulación y comprobación del tiempo de solidificación de un MCF (PCM) en un cilindro . Google Scholar (2008)a
[http://digital.csic.es/bitstream/10261/6232/1/COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL mcf vaso.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/6232/1/COMPROBACIÓN_EXPERIMENTAL_mcf_vaso.pdf)
- (21) Domínguez M., García C., Arias J. M^a y González F. Determinación del coeficiente global de transmisión de un tanque cilíndrico de MFC con tubos cilíndricos. Google Scholar (2008)b
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/6302/1/TANQUES%20SIMULACION%20ca5.pdf>
- (22) 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).
- (23) Domínguez M, García C., Arias J.M.,Gozalez F. Comportamiento térmico de cerramientos con materiales de cambio de fase. La investigación del grupo especializado de termodinámica de las reales sociedades españolas de física y de química 2006 ISBN 84-934738-3-9 M-51611/2006. PAG 11.17. (2006)
- (24) Domínguez M. Presente y futuro de la investigación en la edificación. Comportamiento térmico y posibilidades de empleo de los materiales de cambio de fase (PCM) (2006)
- (25) Domínguez M., García C..Los "super aislantes "de cambio de fase. Montajes e instalaciones. 406. Junio. 67,71 (2006)
- (26) Domínguez M., García C., Arias J.M^a, González F.. Termo-2006 R.S.E.F. Sep. El Escorial. Comportamiento térmico de cerramientos con materiales de cambio de fase. (2006)
- (27) Domínguez M. ; Arias J. M^a; Díaz R. ; Velasco J. Incorporación de acumuladores de cambio de fase en la construcción. Conarquitectura N° 5 . .65,72 (2002)
<http://209.85.135.104/search?q=cache:5RScyXbQpi4J:www.conarquitectura.com/ca%25205/Articulo%2520Tecnico%2520ca5.pdf+m.dominguez+instituto+del+frio&hl=es&gl=es&ct=clnk&cd=3>

- (28) Gómez L.E.; M. Domínguez . Proyecto de edificaciones escolares bioclimáticas en Colombia. El Instalador especial jul-agosto N° 338 Energías renovables II.64,72 (2002)
- (29) Neila F.J., Acha C, Higuera E. y Bedoya C. Los Materiales de Cambio de Fase (mfc) empleados para la acumulación de energía en la arquitectura. Su aplicación en el prototipo Magic Box Materiales de Construcción . Prueba de imprenta online (2008)
- (30) Domínguez M. Los PCM en la climatización y en la construcción . El instalador. (430) . 24,31. (2006).
- (31) Domínguez M., Colubret J., Tarín E. , Manzaneque J. Comprobación del funcionamiento de una instalación de climatización con acumuladores de cambio de fase. Montajes e instalaciones. (403). 82,85 (2006)
- (32) 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)
- (33) 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)
- (34) Domínguez M., Colubret J., Soto A. Nuevo sistema de climatización evaporativo y acumuladores con cambio de fase para nodos de comunicación. Montajes e Instalaciones (358). 64,68 (2002)
- (35) Domínguez M., Colubret J. Nuevo sistema de climatización empleando el enfriamiento evaporativo y los acumuladores de cambio de fase. Montajes e Instalaciones. (365). 53,56 (2002)
- (36) Domínguez M., García C. Transmisión de calor y de masa en régimen variable en los muros. XXXI Bienal de la R.S.E.F. Granada (2007)
- (37) Domínguez M. , García C., Viti A. Los microencapsulados en las instalaciones de climatización. El Instalador. (452) 12,30 (2008)