

PARADAS DIURNAS EN CAMARAS FRIGORIFICAS EMPLEANDO LOS MATERIALES DE CAMBIO DE FASE

Manuel Domínguez Alonso; Carmen García Rodríguez; José María Arias Carrillo

Dominguez183@gmail.com

Resumen

En las grandes cámaras frigoríficas de productos congelados se suelen parar por el día los sistemas de producción de frío, para ahorrar y trabajar en ellas más cómodamente, aprovechando la inercia térmica del producto almacenado. Se ha pensado que empleando los materiales de cambio de fase (PCM), se puede ampliar esta práctica a todo tipo de cámaras y mejorar la conservación de los productos congelados. Se describe y discute la nueva tecnología y se destacan sus posibilidades de empleo, estudiando los tiempos de retorno, que pueden ser francamente cortos.

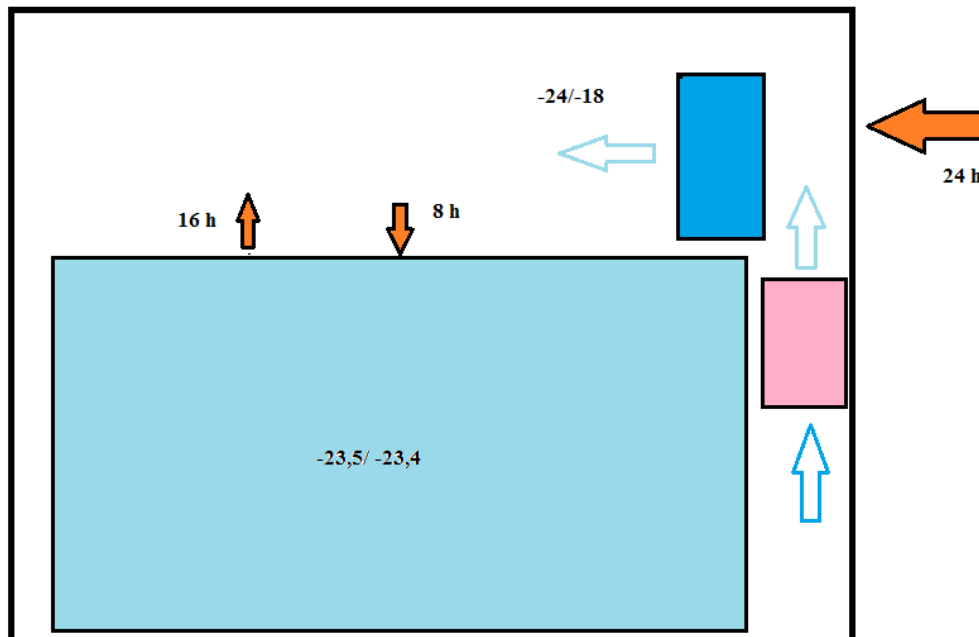


Figura 1

Introducción

El aumento de los costes de la electricidad en los últimos tiempos está haciendo que se tomen todas las medidas oportunas para reducirlos, las paradas en las horas punta y en particular las diurnas es sin duda lo más inmediato en las cámaras de congelados, aprovechando la propia inercia del frío acumulado en la carga. Estas paradas en las horas de más trasiego en las cámaras facilitan su trabajo, pero produce un aumento en la temperatura del aire interior y una estratificación de su temperatura, poniendo en peligro la carga de las zonas superiores. La puesta en funcionamiento de los sistemas de ventilación con cierta periodicidad reduce el riesgo y mejoran la calidad de dichos productos.

En grandes cámaras, en donde los factores de forma (superficie/volumen) son pequeños, las entradas de calor por unidad de volumen se reducen y pueden pararse mucho tiempo sin problemas importantes (1), en las medianas y sobre todo en las pequeñas esto no es posible. Se ha pensado que introduciendo, materiales de cambio de fase en dichos casos, se podría evitar que la temperatura interior subiera mucho en las paradas y aprovechar las ventajas económicas de las tarifas horarias diferenciales de las compañías eléctricas.

Los materiales de cambio de fase presentan la particularidad de requerir mucho calor para producir dicho cambio durante el cual permanece constante la temperatura. El cambio de sólido a líquido es el más adecuado para su empleo en las cámaras de congelación. Entre los materiales con más posibilidades se encuentran las sales eutécticas. Presentan ciertos problemas que requieren incorporarles productos que eviten que con los ciclos decanten las sales y minimizar el subenfriamiento y que ante cualquier rotura de las placas ponga en peligro los productos perecederos.

Entre los pocos antecedentes que conocemos de emplear los PCM se encuentra la conferencia (2).

El objeto pretendido de este artículo es llamar la atención sobre las ventajas que presentan los materiales de cambio de fase en las paradas diurnas de las cámaras de congelación.

Se indicaran y calcularan los acumuladores de cambio de fase que serian necesarios para parar 8 horas, en cámaras de diversos tamaños, teniendo en cuenta las nuevas tarifas horarias de la electricidad en España, así como los precios de los

acumuladores y las producciones de frío por unidad de potencia eléctrica, para los principales compresores de tornillo. Se tratarán los espesores de las placas de los acumuladores y las temperaturas de las cámaras durante las paradas, procurando que no suban de -17°C , intentando que los tiempos de amortización no alcancen el año y medio. Por último se indicaran los lugares de colocación de los acumuladores y las separaciones más adecuadas entre placas, figura 1, en ella se ha representado el acumulador en color rosa.

Desarrollo del tema

Analicemos por separado algunos temas que influyen en el problema:

Relación entre la producción de frío y el consumo eléctrico

En la cadena del frío se emplean para los productos congelados temperaturas entre -20 y -24°C , las inferiores para los platos precocinados y los helados tendiéndose a bajar temperaturas, ello supone un sobre costo del orden del 3 al 4% por cada $^{\circ}\text{C}$ que se reduzca. Los fluidos refrigerantes también influyen en el rendimiento y debido a los problemas de la capa de ozono, se ha vuelto al amoniaco en las grandes cámaras, pues resuelve ambos temas, el energético, que influye en el efecto invernadero y el de contaminación medio ambiental. Los fluidos clorados y fluorados, más activos con el deterioro de la capa de ozono, han sido prohibidos y se han sustituidos por otros menos activos, con los cuales tienen menos rendimientos las maquinas de producción de frío.

En general en los almacenes frigoríficos se disponen de cámaras de refrigeración y de congelación, yéndose en estas a doble salto, siendo necesario tener en cuenta los consumos de ambos compresores en la producción de frío. El rendimiento de las máquinas de producción de frío, varían mucho con su tipo y con su tamaño, y sobre todo, con las temperaturas de condensación y evaporación. El pretender calcular de una forma general la relación, producción de frío por unidad de potencia eléctrica, es un tema complejo pero que tiene gran importancia en el planteamiento pretendido.

Dado que los compresores más empleados en la actualidad en las cámaras medianas y grandes de congelados son los de tornillo y que las temperaturas de condensación suelen ser de 35°C y las de evaporación de -30°C , se han recogido los valores de potencia de frío y de consumo de algunos fabricantes para diversos modelos, sacando su valor medio, reduciéndolo, en un 15%, por el consumo de bombas y ventiladores del sistema de condensación, se ha fijado el valor en **1090 (Kcal/h)/Kw**. En una instalación con baja presión o con evaporadores inundados, el valor será menor, por las correspondientes bombas de alto consumo que emplean.

Ahorro por empleo de paradas diurnas

Las compañías eléctricas de acuerdo con el Estado Español, han potenciado las tarifas horarias, con objeto de tender al deseado equilibrio en la producción, sobre todo en las centrales nucleares y en las grandes térmicas. El aprovechamiento de las energías renovables en particular la eólica ha complicado más el tema. La energía hidráulica en España se está quedando, para la regulación de la producción en función de la demanda, bombeando aguas arriba en cuando baja el consumo. La variación del precio de la electricidad en origen de forma continua, hace que sea difícil establecer los precios al consumidor final, éste puede optar por un único precio o por variarlo a lo largo del año y del día, hasta se tendera a la contratación pactada entre la empresa y la compañía suministradora. Es posible que algunos grandes consumidores tiendan a la cogeneración y al consumo de biomasa, interesándoseles vender por el día a las horas de más demanda y por tanto de mayor precio la electricidad y parar sus instalaciones de producción de frío en dichas horas.

Dado que un componente importante en el costo de la energía, depende del combustible, del tipo de instalación, y de los impuestos, y como todo esto depende de las políticas locales o de las Comunitarias, es difícil de predecirlo en el futuro. Con objeto de partir de unos valores, se han tomado las últimas tarifas, las del mes de junio del 2012 (3), que establecen los valores de

- Valor diurno **0.172518 €/Kw**
- Valor nocturno **0.060780 €/Kw**

El ahorro diario seria la diferencia de ambos valores multiplicado por el número de horas y por el valor de la potencia de los sistemas de producción de frío.

A partir de la liberación de la energía, en cada instalación se debe hacer el estudio de costos antes de su contratación. Teniendo en cuenta las tarifas P6 que son las más económicas y contratando en alta (5), se ha visto que de promedio anual se tiene una deducción trabajando 12 horas, desde las 20 a las 8, un ahorro del 41% en el factor de potencia. Las horas de bajo costo son de 0 a 8 de la mañana, el mes de agosto, sábados, domingos, y fiestas nacionales.

En la figura 2 se ha recogido el precio de la electricidad en tarifa trihoraria.

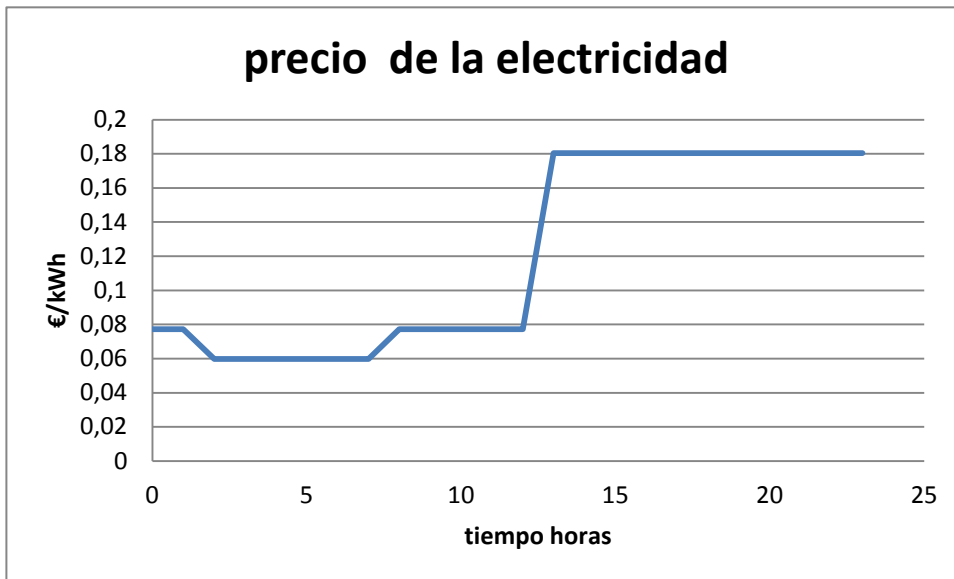


Figura 2

Cálculo de la temperatura media de la cámara en una parada

En una primera aproximación y tomada por defecto, es decir, siempre será menor, se puede determinar la temperatura igualando el frío que sale de las placas de los acumuladores al calor que entra por paredes. El producto congelado tenderá a mantener la temperatura de la cámara, ese frío que se aporta al aire interior de la cámara en las paradas, deberá aportárselo al aire durante el funcionamiento restante de la instalación, conviene que sea pequeño, pues variaría la temperatura del producto, lo que influye en su calidad.

Se ha considerado en los cálculos realizados para este trabajo, que puede variar, de promedio 0.1 °C, la temperatura en la carga, teniéndose en cuenta para el cálculo de las necesidades de acumulador, pero no en el cálculo las temperaturas del aire de la cámara.

En función del área de transmisión de la cámara S , de su coeficiente global U , de la temperatura exterior T_e y del área de transmisión del acumulador S_p , de su coeficiente global U_p y de la temperatura de cambio de fase del acumulador T_a , se deduce que la temperatura de la cámara T_c , es igual a

$$T_c = (S \cdot U \cdot T_e - S_p \cdot U_p \cdot T_a) / (S \cdot U - S_p \cdot U_p)$$

Si el valor de la temperatura de la cámara es alto, se puede aumentar el número de placas para bajarlo.

El tiempo de amortización, teniendo en cuenta el precio de la placa del acumulador, sale de dividir, el precio del acumulador, por el producto del ahorro día y el número de días año de funcionamiento.

Casos prácticos

En la tabla 1 se han recogido los datos de varias cámaras y en la 2 los resultados obtenidos empleando una hoja de cálculo, para cámaras de congelados fijando las temperaturas, el tipo de aislante, su espesor y las dimensiones de las placas y su material de cambio de fase y su precio, valores de la tabla 3, donde se han recogido los cálculos para una cámara de capacidad aproximada de 10000 m³

Tabla 1

Volumen	largo	ancho	alto	Entradas de calor	potencia
m ³	m	m	m	Kcal/h	Kw
100	6	4	3,2	1902	3,14
500	10	7,2	7	5198	8,7
1000	15	10	7	8780	14,7
2000	20	14,5	7	14359	24,1
5000	36	20	7	30047	50,5
10000	50	30	7	55653	93,5

Tabla 2

Volumen	acumulador		temperatura	amortización
m ³	nº	kg	º C	años
100	62	200	-18,4	1,434
500	167	541	-18,4	1,411
1000	251	810	-18,1	1,250
2000	360	1162	-17,7	1,097
5000	625	2017	-17,1	0,911
10000	1213	3912	-17,3	0,952

En la figura 3, se ha indicado la variación del acumulador necesario en función al volumen de las cámaras, los valores son como puede verse muy bajos.



Figura 3

Los valores de la potencia que se han indicado, se han calculado suponiendo que los compresores funcionan 12 horas diarias. La temperatura de cambio de fase se ha considerado -21°C , en la figura 4 se ha representado la variación de la temperatura en su congelación.

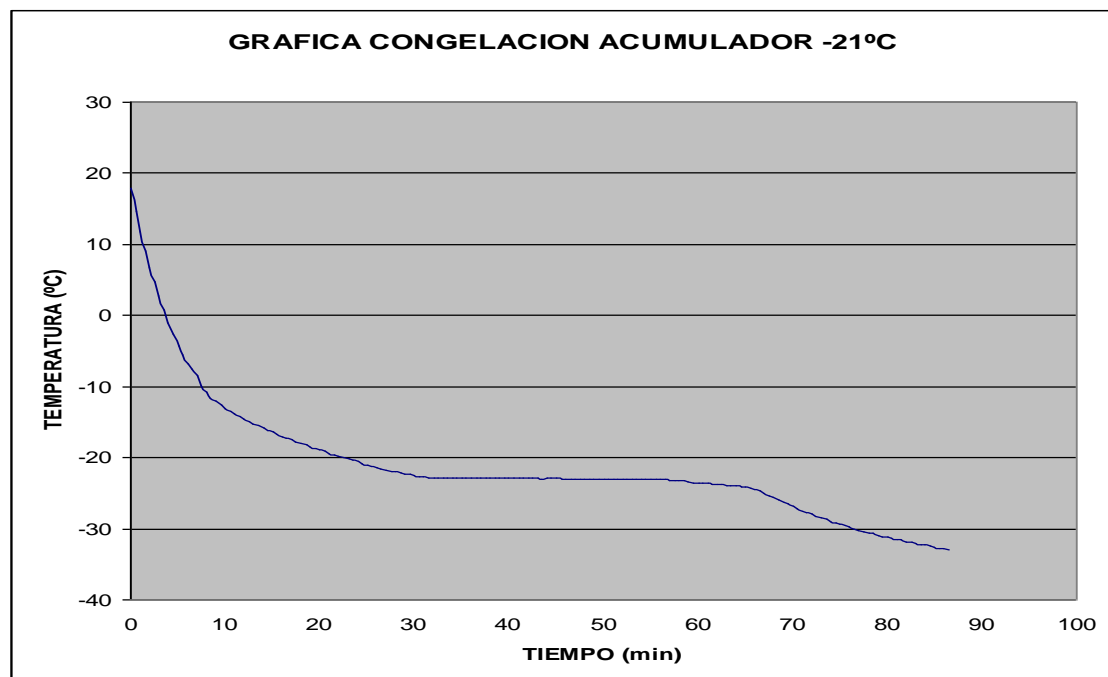


Figura 4

Tabla 3

CAMARA DE CONGELADOS CON ACUMULADORES - 8 JULIO 2012

DIMENSIONES		AISLANTE	
A	50 m	espesor	0,18 m
B	30 m	conductividad	0,028 Kcal/m.°C.h
C	7 m	coef. global	0,365 Kcal/m ² .°C.h
Volumen	10500 m ³	Entradas	55652,7 Kcal/h
área	4120 m ²	dif.temp	0,1 °C
TEMPERATURAS		Calor producto	283500 Kcal
exterior	15 °C	Tiempo de paro	8
interior	-22 °C	Tiempo de funcionamiento	h
CARGA		ACUMULADOR	-21 °C
densidad	300 kg/m ³	calor	161722 Kcal
calor específico	0,9 Kcal/kg°C	cal latente	62 Kcal/kg
Peso	3150000 Kg	PESO AC	2608,41 Kg
Capacidad térmica	2835000 Kcal/°C	placas	
		dimensiones	
		a	48 cm
		b	28 cm
		c	3 cm
		peso	3,2256 kg
		área	0,2688 m ²
		número	1212,99
		Coef. Global	20 Kcal/m ² .°C.h
		Precio	12 €/placa
			14555,9 €
		Tc	-17,3 °C
		peso ac	3912,62 kg
		volumen	7,82524 m ³
		PR.F	1191 kcal/h/kW (93,47)
		PR.PD	0,17252 €/Kw
		PR.PN	0,06078 €/Kw
		AHORRO	46,7336 Kw
			41,7753 €/día
		amortización	0,95461 años

En la figura 5 se puede ver la colocación prevista del acumulador, en la aspiración de los evaporadores de techo, se considera que apiladas las placas, tal como se indican en la figura 6, pueden emplearse en tarimas normalizadas y colocarse en estructuras sencillas de las usadas en las cámaras normales.

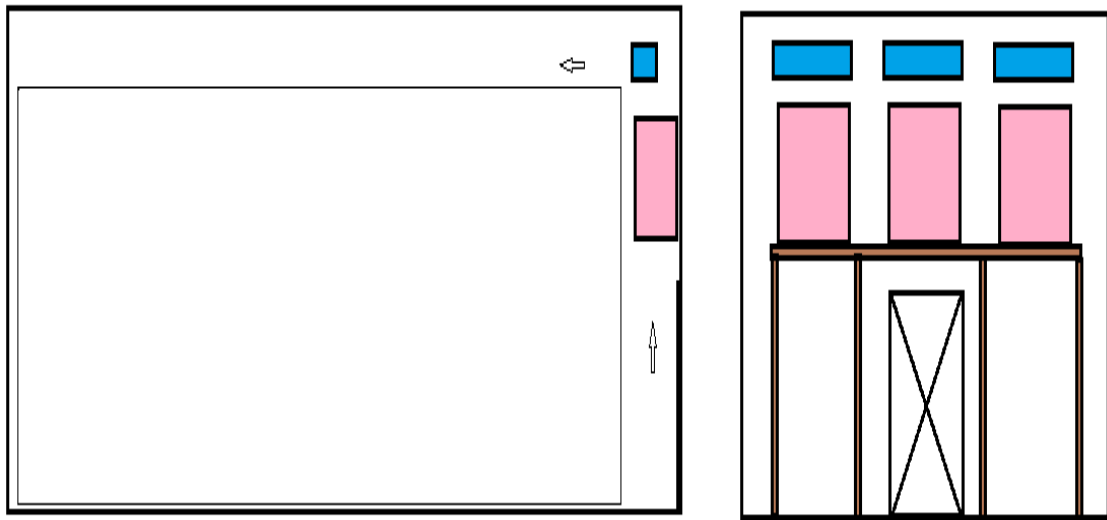


Figura 5

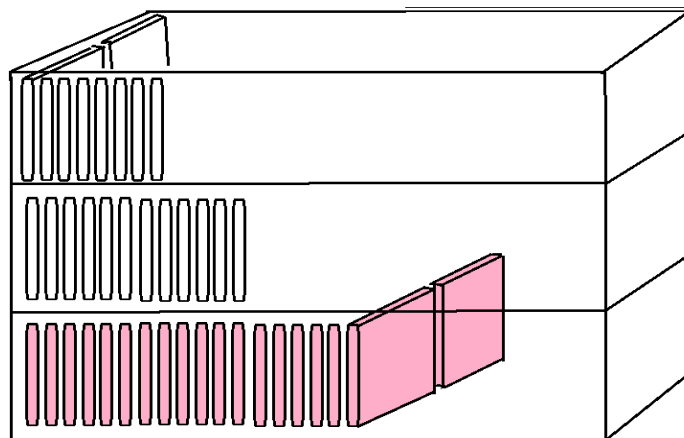


Figura 6

En la figura 7 se puede ver una de las placas indicadas, de dimensiones 480*280*30 mm de 3 kg de PCM y a -21°C la temperatura de cambio de fase. En algunas cámaras cuya temperatura no esté comprendida entre -22 a -24°C , este unos grados superior se puede emplear acumuladores de cambio de fase de -18°C , es conveniente que haya tanto a la carga como a la descargas un salto de al menos 3°C , con ellas se puede garantizar en lugar de -18°C , una temperatura en las paradas de -15°C . Menos para helados y algún tipo de platos precocinados es suficiente. (7)



Figura 7

Un caso estudiado empleando el cálculo de Comisión Nacional de la Energía (6), para la potencia máxima admitida de 50Kw, para la opción A con PCM, trabajando 12 h (8 valle y 4 llanas) y sin PCM trabajando 18 h, (4 valle, 10 llano y 4 punta), valores promedio regulada la cámara por termostato, no por tiempo. En este caso la potencia se reduce a 33 Kw, se tienen los valores recogidos en la tabla 4

Tabla 4

	A	B
Potencia (Kw)	50	33
Consumo Punta (kWh/año)	0	48.667
C. llano(kWh/año)	73.000	121.667
C. valle(kWh/año)	146.000	48.667
Consumo TOTAL(kWh/año)	219.000	219.000
Coste anual €	22.217	30.428

En este caso considerando que el acumulador recomendado al tamaño de la instalación es 1700 kg , su coste sería 6800 € que comparado con los beneficios 8210 € y teniendo en cuenta el IVA, conducen a una amortización de 0,684492 años y teniendo en cuenta las ventajas de la condensación por la noche (30%) se reduciría a 0,324124 años, es decir inferior a 4 meses.

Discusión

Se ha visto en la comercialización de productos refrigerados y en los congelados, que el eslabón más delicado de la cadena del frío es el transporte y que en el tramo desde el del centro de distribución a las tiendas de barrio, puede realizarse en camiones a temperatura ambiente conjuntamente con otros productos no perecederos, en contenedores aislados manteniendo la temperatura interior con acumuladores de cambio de fase como los indicados (4) , podrían ser los mismos y enfriarlos en las propias cámaras por la noche y en los fines de semana, por ello se considera que en vez de colocarlos en lugares fijos , es preferible colocarlos sobre tarimas y moverlos con los sistemas de uso normal en las cámaras. Por ello se ha pensado ponerlo encima de la puerta y/o debajo de los evaporadores, lugar donde el aire circula con gran velocidad, se podría colocar a la salida del aire del evaporador pero se dificultaría su retirada y se pondría en riesgo la buena recirculación del aire en las cámaras.

Los tiempos de amortización encontrados del orden de un año son pequeños y puede disminuirse por aumentar la eficiencia de las instalaciones al trabajar por la noche cuando la temperatura es mucho menor, por cada grado que se baje aumenta el rendimiento entre un 3 a un 4 % , y sobre todo, que al bajar la temperatura del agua por debajo de 37°C, en los sistemas evaporativos o torres de refrigeración, los riesgos de proliferación de la Legionela se reduce grandemente.

En grandes instalaciones se ha visto que puede reducirse con la acumulación de frío nocturno los costos, en más de un 40% de media anual, lo que puede ser un factor muy importante para su empleo mayoritario. Se ha pensado que la inercia térmica de la carga no sea muy grande, solo que se enfríe o caliente como máximo de 0,1 o 0,2° C, para que no repercuta en la calidad del producto. Se puede disminuir el acumulador necesario, regulando la entrada de los ventiladores por el día cuando no funcionen los evaporadores, actuando sobre las temperaturas de regulación, lo importante es que en la zona superior de las cámaras de congelación en las largas paradas no suba de -16°C.

Conclusiones

Se considera que el uso de los acumuladores de cambio de fase en las cámaras frigoríficas de grandes dimensiones sobre todo en las de helados y en productos congelados, tiene muchas ventajas desde el punto de vista económico, pues permite parar en las horas punta de mayor costo de la electricidad sin que afecte grandemente al producto almacenado. En los casos estudiados se puede ver que los tiempos de amortización nunca superan el año y medio, valores que pueden reducirse a pocos meses.

Con el funcionamiento nocturno en los almacenes frigoríficos empleando los acumuladores de cambio de fase, se puede ahorrar hasta un 30% de la energía eléctrica necesaria y sumado al 40 % de ahorro por las tarifas eléctricas horarias, supone una gran disminución de los costos energéticos, que son los más importantes en su explotación.

Referencias

1] DOMINGUEZ, M.; GARCIA DE VINUESA, S.; CARRASCO, J.A. EDITORIAL: EL INSTALADOR TITULO DE LA OBRA: CLIMATIZACION, REFRIGERACION Y FRIO INDUSTRIAL TITULO DEL CAPITULO: AHORRO DE ENERGIA EN LOS ALMACENES FRIGORIFICOS ESPAÑOLES. PAGES: 53, 60 CIUDAD Y AÑO DE PUBLICACION: MADRID, 1981. N° DEL VOLUMEN: 11.

2] FERNÁNDEZ BERJANO JOAQUÍN. Un caso real: proyecto ECOFRIOP Charla en la jornada organizada por CTC en Santander el 20 de Junio del 2012. “Eficiencia energética en aplicaciones industriales a baja temperatura: PCM”

3]

<http://www.minetur.gob.es/energia/electricidad/Tarifas/Tarifas2008/Paginas/precios.aspx>

4] DOMINGUEZ, M. III Foro AECOC del Transporte Urbano de Mercancías. CONTENEDORES ISOTERMOS Y TRITEMPERATURA: ¿CUÁL ES SU POTENCIAL? Madrid 28 junio 2012

<http://www.aecoc.es/eventos/tum/>

5] Endesa la liberación de la energía

<http://comparatarifas.net/2010/11/09/las-consecuencias-de-la-liberacion-de-la-energia-electrica/>

6] Comisión nacional de la energía (cne)

<http://www.comparador.cne.es/comparador/index.cfm?js=1&e=N>

7] <http://hdl.handle.net/10261/15514>