EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CAMPO DEL FRÍO.

M. Domínguez; C. García; J.Mª Arias

Instituto del Frío. CSIC. dominguez@if.csic.es

http://www.grupodominguezinstitutodelfrio.es/

Resumen:

Se analizan los consumos energéticos más importantes que se producen en el campo del frío, se discuten los factores que afectan en dicho campo a la eficiencia de energía y las principales medidas a realizar para aumentar la eficiencia energética. Se presta principal atención: al aislamiento térmico, a los factores de forma de los almacenes frigoríficos y a las edificaciones, a las horas del día de funcionamiento de las máquinas frigoríficas, a la capacidad de estas, y a la inercia térmica de las instalaciones y de las construcciones.

Se presta también gran atención, a instalaciones singulares, como: casetas de telefonía, naves industriales, polideportivos, así como, al frio gratuito o "free cooling", al empleo de los acumuladores de calor y a los sistemas de enfriamiento evaporativo indirectos.

Figura 1 Diversos PCM color: verde 20ºC, naranja 10ºC, morado 30ºC.

1.- INTRODUCCIÓN

El tema del cambio climático y la última crisis energética, han llevado a la necesidad de aumentar la eficiencia energética en todos los campos y sobre todo, en los más consumidores de energía e indirectamente más contaminantes. Es sin duda, el campo de la calefacción y de la climatización, junto al del frío o conservación de alimentos, uno de los de mayor consumo, por lo que se considera conveniente realizar un estudio de cómo puede mejorarse su eficiencia energética. El objetivo pretendido es contribuir al aumento de la eficiencia energética en el campo del frío, incluido la climatización y la calefacción.

En muchos trabajos se puede ver las recomendaciones realizadas para aumentar la eficiencia energética, tales como: [1] al [12]. Muchos más se han realizado para otras actividades industriales y en particular, las industrias consumidoras de grandes energías térmicas. A partir de la última elevación del precio del petróleo y después de los protocolos internacionales, los países se han preocupado cada vez más por estos temas y se están tomando importantes medidas, apareciendo empresas dedicadas al estudio del aumento de la eficiencia, al empleo de las energías renovables y a la búsqueda del deseado desarrollo sostenible.

Un sistema empleado para mejorar la eficiencia es, el remodelar las instalaciones, mejorando sus eficiencias energéticas, otro es hacer nuevas instalaciones con criterios de amortización en el tiempo, en lugar de que fuesen inicialmente más rentables, que ha sido el más empleado.

Se está viendo que las ayudas estatales para potenciar las energías renovables menos contaminantes, está llevando a sobre costos, que algunos países no pueden abordar. Otros países con mano de obra más barata, no emplean masivamente estas fuentes de energía, caso de China actualmente y de la India o Brasil en las próximas décadas.

Los países más desarrollados sólo podrán competir con mejoras tecnológicas y entre ellas es, sin duda, la mejor, el aumento de la eficiencia energética.

2.- PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGETICA TÉRMICA.

Se considera fundamental el **aislamiento térmico,** en particular en todas las aplicaciones del frío, en la que hay una diferencia muy grande de temperatura y entre ellas, las de grandes superficies de intercambio térmico y mucho tiempo de funcionamiento, como son los almacenes frigoríficos. El establecer correctamente el espesor y el material adecuado del aislante, es muy importante. Los criterios empleados pueden ser de tres tipos: **técnico** para que sea correcto el funcionamiento, **normativo** o de obligado cumplimiento nacional o local y **económico**, este último suele ser más exigente que los anteriores y salvo algunos proyectos bien realizados, es poco usado.

Se debe distinguir entre colocar un aislante y en **aislar,** esta operación entraña ejecutar correctamente la colocación del material aislante y tomar las medidas adecuadas, para que en el tiempo las propiedades aislantes iniciales del material se conserven. Las nuevas normas sobre los materiales aislantes están introduciendo correcciones del coeficiente de conductividad en la edificación, debidas a la colocación o al envejecimiento natural de algunos materiales. En el campo del frio sobre todo en La conservación de productos congelados, como se juntan e interaccionan los fenómenos de transmisión de calor con los de masa o de vapor de agua, se complican mucho más las ejecuciones del aislamiento.

En el caso de la **construcción** en general, el régimen de transmisión de calor? se separa del régimen estacionario, mucho más sencillo que el real, que es variable, en el cual tiene gran importancia la **capacidad térmica** de los materiales de construcción y la **frecuencia** predominante de la onda térmica. Las ondas térmicas anuales penetran con gran facilidad y se retardan algunos días, las diarias suelen entrar peor y retardarse entre 6 a 9 horas. Las **décadas** o conjuntos de días cálidos o fríos seguidos, es importante tenerlas en cuenta, en los estudios serios de entradas de calor en las edificaciones. En general los cerramientos, en el que el **producto de la resistencia térmica por su capacidad** sea grande, son los mejores en condiciones reales (régimen periódico), por tanto serán más eficientes energéticamente.

En la figura 2 se ha representado la variación de la resistencia térmica prevista en paneles de materiales de cambio de fase microencapsulado con un vacío medio, en función de su espesor y del periodo de la onda térmica. Puede verse que aumenta muchísimo cuando crece la frecuencia. Hay un interesante campo de investigación por desarrollar en la construcción, pudiendo mejorarse grandemente la eficiencia energética

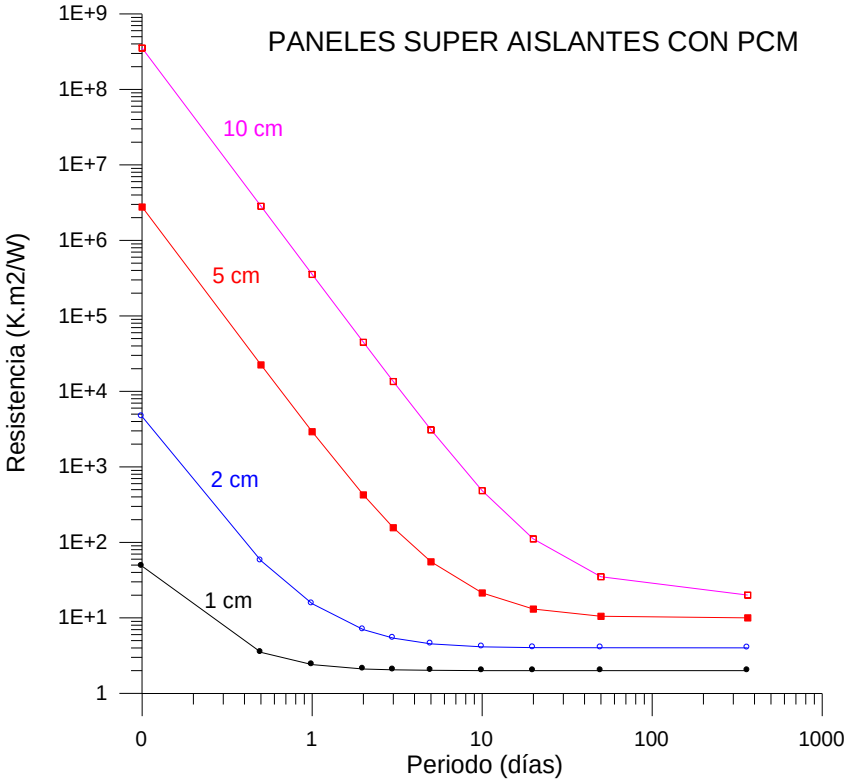

Figura 2 Variación de la resistencia térmica en paneles "súper aislantes", con medio vacío y PCM micro encapsulado, en función del periodo y del espesor.

En **máquinas de producción de frío** o en bombas de calor, la eficiencia energética de las mismas va a depender de: las **diferencias de temperaturas entre los dos focos térmicos,** del tamaño, del tipo de maquinaria, del sistema de regulación de capacidad y o de los fluidos refrigerantes empleados. Basta comparar catálogos o programas de cálculo de diferentes fabricantes de maquinaria, para ver las diferencias.

En el caso de instalaciones de climatización más que en las de frio propiamente dichas, influye la temperatura de condensación del fluido refrigerante, que puede variar mucho a lo largo del día y sobre todo del año. **El COP estacional**, es pues muy importante en los estudios de eficiencia térmica. El consumo eléctrico puede variar para unas mismas producciones de frio entre un COP de 2 y 6 de promedio en un año, en función de la elección del tipo de las máquinas, de su potencia, el número de ellas y del sistema de regulación de capacidad elegido. El sistema de condensación por aire o por agua tiene gran importancia, pues **por cada grado que se reduzca la temperatura de condensación se aumenta la eficiencia del orden de un 3 %.** La condensación por aire suele ser superior a 10 ºC con respecto a la de agua. Las medidas al respecto que en el caso de España recoge el RITE, tienden a aumentar la superficie de intercambio en el

caso de la condensación por aire, para contrarrestarlo, no se empleen las torres de refrigeración, que el riesgo de la Legionela ha introducido.

Las temperaturas del fluido secundario y del fluido refrigerante, tienen menor importancia, salvo que se empleen temperaturas muy bajas con mezclas glicoladas, en cuyo caso se pierden rendimientos del orden del 3 % por ºC, además de aparecer los problemas de subenfriamiento. Es importante el consumo de electricidad empleado en las bombas de los fluidos secundarios, tanto en frío con los sistemas inundados, como en climatización. No conviene sobrepasar velocidades de fluido secundarios de 1 m/s.

El **consumo de los ventiladores,** que suelen emplearse en la producción de frío, que son de tipo axial y bajo consumo, como en climatización que predominan los centrífugos de menor eficiencia energética, es muy importante, sobrepasando del 10 al 20 % de la energía térmica movida, el calor en ellos producido es muy importante, y hay que hacerles trabajar en la zona de óptimo rendimiento, es decir de mayor eficacia. El diseño de conductos de aire desde el punto de vista de eficiencia energética es pues muy importante, en las instalaciones de climatización.

El **factor de forma,** en los almacenes, en las naves, y en los edificios en general, es importantísimo. Es el cociente entre el área exterior y el volumen. Los elementos de mayor volumen y mayor simetría central, son los mejores. En cámaras frigoríficas pequeñas, el factor de forma suele valer 2 y en los grandes almacenes frigoríficos puede disminuirse diez veces, por lo tanto son mucho más eficientes.

La **acumulación de calor**, en general tiene gran importancia, pues permite arrancar las instalaciones por la noche, cuando las temperaturas de condensación son más bajas (siendo posible de paso, beneficiarse de las tarifas eléctricas más económicas), en el caso de emplear agua (líquida) se requiere grandes volúmenes, en el caso de emplear el hielo, hay que bajar mucho la temperatura de evaporación y utilizar mezclas glicoladas y bombas más potentes (de mayor consumo eléctrico). Los acumuladores de cambio de fase (PCM) a temperaturas positivas no tienen estos inconvenientes.[14] al [18]. Los acumuladores de cambio de fase microencapsulados y los "clatratos", pueden ser la solución en un futuro, pues permiten acumular mucho frio y poderlo devolver rápidamente en las puntas cuando se requiera.

En la figura 3 se ha representado la curva de carga de una instalación de climatización y se le ha incorporado el sistema de acumulación empleando un PCM en el cierre del circuito primario. Se han representado el funcionamiento normal sin acumulación y con el acumulador en dos casos con funcionamiento de descarga diurna con las máquinas o sin ellas. En la figura 4 se han indicado una vista de los tanques cilíndricos de 4 m^3 empleados en una gran instalación de trigeneración empleando la acumulación de frio con PCM de 6 ºC.

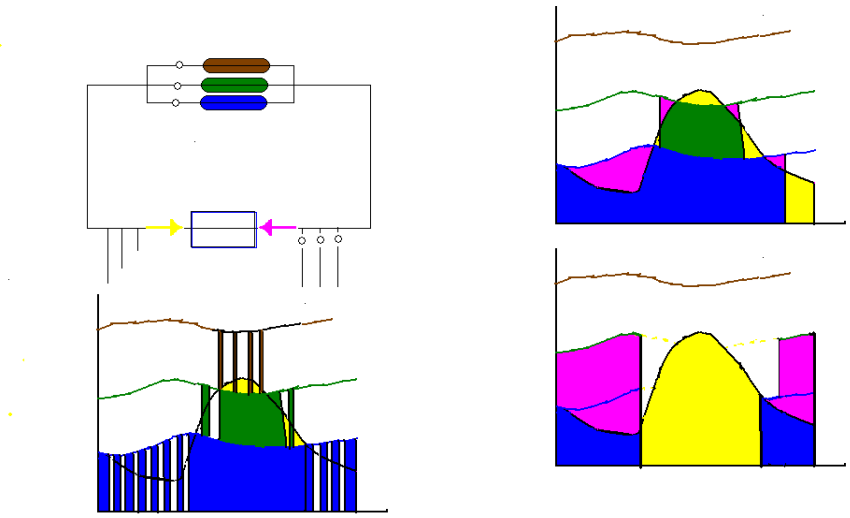

Figura 3. Esquema de principio de una instalación de climatización, sin acumulación y con ella, en este caso sin o con parada diurna.

Figura 4. Vista parcial de los tanque de acumulación con PCM de 6ºC

Las **aplicaciones del frio** son muchas y en cada una se presentan problemas relacionados con una eficiencia energética diferente. Algunos casos han sido tratados en [19].

El aprovechamiento del **frío gratuito** o "free cooling" es un importantísimo factor de ahorro energético, que junto al **enfriamiento evaporativo** directo o indirecto, pueden permitir la eliminación de los sistemas de producción de frio por compresión en múltiples aplicaciones como: casetas de telefonía, naves industriales, polideportivos, reduciendo hasta 10 veces el consumo eléctrico. En las figura 5 y 6 se pueden ver los esquemas de principio de dos tipos de instalaciones.

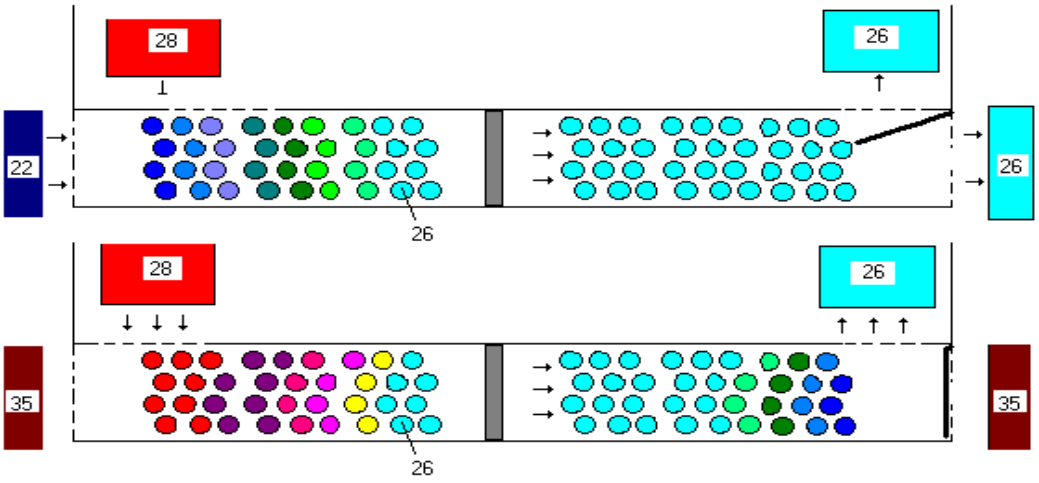

Figura 5. Esquema de principio de funcionamiento de una caseta de telefonía con PCM de 26ºC.

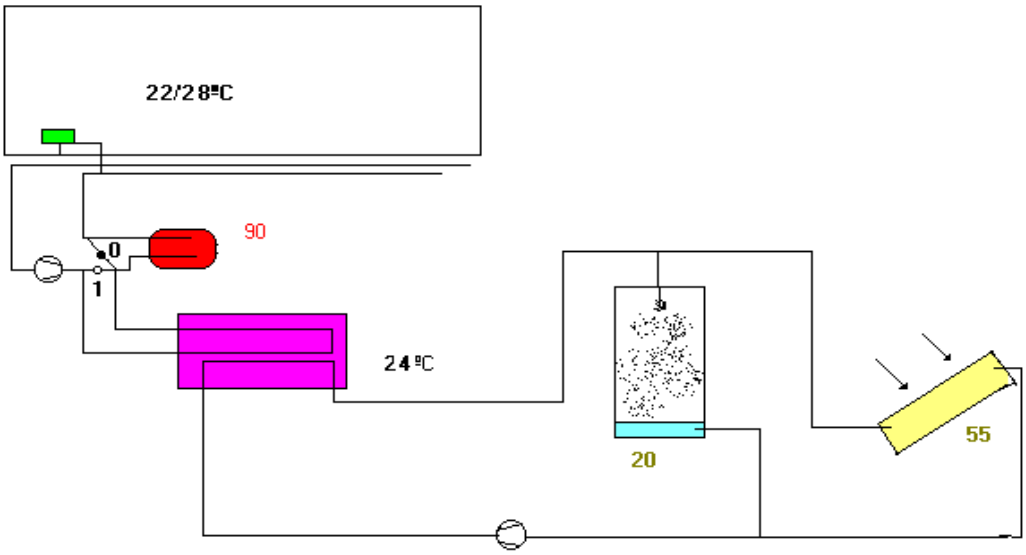

Figura 6. Esquema de principio del funcionamiento, de la climatización de un Polideportivo, con energías renovables (solar y enfriamiento evaporativo) y con PCM de 24ºC.

En general, las instalaciones que recuperen energía térmica o donde se producen o se dispone de **fuentes de calor o de frio marginales, c**omo pueden ser el propio frio del agua de red en: lavanderías, mataderos, el frio o calor geotérmico o de pozos, **junto a la acumulación de calor en PCM** a temperaturas adecuadas constituyen una importante mejora de la eficiencia energética. Amplia información sobre los PCM aplicados en la construcción o en la climatización, que son sin duda las principales aplicaciones posibles de ahorro energético, pueden verse en los trabajos [20] al [33].

3.- BASES DE UN PROYECTO DE EFICIENCIA ENERGETICA

Ante un proyecto a realizar de frio o de climatización, lo primero que se tiene que hacer es pensar en aumentar la eficiencia energética. El técnico tiene que hacerse esta pregunta básica en cada caso. Si quiere encontrar una respuesta adecuada, tiene que introducir desde el principio un factor muy importante, **el costo**, este puede ser **inicial,** a la ejecución de la instalación, o en **su vida media,** incluidos los gastos previstos energéticos. En el caso de instalaciones existentes que se quieren ampliar o mejorar su eficiencia, aparecen otros factores complejos, tales como: espacios, obras a realizar, tiempos de ejecución y posibles interferencias. Se debe tener muy presente que solamente las soluciones económicas son las que se generalizan y por tanto, llevan a importantes beneficios.

Es fácil **aumentar la eficiencia energética** entre un 10 a un 20 % a costos razonables , siendo retornables las inversiones en un par de años, pero al aumentar ese porcentaje , los proyectos requieren un mayor cuidado y por tanto dedicación y esfuerzo, que directa o indirectamente repercutirá en los costos del proyecto . Sólo las soluciones muy repetitivas permitirán reducir los costos de estudio o proyecto.

Otro tipo de dificultades que se puede encontrar el técnico ante un proyecto, son los **factores futuribles,** como el costo de la energía, de gran importancia, los tiempos de funcionamiento y las posibles ampliaciones o reducciones a realizar, tal como, va actualmente la economía, estas últimas también pueden producirse y el costo del dinero, sobre todo esto en los países con gran inflación. En [34] puede verse un **estudio económico** similar a alguno de estos, que puede servir de base de referencia.

4. DISCUSIÓN GENERAL

El **precio de la energía** es muy complicado de saber y ha sido un elemento muy importante en el desarrollo económico. Hay países de economía liberal que no lo han intervenido nunca y se ha movido de acuerdo con su verdadero valor, otros muchos países, han visto que su control les era muy útil y que podría ser la energía una fuente

de recaudación muy importante y fácil de adaptarse a las necesidades coyunturales. Cuando aparecen problemas unidos a la energía como los de tipo político, de contaminación, medio ambientales, sociales, además de los económicos, se producen problemas complejos y las soluciones no son tan sencillas. La liberación del precio de la energía y la firma de acuerdos internacionales están modificando mucho los condicionantes de precios y tipos de fuentes térmicas. [35]

El **vector energético** por excelencia es la electricidad y hasta que no se desarrolle otro como puede ser el hidrógeno, los cambios energéticos no van a sufrir grandes variaciones, siendo lo más importante a realizar el mejorar las eficiencias energéticas de las instalaciones, reduciendo los consumos y evitando el agotamiento de los combustibles fósiles. Las **energías renovables** presentan problemas inherentes por su posible intermitencia o falta de poderlas emplear cuando se las necesitan. El empleo del bombeo en las centrales hidroeléctricas, la política de tarifación horaria, la diversificación de medios de producción, la distribución regional que permiten las centrales de ciclo combinado, de mediana y baja potencia y sobre todo, el cambio de mentalización de que se debe reducir el consumo y tener presente en los costos todos los factores que intervienen, desde, el de las materias primas, la mano de obra, la contaminación y el ciclo de vida de todos los componentes.

La **inercia térmica** de los edificios, de los productos en los almacenes frigoríficos, las de los fluidos secundarios, la del terreno, o la de las instalaciones incorporadas a base de calor especifico o latente, como pueden ser el empleo de los materiales de cambio de fase (PCM), pueden ser interesantes y contribuir de forma importante al aumento de la eficiencia.

En general el **aislamiento térmico**, el aprovechamiento del calor o del frío del **aire ambiente,** tanto de forma sensible o latente, empleando la evaporación junto al aprovechamiento de la inercia térmica y el diseño más racional de las instalaciones de producción de energía y de su sistemas de regulación , serán las más interesantes.

Cualquier cambio importante de explotación o de planteamiento técnico necesita, motivación, cambios importantes de planteamiento y de tiempo. La educación y la selección natural, son sin duda, las formas más reales y el no perder, en cada momento, la perspectiva económica, sobre todo, en estos momentos que predomina en el mundo un sistema socioeconómico de tipo liberal.

La **biomasa,** sobre todo, la que disponemos como subproducto del campo o de la actividades humanas en los centros Urbanos, presenta problemas de contaminación, que resueltos puede resolver y contribuir grandemente. La intermitencia de la **energía eólica** puede resolverse aprovechando la inercia de toda la red energética o conjuntamente con nuevas instalaciones hidráulicas de bombeo. La **trigeneración** con producción de: electricidad, calor y frio, está comenzando, puede generalizarse, con mini y micro generación. Indudablemente se requiere: **I+D+i, inversión, esfuerzo y tiempo**. [36] y [37]. En plena crisis se ven los problemas y se estudian soluciones, pero es, entre ellas, cuando hay tiempo, y es, cuando se debe completar los esfuerzos. Afortunadamente la

información se hace cada vez más rápidamente y se generalizan los resultados antes y los factores de escala en los desarrollos no son tan importantes.

5.- CONCLUSIONES

El aumento de la eficiencia energética, es sin duda, el camino más importante que se puede realizar en estos momentos , para mejorar la economía , el medio ambiente y permitir un crecimiento sostenible de la humanidad, sin caer en depresiones, revoluciones o medidas drásticas sociológicas, como las sufridas en el último siglo.

Entre las mejoras de eficiencia energéticas que se pueden hacer a corto plazo, se consideran como más interesantes: el aislamiento térmico, el aprovechamiento de la inercia térmica, el uso de los materiales de cambio de fase, tanto en la construcción, como en la climatización y el aprovechamiento del frio gratis que puede aportar sin límites el aire ambiente, (tanto sensible, como latente).

En tiempos entre crisis energéticas y aprovechándose de las enseñanzas últimas sufridas en ellas, es cuando debemos profundizar en desarrollos e innovaciones encaminadas a mejorar las eficiencias energéticas.

6.- REFERENCIAS

1] Domínguez, M.; Fuster, C.; De Elvira, C. Cálculo del espesor más económico en el aislamiento de almacenes frigoríficos. Frio, calor, aire acondicionado, 5, 33, 45,1972.

2] Domínguez, M. Conductividad térmica de materiales aislantes: Frio, calor, aire acondicionado, 6, 40, 41,1972.

3] Domínguez, M.; Fuster, C.; De Elvira, C. Aislamiento en el campo del frio, Frio, calor, aire acondicionado, 13, 57,15,1973.

4] Domínguez, M. Aislamiento térmico de almacenes frigoríficos hortofrutícolas Refrigeración-frial, 7,15,20,1988

5] Domínguez M. ; García C.; González F. ; Arias J.Mª . Importancia de la capacidad térmica en
la resistencia al paso del calor en los cerramientos. Conarquitectura nº 9. oct.2003.65.72.

http://www.conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/09.pdf

6] Domínguez M. El aislamiento térmico y la eficiência energética . Montajes e instalaciones nº 435. Enero 2009. 102, 108

7] Domínguez M..; García J, C; Arias M;. Estudio térmico en tubos enterrados circulando aire. Montajes e instalaciones nº 426 abril 2008. 74,78.

8] Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables.

http://digital.csic.es/handle/10261/13451?idioma=es

9] Factores importantes en el comportamiento térmico de cerramientos. Ventajas de la incorporación de los materiales de cambio de fase

10] Domínguez, M.; González, F; López, N: El instalador: Climatización, refrigeración y frio industrial. Materiales aislantes en almacenes de Frío 1981. Volumen: 11.

11] Domínguez, M.; García de Vinuesa, s.; Carrasco, J.A. El instalador: Climatización, Refrigeración y frio industrial. Ahorro de energía en los almacenes frigoríficos españoles. Pags: 53, 60 1981. Volumen: 11.

12] Importancia de la capacidad térmica en la resistencia al paso del calor en los cerramientos.

http://www.conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/09.pdf

13] Domínguez, M.; Carrasco, J.A.; García de Vinuesa, S. El instalador: el cerramiento, la regulación y el aislamiento. Evolución y perspectivas del aislamiento en España. 1982.

14] Domínguez M.,, Culubret 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

15] Domínguez M., Pinillos J.M, García C., Gutiérrez P. Patente. Sistema pasivo de climatización. CSIC. España, 18 mar 1999 patente de invención. nº 9900558

16] Domínguez, M.; Carrasco, J.A..; Díaz, J.M Acumulador-captador térmico. CSIC. 533462 Invención. España 1984

http://digital.csic.es/handle/10261/7954

17] Domínguez, M. "Los PCM en la climatización y en la construcción". El Instalador nº 430; 24,30, mayo (2006)

18] Domínguez, M. J Culubret. "Eficiencia energética en las instalaciones de frío y climatización". El Instalador; nº 416.70, 106, Feb. (2005) y nº 418.126, 160

19] Aplicaciones del frío

http://digital.csic.es/handle/10261/7954

20] Los materiales de cambio de fase (PCM) en la construcción

http://digital.csic.es/handle/10261/7361

21] Los acumuladores de cambio de fase en la construcción sostenible

http://digital.csic.es/handle/10261/7549

22] Incorporación de acumuladores de cambio de fase en la construcción
http://www.conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/05.pdf

23] Aprovechamiento de los Materiales de Cambio de Fase (PCM) en la Climatización

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642009000400012&script=sci_arttext

24] La acumulación de frío con materiales de cambio de fase. Microencapsulación

http://digital.csic.es/handle/10261/12566

25] 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)
http://digital.csic.es/handle/10261/14242

26] La acumulación de frío con materiales de cambio de fase. Microencapsulación.

http://www.ifema.es/ferias/genera/ponencias09/10/Manuel_Dominguez.pdf

27] Determinación del coeficiente global de transmisión de un tanque cilíndrico de MCF con tubos cilíndricos

http://digital.csic.es/handle/10261/6302

28] M Domínguez.; J. Culubret. Nuevo sistema de climatización empleando el enfriamiento evaporativo y los acumuladores de cambio de fase. Montajes e Instalaciones n º 365. Oct. 2002. 53,57.

29] Algunas posibilidades de aplicación de los acumuladores de cambio de fase en las energías renovables.

http://digital.csic.es/handle/10261/13451

30] Domínguez M. ; Arias J. Mª ; García C. Aprovechamiento de las torres de climatización para el enfriamiento del aire de ventilación . Montajes e instalaciones nº 387. oct. 2004 50, 55.

31] Diversas aplicaciones de los intercambiadores acumuladores de cambio de fase

http://digital.csic.es/handle/10261/13820

32] M. Domínguez y García, C. Cytef2009, Castellón Julio 2009. La acumulación de calor con materiales de cambio de fase en la cogeneración

33] El enfriamiento gratuito con los acumuladores de cambio de fase (pcm)

https://digital.csic.es/handle/10261/19164

34]. Molina L. A; Molina G.. Manual de la Eficiencia Energética térmica en la Industria CADEM BILBAO 1993 Ente Vasco de la Energía. ISBN 84.8129.022.X

35] Domínguez M. Ahorro de energía en el campo del frío. Anuario de la energía 2003. 64, 67

36] Domínguez M..; García J, C; Arias M. Edificación y materiales de cambio de fase. Conceptos y fundamentos. Anales de Física (pendiente de publicación)

37] Domínguez M., García C., Arias José Mª. 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

Figura 7. Instituto del Frío. Ciudad Universitaria. Madrid. España.