



Facultad de Ingeniería Mecánica



Trabajo de Diploma

Título: Estudio de factibilidad de la utilización de técnicas de acumulación de frío en instalaciones turísticas.

AUTOR:

Yandry Rojas Álamo.

TUTORES:

Dra. Margarita Lapidó Rodríguez

Dr. Mario A. Álvarez Guerra Plasencia

M. Sc. Juan Carlos Armas Valdés

**Cienfuegos. Cuba
Curso 2006 - 2007**

DECLARACION DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

“Carlos Rafael Rodríguez”

Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Universidad de Cienfuegos para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de este envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico.

Nombre y Apellidos. Firma.

Computación.

Nombre y Apellidos. Firma.

Firma de los tutores

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellidos. Firma.

Pensamiento

La precisión en el objetivo es el punto de partida para cualquier triunfo.

W. Clement Stone.

Agradecimientos

- A mis padres que me han apoyado durante todo este tiempo que me he estado formando como profesional.
- A mis tutores por haberme ayudado y apoyado para que este trabajo se realizara lo mejor posible.
- A todas aquellas personas que de una u otra forma han tenido que ver con la elaboración de mi trabajo de diploma.
- A mis compañeros de aula.

Dedicatoria

- 👤 A mis padres por haberme llevado siempre por el camino de la sabiduría y a mis profesores, que me han apoyado durante todo este tiempo en que me he estado formando como profesional.

Resumen

En el presente Trabajo de Diploma se realiza un estudio de factibilidad de la utilización de técnicas de acumulación de frío en sistemas de climatización centralizados utilizados en instalaciones del sector turístico.

Se incluye una búsqueda de información bibliográfica para determinar las tecnologías de acumulación de frío existentes así como sus características fundamentales, costos y parámetros de diseño.

El estudio de factibilidad se desarrolla para una instalación turística de referencia, diseñando un sistema de acumulación por **agua enfriada**. Se obtienen las dimensiones aproximadas de los componentes que integran el sistema, la estrategia de funcionamiento más favorable para la instalación (**almacenamiento completo**) y el ahorro energético y monetario que presenta la implementación de este método.

Los resultados del análisis de factibilidad económica de la inversión (por concepto de reducción de los gastos por traslado de carga del horario pico hacia el horario de la madrugada cuando la energía es más barata), muestran un periodo de recuperación de la inversión simple inferior a dos años.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Estado del arte de las técnicas de acumulación de frío. ----	3
1.1 Desarrollo histórico.....	3
1.2 Ventajas y desventajas generales de la acumulación de frío.	7
1.2.1 Beneficios del almacenamiento térmico para el usuario.....	7
1.2.2 Beneficios de la acumulación de frío para las compañías eléctricas.....	8
1.2.3 Beneficios de la acumulación de frío para la sociedad.....	9
1.2.4 Beneficios de la refrigeración urbana (district cooling) para los propietarios de edificios.....	9
1.2.5 Beneficios de la refrigeración urbana (district cooling) para las compañías de electricidad locales.....	10
1.2.6 Desventajas de la acumulación de frío.	10
1.3 Estrategias operacionales de los sistemas de acumulación de frío.-	11
1.3.1 Almacenamiento completo.....	11
1.3.2 Almacenamiento parcial.....	11
1.3.2.1 Almacenamiento parcial con estrategia de funcionamiento por nivelado de carga.....	12
1.3.2.2 Almacenamiento parcial con nivelado de carga y limitación de demanda.....	12
1.4 Conclusiones parciales.	13
Capítulo 2 Estudio comparativo de las tecnologías utilizadas en la acumulación de frío.	14
2.1 Clasificación	14
2.2 Tecnologías utilizadas.	15
2.2.1 Agua u otro fluido enfriado.....	15
2.2.2 Hielo en un serpentín.....	17

2.2.3 Hielo encapsulado o materiales de cambio de fase.-----	19
2.2.4 Máquina de hielo enfriadora de agua. -----	20
2.2.5 Hielo en suspensión. -----	22
2.3 Comparación de las técnicas de acumulación de frío.-----	24
2.4 Conclusiones Parciales-----	25
Capítulo 3 Estudio de factibilidad de la utilización de técnicas de acumulación de frío en instalaciones turísticas.-----	26
3.1 Características de la instalación turística.-----	26
3.1.1 Características del sistema de climatización del hotel.-----	26
3.1.1.2 Datos de chapa de los equipos. -----	27
3.1.2 Tarifa eléctrica.-----	28
3.1.3 Cálculo del consumo de climatización.-----	29
3.2 Construcción de la curva de cargas horarias y determinación del potencial de acumulación.-----	29
3.2.1 Determinación de cargas del edificio.-----	29
3.2.2 Breve explicación del funcionamiento del simulador empleado.-----	30
3.2.3 Cálculo de la carga de enfriamiento (SCRW4) -----	31
3.2.4 Cálculo de temperaturas horarias (MEX1TH) -----	31
3.2.5 Cargas que se consideran en el cálculo -----	32
3.2.6 Obtención del perfil de cargas térmicas en un día completo por horas.-----	32
3.2.7 Construcción de la curva de cargas horarias y determinación del potencial de acumulación.-----	33
3.3 Selección del sistema y dimensionado de los componentes.-----	35

3.3.1 Dimensionado del tanque de almacenamiento.-----	36
3.3.2 Características básicas del sistema de acumulación diseñado. -----	37
3.3.3 Estimación del costo de la inversión.-----	37
3.4 Análisis de factibilidad económica.-----	38
3.4.1 Periodo de Recuperación Simple de Inversión. -----	38
3.4.2 Cálculo del ahorro anual.-----	38
3.4.3 Recuperación de la inversión.-----	41
3.5 Conclusiones parciales -----	42
Conclusiones -----	43
Recomendaciones -----	44
Referencias Bibliográficas -----	45
Bibliografía -----	46

Introducción

Los sistemas de climatización centralizados tipo todo agua son ampliamente utilizados en el sector de los servicios (hoteles, hospitales, etc.) lo que implica un elevado consumo de energía eléctrica y, por tanto, una parte importante en los costos de operación (por ejemplo, más del 60 % del consumo de electricidad en un hotel turístico está asociado a los sistemas de climatización).

A nivel mundial existen tecnologías que permiten perfeccionar el funcionamiento de los sistemas de climatización y de agua caliente de servicio, entre las que pueden mencionarse: variadores de velocidad, válvulas inteligentes para la regulación, pizarras de control avanzado, motores y bombas de alta eficiencia, tuberías con mejores propiedades para el transporte, métodos de equilibrio, recuperadores de calor y técnicas de acumulación térmica.

En general, todos estos mecanismos aumentan la eficiencia de las instalaciones, disminuyen el consumo de energía eléctrica y desplazan del horario pico un gran porcentaje de las cargas, con la consecuente disminución de los gastos operacionales.

En particular, los acumuladores de frío son utilizados en las instalaciones de refrigeración o de climatización industrial con el objetivo de disminuir la capacidad frigorífica, con lo cual la inversión inicial disminuye al utilizar compresores más pequeños y, por ende, las tuberías, accesorios, motores eléctricos y demás componentes, también lo son; inclusive al ser los motores más pequeños, disminuye la demanda de carga eléctrica y la necesidad de capacidad en transformadores.

Sin embargo, estas tecnologías no han sido consideradas en el diseño de la mayoría de las instalaciones turísticas cubanas y no se dispone de métodos actualizados de evaluación, por lo que se define como **Problema Científico:**

“La utilización de sistemas de climatización centralizados en las instalaciones turísticas implica un elevado consumo de energía eléctrica y, por tanto, una parte importante de sus costos de operación”.

Para dar solución al problema científico, se plantea como **Hipótesis:**

“La incorporación de tecnologías de acumulación de frío en el diseño de sistemas de climatización centralizada de instalaciones turísticas permite incrementar la eficiencia, disminuir el consumo de energía eléctrica y desplazar del horario pico un gran porcentaje de las cargas, con la consecuente disminución de los gastos operacionales”.

Objeto de Estudio: Sistemas de acumulación de frío para instalaciones de climatización centralizada.

Objetivo General:

Evaluar la factibilidad técnica y económica de la utilización de técnicas de acumulación de frío en instalaciones turísticas.

Objetivos Específicos:

1. Recopilar y procesar la información sobre las características constructivas y energéticas de los sistemas de acumulación de frío empleados en aplicaciones de climatización.
2. Definir los parámetros operacionales y constructivos necesarios para el diseño de los sistemas de acumulación de frío.
3. Evaluar la factibilidad técnica y económica de la utilización de técnicas de acumulación de frío en instalaciones turísticas.

Capítulo 1

Capítulo 1. Estado del arte de las técnicas de acumulación de frío.

1.1 Desarrollo histórico.

La tecnología de la acumulación de frío se viene utilizando desde hace más de 70 años. Aplicaciones tradicionales de la acumulación de frío mediante hielo producido por refrigeración mecánica han sido las industrias lácteas: centrales lecheras, fábricas de helados y fábricas de quesos. Estas industrias típicamente experimentan elevadas puntas de demanda frigorífica durante períodos de tiempo relativamente cortos del día, a temperaturas que hacen necesario la utilización de agua “helada”, es decir agua a temperaturas próximas a la de congelación ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Con la utilización de la acumulación de frío mediante hielo, estas industrias pueden disponer de agua a ($\pm 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) haciendo funcionar la maquinaria frigorífica durante períodos de tiempo mucho más prolongados que los de la demanda, permitiendo, la reducción del tamaño de la maquinaria frigorífica de forma significativa.

Hoy en día, la acumulación de frío en estas industrias sigue siendo práctica habitual. La acumulación de frío también se utiliza tradicionalmente en procesos industriales que requieren agua fría de forma intermitente, tales como las industrias química y farmacéutica.

La utilización de la acumulación de frío para aplicaciones de acondicionamiento de aire se inicia en los EE.UU. a finales de los años 60. El elevado crecimiento económico y desarrollo comercial del país durante las décadas de los años 70 y 80 enfrentó a las compañías de electricidad con graves problemas para satisfacer, la también creciente, demanda de energía eléctrica.

Generalmente, esta demanda se producía durante limitadas horas del día; normalmente cuando la demanda de frío en las instalaciones de aire acondicionado era mayor. Puesto que los requerimientos totales de energía al cabo del día eran inferiores a las capacidades existentes de las centrales eléctricas, las compañías de electricidad comenzaron a buscar formas para trasladar la demanda de energía eléctrica desde las

horas punta a las horas valle, evitando así la necesidad de construir nuevas centrales para incrementar la producción de energía eléctrica.

Como consecuencia, a principio de los años 80, el uso de la acumulación de frío en instalaciones de aire acondicionado en los EE.UU. de América (para disminución de las puntas de carga y traslado de la demanda de energía eléctrica a horas valle) empezó a crecer aceleradamente.

Durante los primeros tiempos de la utilización de la acumulación de frío para aplicaciones de acondicionamiento de aire, las compañías de electricidad norteamericanas promovieron fuertemente esta tecnología. Algunas compañías, como la Alabama Power Company en Birmingham (Alabama), y en España “Iberduero” y “Sevillana de Electricidad” decidieron dar ejemplo a sus clientes instalando en sus oficinas, acumulación de frío mediante hielo, para reducir las puntas de carga.

El sistema de acumulación de frío, instalado en la sede central de la Alabama Power Company, alcanzaba una capacidad de almacenaje de energía de 50 MWh y, en aquella época (principio de los 80), era uno de los sistemas mayores del mundo.

Pronto, las ingenieras y fabricantes de equipos frigoríficos más innovadoras de los EE.UU. comenzaron a introducir nuevas formas e ideas para reducir el desventajoso costo inicial de los sistemas de acumulación de frío.

Un buen ejemplo de esta trayectoria es el edificio Merchandise Mart en Chicago donde, a mediados de los años 80, se reforma y amplía la instalación de climatización para hacer frente al aumento de la demanda interna de frío debido al incremento de la iluminación e instalación de ordenadores. Se instala allí un sistema de acumulación de frío mediante hielo de 92 MWh de capacidad. El coste total inicial de la instalación, incluyendo la acumulación de frío, se redujo considerablemente mediante la utilización de un sistema de distribución de aire a baja temperatura.

Las climatizadoras de esta instalación de acondicionamiento impulsan el aire a través de una red de conductos a los espacios habitados a + 7 °C de temperatura en lugar de

los + 13 °C habituales. Esta temperatura del aire de impulsión permite trabajar con un diferencial de temperaturas de 14 °C, mayor que el convencional de 8 °C, dando como resultado unos ventiladores y conductos mucho más pequeños.

Durante los años siguientes, nuevos desarrollos en el diseño de sistemas de acumulación de frío para instalaciones de aire acondicionado disminuyeron sensiblemente su coste y simplificaron su diseño, usando glicol como refrigerante intermedio.

En Europa, la acumulación de frío para aplicaciones industriales tradicionales ya se usa desde comienzos de los años 30. En el campo del acondicionamiento de aire, la acumulación de frío empieza a utilizarse en países como Suiza, Francia e Italia en el año 1980, pocos años más tarde su uso se extiende a otros países europeos: Inglaterra, Irlanda, Bélgica, Alemania, Portugal y España.

En el año 1990, la acumulación de frío para aplicaciones de aire acondicionado ya había sido utilizada con éxito técnico y económico en muchos proyectos en la mayoría de los países europeos.

Hoy en día, las compañías eléctricas, no solo en EE.UU. sino también en Europa han empezado a darse cuenta (en la medida que las centrales de producción de energía eléctrica alcanzan su producción máxima) de la conveniencia de su utilización para paliar la necesidad de construcción de nuevas centrales económica y ecológicamente prohibitivas.

Estas circunstancias, unidas a las recientes disposiciones que liberalizan la distribución de energía eléctrica en el mercado europeo han hecho reflexionar a las compañías de electricidad que comienzan a dar un giro en su filosofía empresarial. Dentro del marco económico actual se trata de sobrevivir en un mercado altamente competitivo, por lo que les es necesario, entre otras medidas, diversificar los servicios ofrecidos a los clientes, tal como vienen haciendo del otro lado del Océano Atlántico, las compañías eléctricas norteamericanas, como por ejemplo:

- UNICOM en Chicago
- Northwind en Boston
- Poole & Kent Company en Baltimore

Estas compañías decidieron construir centrales energéticas, ubicándolas en el corazón de las ciudades, con la finalidad de ofrecer a sus clientes, desde las mismas, diferentes servicios. Además del suministro de energía eléctrica, ahora estas compañías suministran agua helada a un conjunto de edificios situados en los distritos centrales de Chicago, Boston, Baltimore y otras ciudades norteamericanas, con lo que cubren las necesidades de frío, de aquellos edificios a lo largo de todo el año. Esta tecnología es conocida en los EE.UU. como “District Heating and Cooling”, es decir “calefacción y refrigeración urbana”.

Veamos que se entiende por “Distribución de Frío Urbano”.

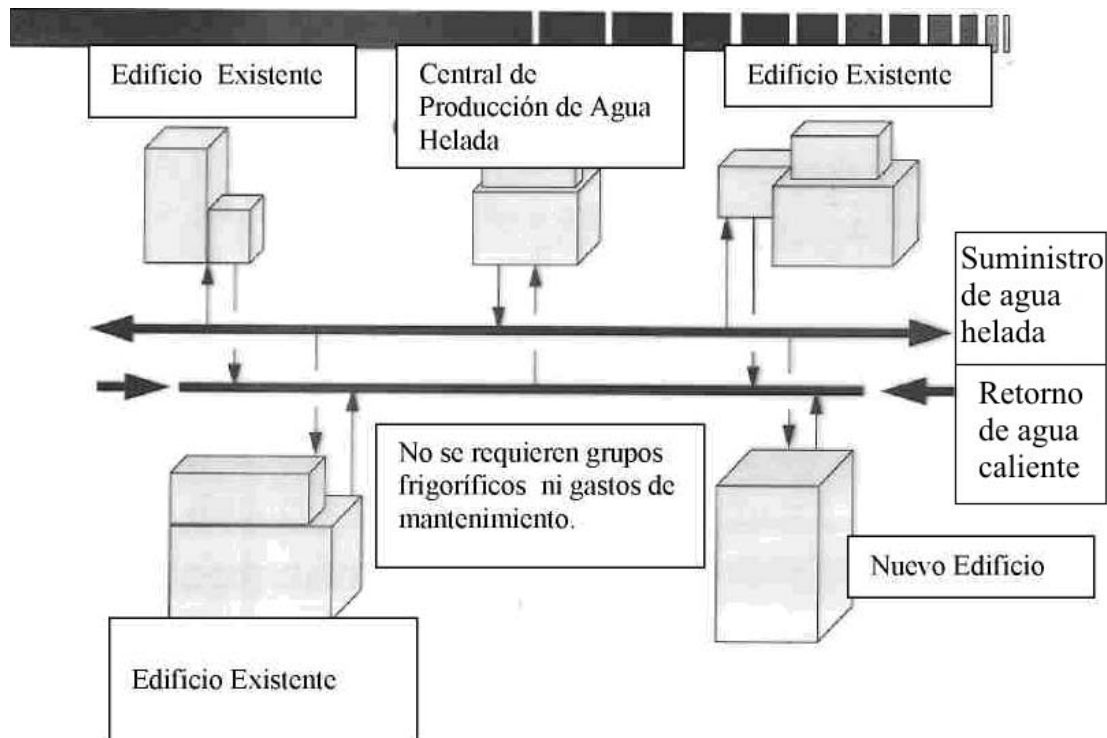


Fig. 1.1 Esquema de conexión de edificios en el sistema de refrigeración urbana [1].

Tal como se representa esquemáticamente (ver fig.1.1) en este diagrama el sistema de distribución de frío urbano dispone de una planta centralizada de producción de agua helada, que se impulsa a $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a los edificios incorporados al circuito. El agua helada se canaliza a través de una red de tuberías distribuidas en zanjas, por el subsuelo de la ciudad.

En cada edificio, se establece una estación de recepción del agua fría, con contadores de caudal de agua y registradores de temperatura, lo que sirve para calcular el consumo energético y su facturación posterior al usuario. En este mismo espacio se disponen de intercambiadores de calor a placas agua-agua.

Estos se utilizan para transferir el calor desde el circuito primario del edificio que opera (en algunos casos) con el salto térmico habitual de $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (de $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$) al circuito secundario, por el que circula el agua helada procedente de la planta central a $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. El agua retorna desde los edificios a la planta central a unos $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente (en función de la carga térmica).

1.2 Ventajas y desventajas generales de la acumulación de frío.

1.2.1 Beneficios del almacenamiento térmico para el usuario.

- Uso de electricidad de bajo costo (en horas nocturnas).
- Potencia eléctrica instalada reducida (ver fig.1.2).
- “Frío” de reserva.
- Funcionamiento del equipo frigorífico con mayor rendimiento.
- Capacidad de hacer frente a “demandas punta”.
- Adaptación flexible y rápida de la demanda.
- Incremento del valor de mercado del edificio.

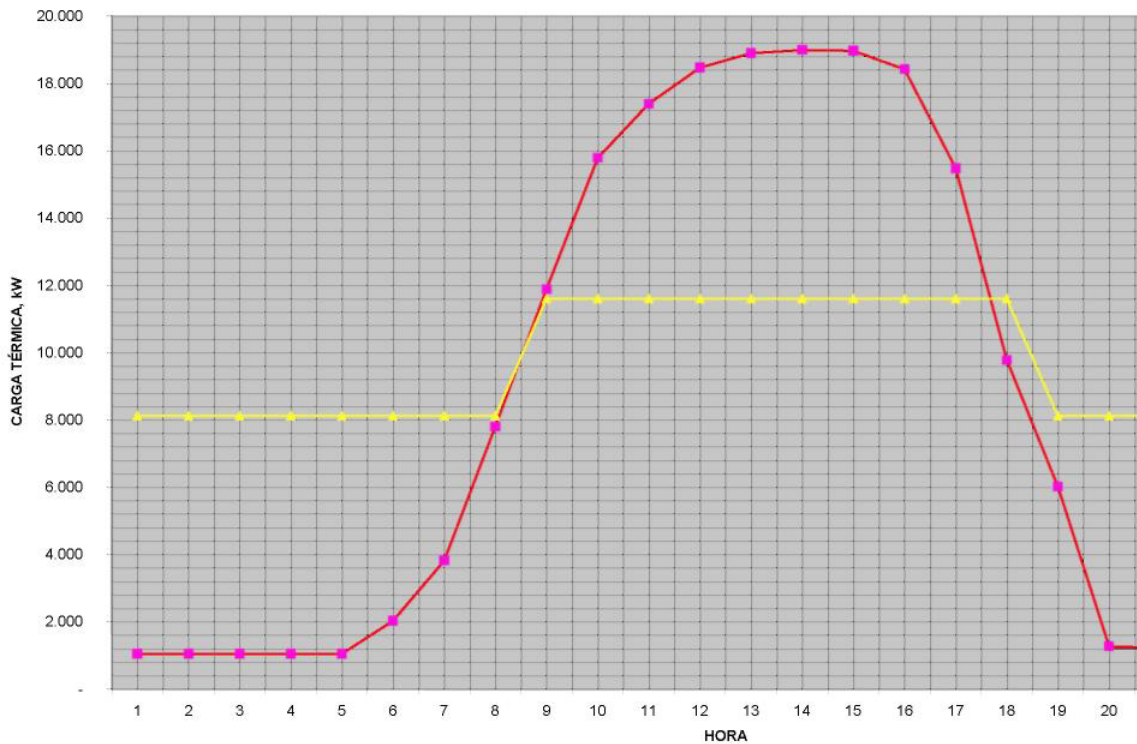


Fig. 1.2 Reducción de la potencia eléctrica instalada. Demanda típica edificio oficinas con producción de frío directa (curva con cuadrados) vs. Asistida con acumulación (curva con triángulos).

1.2.2 Beneficios de la acumulación de frío para las compañías eléctricas.

- Disminuye costes de producción.
- Mejora la utilización de los activos.
- En resumen:
 - 1.- Reduce significativamente costes generales.
 - 2.- Permite ofrecer precios más competitivos.
- Evita la necesidad de arrancar centrales eléctricas (de elevado coste de producción) solo para hacer frente a “puntas” de demanda (ver fig.1.3).
- Disminuye el pago por emisión de CO₂.

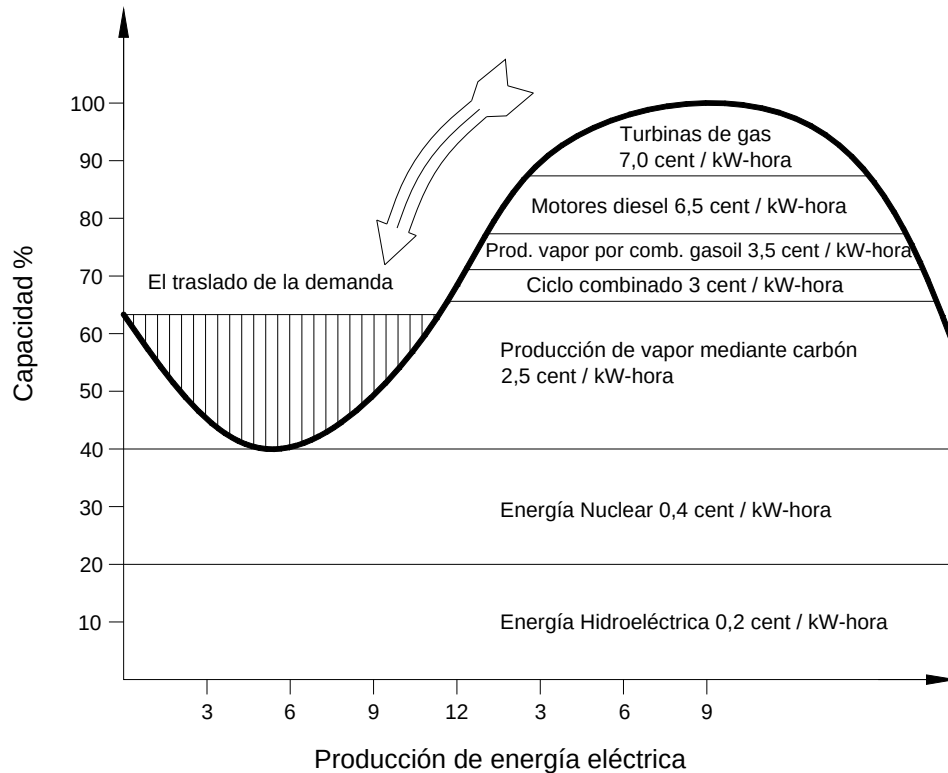


Fig. 1.3 Beneficios del traslado de la demanda eléctrica a horas valle.

1.2.3 Beneficios de la acumulación de frío para la sociedad.

- Significativos ahorros de energía primaria (petróleo, gas, etc.)
- Contribución sustancial a la reducción de emisiones de gases perjudiciales para la atmósfera (efecto invernadero) y la capa de ozono (CO_2 , CFCS, NO_2), tanto en las centrales como en los edificios.

1.2.4 Beneficios de la refrigeración urbana (district cooling) para los propietarios de edificios.

1.- Suministro de frío garantizado 24h/día, 365 días al año, desde el exterior, eliminando la necesidad de adquirir y operar su propia central de frío, con los consiguientes ahorros en:

- Capital inicial (coste de la central frigorífica)
- Costes de mantenimiento (repuestos y personal de mantenimiento)

2.- Releva a la propiedad de la responsabilidad en el cumplimiento de la normativa para la supresión de los CFC.

3.- Liberación del espacio usado por la central frigorífica que puede ser utilizado para otros fines (venta, alquiler, o uso propio).

4.- Reducción de ruido y vibraciones indeseables en el edificio.

1.2.5 Beneficios de la refrigeración urbana (district cooling) para las compañías de electricidad locales.

1.- Obtener la fidelización de sus clientes al incorporar agua fría y/o caliente al tradicional suministro de energía eléctrica, que hace para el usuario más atractivo el contrato con la compañía local.

2.- Obstaculiza la penetración de la competencia en su territorio.

3.- Aumenta sustancialmente su cifra de negocio mediante la rentable explotación de la central de Frío y/o Calor.

Además, mediante la adición de un sistema de acumulación de frío, la compañía explotadora de la planta puede enfriar agua a baja temperatura (+/- 0 °C) con una sensible reducción del tamaño de la instalación frigorífica y una mejora del rendimiento global de la planta de producción de frío, al funcionar siempre a plena carga y en un porcentaje elevado del año solo durante la noche.

1.2.6 Desventajas de la acumulación de frío

- Se tiene que utilizar un área mayor para la instalación de los equipos de climatización.
- En algunas ocasiones el costo de inversión inicial del sistema de climatización es mayor que el de uno sin acumulación.
- El equipo de climatización o parte de el, siempre estará funcionando.
- El empleo de refrigerantes secundarios trae consigo problemas de corrosión.

1.3 Estrategias operacionales de los sistemas de acumulación de frío.

Varias estrategias están disponibles para el proceso de carga y descarga en el almacenamiento de frío para satisfacer la demanda de frío durante las horas pico. Estas estrategias son:

1.3.1 Almacenamiento completo. A la estrategia de almacenamiento completo también se le ha llamado traslado de carga, ya que esta consiste en trasladar toda la carga de enfriamiento a vencer en el pico para las horas no pico (ver fig.1.4). El sistema es usualmente diseñado para trabajar a toda capacidad durante las horas no pico y así cargar el tanque de almacenamiento. Esta estrategia es más atractiva cuando el pico de la carga demandada es grande o cuando el período del pico es corto.

1.3.2 Almacenamiento parcial. En el almacenamiento parcial, el chiller trabaja para satisfacer parte del período del pico de carga térmica, el resto de la demanda pico se suple con lo almacenado fuera de este período. El chiller es dimensionado para una capacidad más pequeña que la carga de diseño y trabajará constantemente (ver fig. 1.5 y 1.6). Los sistemas de almacenamiento parcial pueden trabajar con nivelación de carga y con limitación de la demanda.

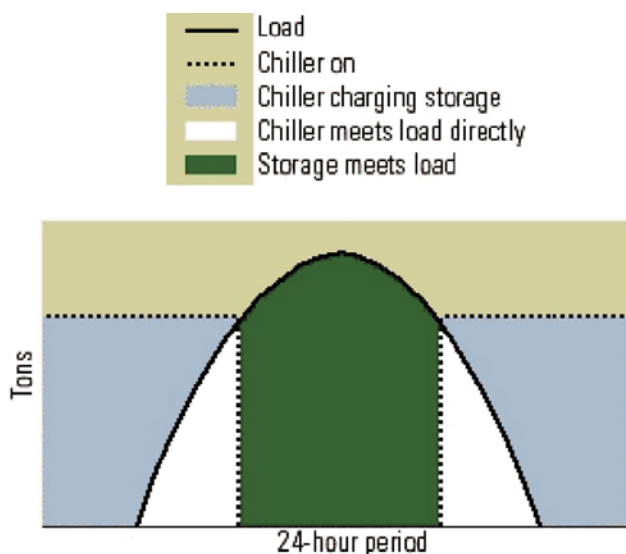
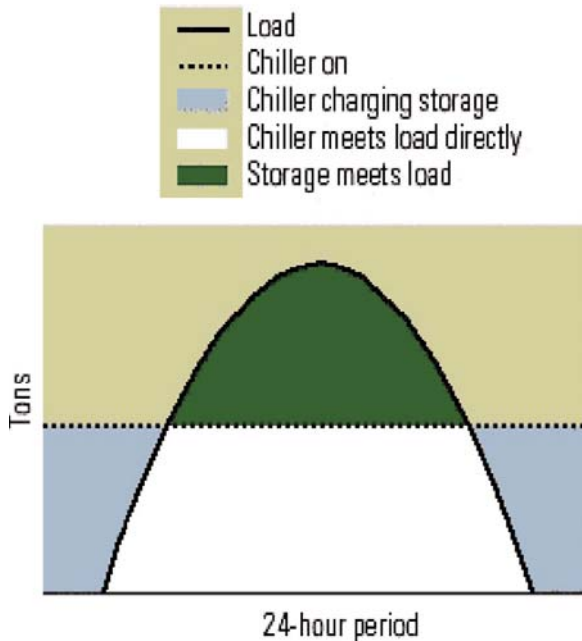


Fig.1.4 Estrategia de almacenamiento completo.

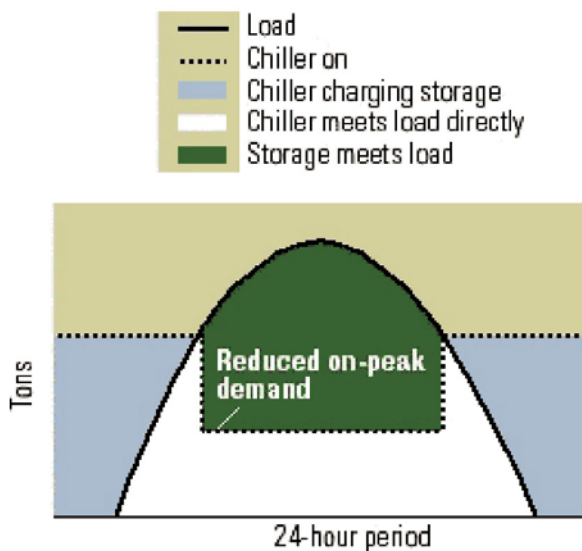
1.3.2.1 Almacenamiento parcial con estrategia de funcionamiento por nivelado de carga.



En los sistemas de nivelado de carga, el chiller trabaja a su capacidad máxima las 24 horas del día (ver fig. 1.5). Cuando la carga es menor que la capacidad frigorífica del chiller, el excedente de frío es almacenado. Cuando la carga excede la capacidad del chiller, la demanda requerida adicional se toma del frío almacenado. El nivelado de carga se aproxima a los mínimos requerimientos de capacidad de almacenamiento y tamaño del chiller para una carga dada.

Fig. 1.5 Almacenamiento parcial por nivelación de la carga.

1.3.2.2 Almacenamiento parcial con nivelado de carga y limitación de demanda.



Un sistema con limitación de demanda hace operar al chiller a una capacidad reducida durante las horas pico (ver fig. 1.6). Los ahorros en la demanda y los costos de los equipos son más grandes que para los sistemas de solo nivelación de carga y menores que para los sistemas de traslado de carga.

Fig 1.6 Almacenamiento parcial por nivelación de la carga con limitación de demanda.

1.4 Conclusiones parciales:

1. Los acumuladores de frío son utilizados en las instalaciones de refrigeración o de climatización industrial con el objetivo de disminuir la capacidad frigorífica a instalar, con lo que se reduce la inversión inicial, la demanda de energía eléctrica y los costos operacionales asociados.
2. El empleo de la acumulación de frío trae consigo sustanciales beneficios tanto para los usuarios como para las compañías eléctricas y la sociedad en general. Por ejemplo: significativos ahorros de energía primaria (petróleo, gas, etc.) y contribución sustancial a la reducción de emisiones de gases perjudiciales para la atmósfera (efecto invernadero) y la capa de ozono (CO₂, CFCS, NO₂), tanto en las centrales como en los edificios.
3. La refrigeración urbana (district cooling) representa un avance importante en la actualidad, constituyendo una tecnología de punta dentro de la climatización centralizada y el empleo de la acumulación de frío.
4. Existen diversas estrategias de almacenamiento: total y parcial. La correcta selección de este elemento acarrea importantes ahorros para las entidades que se decidan por la acumulación de frío.

Capítulo 2

Capítulo 2 Estudio comparativo de las tecnologías utilizadas en la acumulación de frío.

2.1 Clasificación

Los equipos de almacenamiento de frío pueden ser clasificados en dos grandes grupos dependiendo del tipo de calor que almacenan. Estos pueden ser en forma de calor sensible o latente.

- Equipos de almacenamiento de frío por calor sensible.

Los equipos de almacenamiento de frío por calor sensible utilizan típicamente agua como medio de almacenamiento y se conocen como sistemas de agua fría, la cual se almacena en grandes tanques a temperaturas por encima de la temperatura de cambio de fase.

- Equipos de almacenamiento de frío por calor latente.

Los equipos de almacenamiento de frío por calor latente pueden ser categorizados además como, hielo en un serpentín, hielo encapsulado u otro material de cambio de fase, máquinas de hielo para enfriar agua y por último hielo en suspensión. Aunque estos métodos son referidos como de tipo “latente”, parte de la energía que almacenan está en forma sensible.

2.2 Tecnologías utilizadas

Clasificación de los diferentes métodos de almacenamiento de frío				
Classificación	Tipos	Medio de almacenamiento	Fluido de carga	Fluido de descarga
Sensible	Agua u otro fluido enfriado	Agua u otro fluido	Agua u otro fluido	Agua u otro fluido
Latente	Hielo en un serpentín (Congelación externa)	Hielo	Refrigerante secundario	Agua
			Refrigerante	
	Hielo en un serpentín (Congelación interna)	Hielo u otro material de cambio de fase	Refrigerante secundario	Refrigerante secundario
			Refrigerante	Refrigerante
	Hielo encapsulado u otro material de cambio de fase	Hielo u otro material de cambio de fase	Refrigerante secundario	Refrigerante secundario
			Agua	Agua
	Máquina de hielo enfriadora de agua	Hielo	Refrigerante	Agua
	Suspensión refrigerante	Hielo en el refrigerante secundario	Refrigerante secundario	Refrigerante secundario

Tabla 2.0 Clasificación de las técnicas de almacenamiento de frío.

2.2.1 Agua u otro fluido enfriado.

Durante el período de carga el agua caliente (u otro fluido) del dispositivo de almacenaje es enfriada hasta la temperatura deseada por un chiller y luego retorna al tanque de almacenamiento, por lo que la energía es almacenada como calor sensible. Durante el período de descarga, el agua fría es bombeada desde el tanque de almacenamiento hacia la carga, el agua caliente resultante retorna entonces al tanque de almacenaje. Muchos métodos son utilizados para mantener el agua caliente de retorno separada del agua fría almacenada previamente, incluyendo separadores o tanques con compartimentos; cuando se emplea un solo tanque se emplean, laberintos, membranas o estratificaciones térmicas.

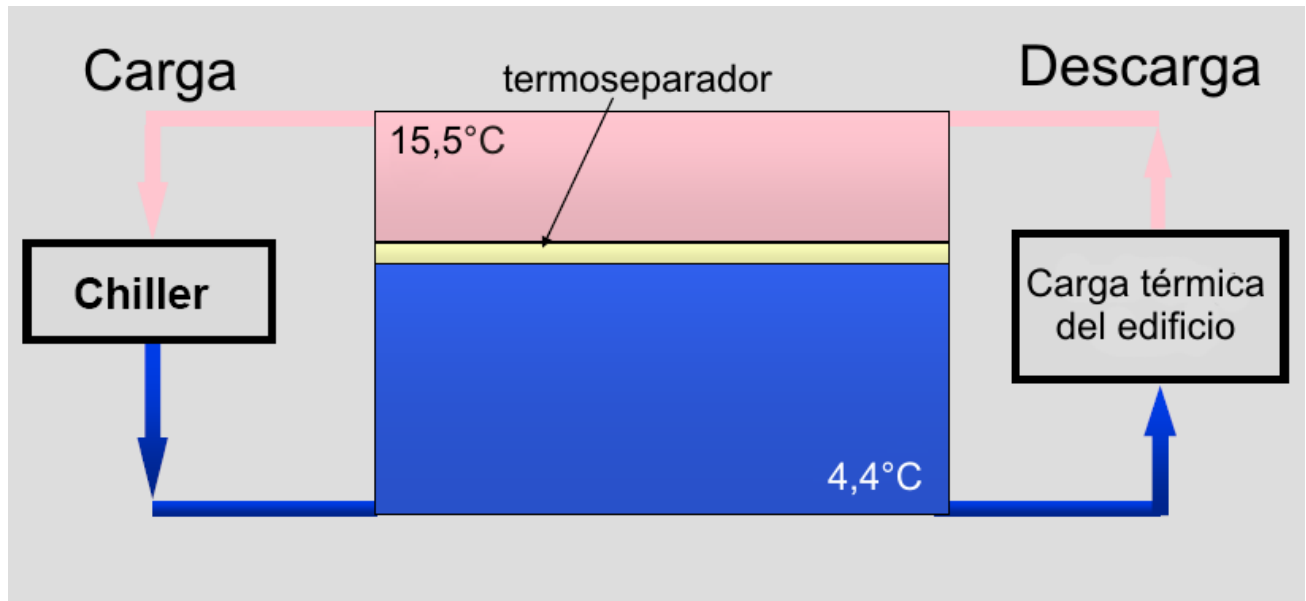


Fig. 2.0 Esquema simplificado de funcionamiento de los sistemas de agua fría.

Ventajas:

- Se utilizan chillers estándar.
- Manejo eficiente.
- Económico para sistemas grandes.
- Fiable.
- Simple.
- Puede utilizarse como protección contra fuego.

Desventajas:

- Baja densidad de energía.
- Potenciales limitaciones de espacio.
- Máxima densidad del agua a 3,9 °C.

Costos:

- \$ Costo del Tanque: \$28 - \$43/TR-h (basado en un tanque de 14,000 TR-h).
- \$ Aditamentos del tanque: \$70 - \$470/TR (bombas, válvulas, controles, etc.).
- \$ Reducción del Chiller: \$250/TR.

Rendimiento:

➤ 0.60-0.65 kW/TR.

2.2.2 Hielo en un serpentín. Existen dos tipos de arreglos para el hielo en un serpentín:

Descongelación externa: Durante el período de carga, un refrigerante secundario o el propio refrigerante se hace circular a través de un serpentín o de placas, provocando la formación de hielo sobre la superficie exterior. Una parte del líquido contenido en el tanque no se llega a congelar. Durante el período de descarga (enfriando), el agua caliente de retorno se hace circular a través del tanque, externamente al hielo formado, el agua es enfriada entonces por el hielo que se derrite.

Descongelación interna. Durante el período de carga, un refrigerante secundario o el propio refrigerante se hace circular por dentro de un serpentín o de placas, provocando la formación de hielo sobre la superficie externa. La mayor parte del líquido contenido en el tanque se congela. Durante el período de descarga (enfriando), el refrigerante secundario que retorna caliente se hace circular por dentro del serpentín o de las placas, por el interior del hielo formado, enfriándose mientras el hielo que está en la superficie externa se derrite.

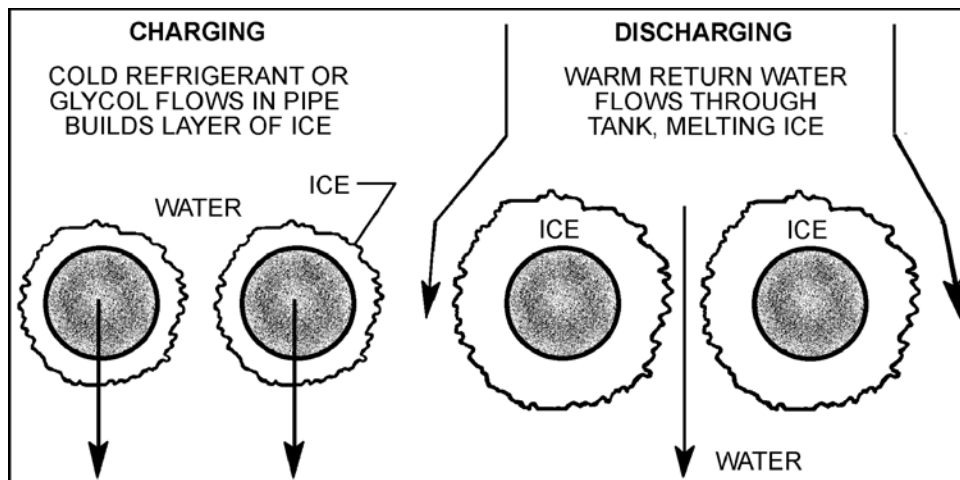


Fig. 2.1 Proceso de carga y descarga en descongelación externa.

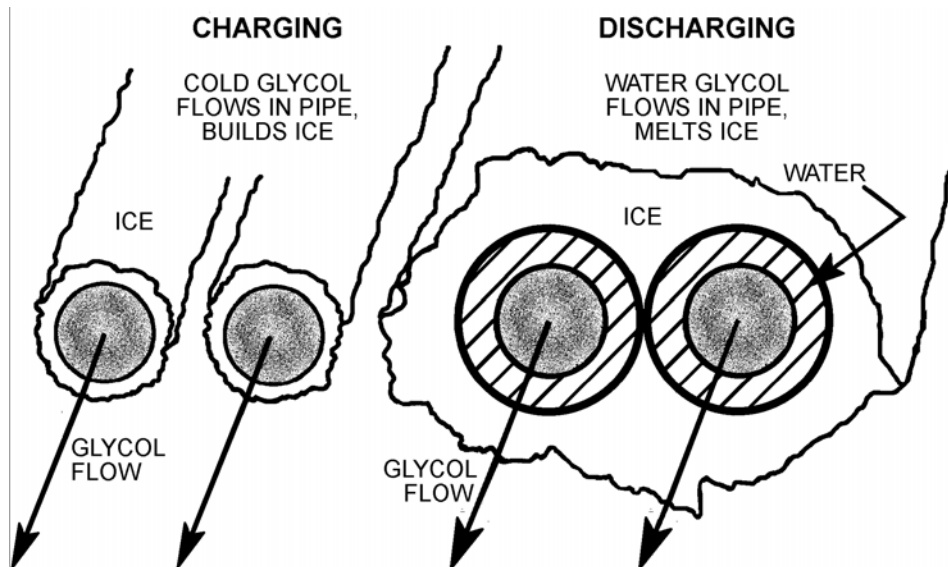


Fig. 2.2 Proceso de carga y descarga en descongelación interna.

Descongelación externa.

Ventajas:

- Modular.
- Diseño estático y simple.
- Fiable.
- Apto para la distribución de aire frío.

Desventajas:

- Se utiliza un fluido secundario.
- Se requiere un chiller que tenga una temperatura de salida de $\sim (-4,4^{\circ}\text{C})$.

Costos:

- \$ Costo del Tanque: \$60/TR-hr (basado en un tanque de 190 TR-hr nominales)
- \$ Reducción del chiller: \$450/TR

Rendimiento:

- 0.85-1.0 kW/TR

Descongelación interna

Ventajas:

- Modular.
- Apto para la distribución de aire frío.

Desventajas:

- Altas cargas de refrigerante.
- Se opera a bajas temperaturas de succión.
- La eficiencia varía con el espesor del hielo.

Costos:

- \$ Costo del Tanque: \$90/TR-hr

Rendimiento:

- 0.95-1.2 kW/TR

2.2.3 Hielo encapsulado o materiales de cambio de fase.

Estos equipos de almacenamiento térmico consisten en un tanque o recipiente que empaqueta densamente un gran número de contenedores relativamente pequeños en los cuales el medio de almacenamiento (hielo proveniente de agua o de otros materiales de cambio de fase como sales eutécticas) es encapsulado (ver fig. 2.3). Durante el período de carga, agua o un refrigerante secundario, a una temperatura por debajo de la temperatura de cambio de fase del medio de almacenamiento se hace circular a través del tanque o recipiente para efectuar el cambio de fase (congelación) en dicho medio. Durante el período de descarga (enfriando), el agua o refrigerante secundario que retorna caliente se hace circular por dentro del tanque o recipiente enfriándose mientras el medio de almacenamiento encapsulado cambia de fase (descongelación).

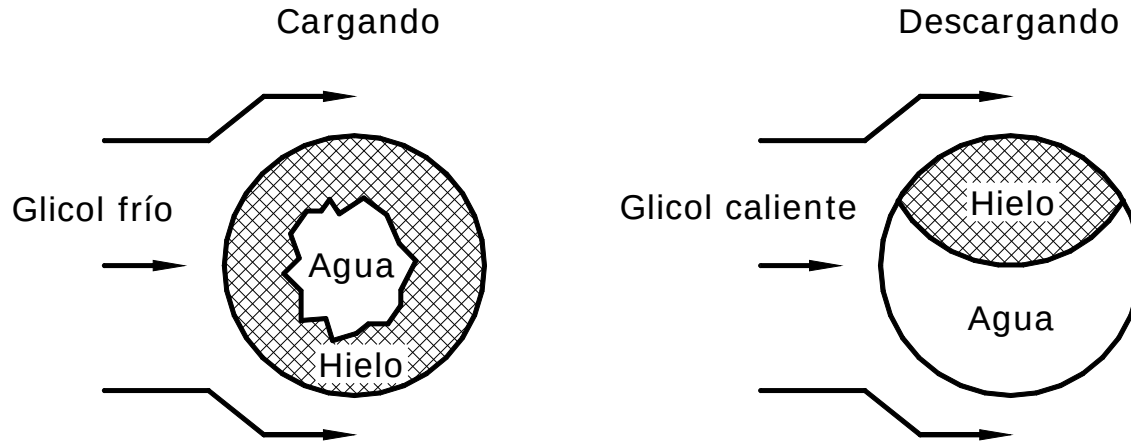


Fig. 2.3 Carga y descarga en cápsulas (bolas) congelables.

Ventajas:

- Diseño estático.
- Fiable.
- Apto para la distribución de aire frío.

Desventajas:

- El rendimiento depende del tanque.
- Se utiliza un fluido secundario.
- Se requiere un chiller que tenga una temperatura de salida de $\sim (-4,4^{\circ}\text{C})$.
- El sistema hidráulico es abierto.

Costos:

- \$ Costo del Tanque: \$50-70/TR-hr
- \$ Reducción del chiller: \$450/TR

Rendimiento:

- 0.85-1.2 kW/TR

2.2.4 Máquina de hielo enfriadora de agua.

Estos son equipos de almacenamiento térmico que emplean evaporadores en forma de placas verticales, o tubos verticales de tipo tambor entre otras configuraciones por los que pasa un refrigerante en evaporación para producir hielo a partir de una fina película de agua fluyendo por la superficie externa del evaporador. Periódicamente, el hielo es

separado pasando gas refrigerante caliente a través del evaporador o pasando un raspador por toda la superficie exterior, lo que provoca que el hielo se caiga, en escamas o trozos, dentro del tanque de almacenamiento. Durante el período de descarga (enfriando), el agua caliente de retorno se hace circular por dentro del tanque de almacenamiento donde se enfría al derretirse el hielo. Algunas de estas máquinas pueden servir también como un chiller durante el período de enfriamiento, circulando el agua caliente de retorno por el evaporador cuando está frío (con o sin formación de hielo) antes de entrar al tanque de almacenamiento.

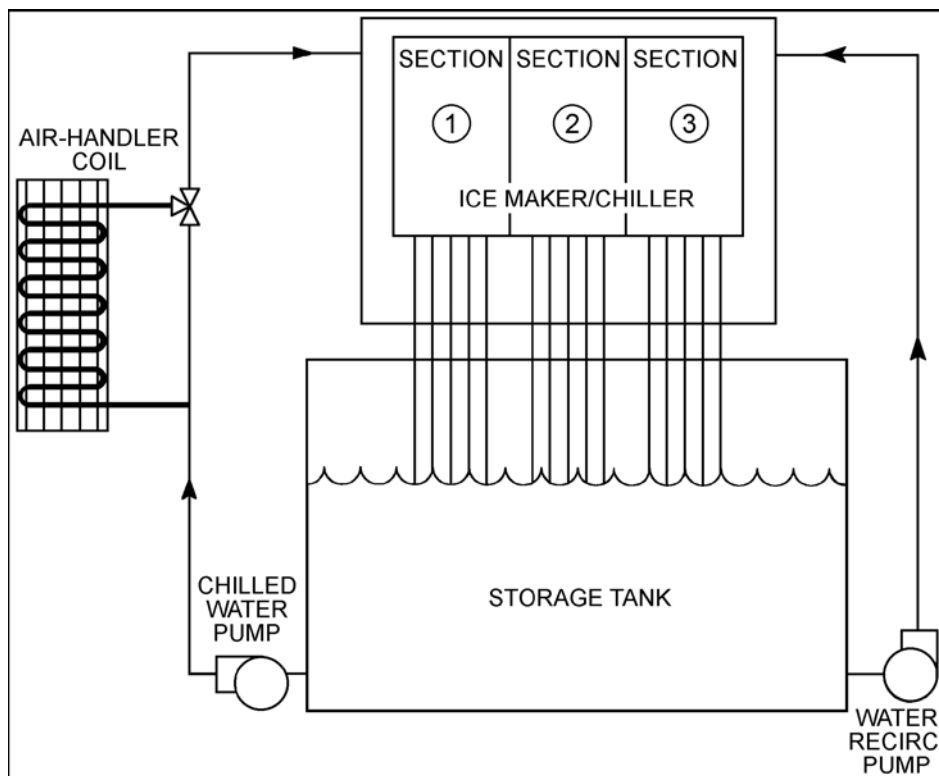


Fig. 2.4 Esquema simplificado de funcionamiento de los sistemas de máquina de hielo y agua.

Ventajas:

- Soporta altas velocidades de descarga.
- Puede utilizarse como chiller.
- Separa la producción y el almacenaje.
- Permitido para la distribución de aire frío.

Desventajas:

- Sistema complejo.
- Altos costos de mantenimiento.
- Pérdidas por descongelación.
- Altos costos de la unidad de refrigeración.

Costos:

- \$ Costo del Tanque: \$20 - \$25/TR-hr (basado en un tanque de 14,000 TR-h).
- \$ Aditamentos del tanque: \$70-\$470/TR (bombas, válvulas, controles, etc.).
- \$ Máquina de hielo: \$1200/TR

Rendimiento:

- 1.0 – 1.1 kW/TR

2.2.5 Hielo en suspensión.

Estos son equipos de almacenamiento térmico donde una suspensión de hielo es producida y almacenada por la circulación de una solución desde el tanque de almacenamiento a través de una máquina que genera dicha suspensión. En el generador de la suspensión, un refrigerante en evaporación enfría la solución, produciendo cristales de hielo discretos dentro de la solución, la cual es retornada y retenida dentro del tanque de almacenamiento. Durante el período de descarga (enfriando), el refrigerante secundario que retorna caliente se hace circular a través del tanque de almacenamiento (directamente o por el generador de hielo en suspensión el cual puede hacer las veces de generador de hielo o de chiller) donde es enfriado al fundirse los cristales de hielo dentro de la suspensión.

Ventajas:

- Se utilizan chillers convencionales.
- Se requiere menos almacenamiento que en los sistemas que solo utilizan agua.
- Se utiliza agua para cargar y descargar.

Desventajas:

- La temperatura de descarga es alta.
- Pobre deshumidificación.
- Se requiere más almacenamiento que en los sistemas que utilizan hielo.
- Corrosión potencial del sistema.

Costos:

- \$ Costo del Tanque: \$100-150/TR-hr
- \$ Reducción del chiller: \$250/TR

Rendimiento:

- 0.6-0.7 kW/TR

2.3 Comparación de las técnicas de acumulación de frío.

Técnica	Ventajas	Desventajas	Costos	Rendimiento
Agua u otro fluido enfriado	- Se utilizan chillers estándar. - Manejo eficiente. - Económico para sistemas grandes. - Fiable. - Simple. - Puede utilizarse como protección contra fuego.	- Baja densidad de energía. - Potenciales limitaciones de espacio. - Máxima densidad del agua a 3,9 °C.	\$ Tanque: \$28 - \$43/TR-h (basado en un tanque de 14,000 TR-h). \$ Aditamentos del tanque: \$70 - \$470/TR (bombas, válvulas, controles, etc.). \$ Reducción del Chiller: \$250/TR.	0.60-0.65 kW/TR.
Hielo en un serpentín (descongelación externa)	- Modular. - Diseño estático y simple. - Fiable. - Apto para la distribución de aire frío.	- Se utiliza un fluido secundario. - Se requiere un chiller que tenga una temperatura de salida de ~ (-4,4°C).	\$ Tanque: \$60/TR-hr (basado en un tanque de 190 TR-hr nominales) \$ Reducción del chiller: \$450/TR	0.85-1.0 kW/TR
Hielo en un serpentín (descongelación Interna)	- Modular. - Apto para la distribución de aire frío.	- Altas cargas de refrigerante. - Se opera a bajas temperaturas de succión. - La eficiencia varía con el espesor del hielo.	\$ Tanque: \$90/TR-hr	0.95-1.2 kW/TR
Hielo encapsulado	- Diseño estático. - Fiable. - Apto para la distribución de aire frío.	- El rendimiento depende del tanque. - Se utiliza un fluido secundario. - Se requiere un chiller que tenga una temperatura de salida de ~ (-4,4°C). - El sistema hidráulico es abierto.	\$ Tanque: \$50-70/TR-hr \$ Reducción del chiller: \$450/TR	0.85-1.2 kW/TR
Máquina de hielo enfriadora de agua	- Soporta altas velocidades de descarga. - Puede utilizarse como chiller. - Separa la producción y el almacenaje. - Permitido para la distribución de aire frío.	- Sistema complejo. - Altos costos de mantenimiento. - Pérdidas por descongelación - Altos costos de la unidad de refrigeración.	\$ Tanque: \$20 - \$25/TR-hr (basado en un tanque de 14,000 TR-h). \$ Aditamentos del tanque: \$70-\$470/TR (bombas, válvulas, controles, etc.). \$ Máquina de hielo: \$1200/TR	1.0 – 1.1 kW/TR
Hielo en suspensión	- Se utilizan chillers convencionales. - Se requiere menos almacenamiento que en los sistemas que solo utilizan agua. - Se utiliza agua para cargar y descargar	- La temperatura de descarga es alta. - Pobre deshumidificación. - Se requiere más almacenamiento que en los sistemas que utilizan hielo. - Corrosión potencial del sistema.	\$ Tanque: \$100-150/TR-hr \$ Reducción del chiller: \$250/TR	0.6-0.7 kW/TR

Tabla 2.1 Comparación entre las técnicas de acumulación de frío.

2.4 Conclusiones Parciales

1. Existe una gran variedad de técnicas empleadas en la actualidad para la acumulación de frío, con varios años de desarrollo y perfeccionamiento.
2. Tomando en cuenta el rendimiento y los beneficios que trae acarreada la acumulación por agua enfriada, esta consiste en una de las opciones más atractivas y simples de implementar.
3. Los sistemas que emplean hielo, pueden almacenar mayor cantidad de frío en menor espacio, pero los costos y el rendimiento son más desfavorables que en aquellos que emplean agua fría.

Capítulo 3

Capítulo 3 Estudio de factibilidad de la utilización de técnicas de acumulación de frío en instalaciones turísticas.

3.1 Características de la instalación turística.

Para el estudio de factibilidad se tomó como instalación de prueba un hotel de categoría cuatro estrellas, con una capacidad de ciento cuarenta y seis habitaciones en el edificio principal y dos suite en el sexto y séptimo piso. Cuenta también con un bloque de trece cabañas ubicadas en el área de la piscina.

Este hotel está construido con una estructura de concreto con paredes exteriores de bloque doble de quince centímetros de espesor y un espacio de aire en el centro, paredes interiores de bloque sencillo, con ventanas de cristal en el edificio principal con vista a la parte norte y puertas de madera en el pasillo sur.

Las cabañas están construidas de forma similar solo que la pared del lado norte es de cristal; tanto la tienda como el restaurante también poseen áreas acristaladas muy grandes con grandes ganancias de calor en esta zona.

3.1.1 Características del sistema de climatización del hotel.

El hotel posee un sistema de climatización centralizado por agua helada alimentado por dos enfriadoras de agua marca CHAW-T 1402.

El circuito frigorífico está constituido básicamente por:

- Válvulas de líquido de cierre manual.
- Filtros deshidratadores con cartuchos recambiables.
- Visores de líquido con indicador de humedad.
- Válvulas de expansión termostáticas con equilibrados de presión externa.
- Válvulas de acceso tipo obús.
- Válvulas solenoide en línea de líquido.
- Mangueras antivibratorias en succión y descarga.

- Silenciador en la descarga.

3.1.1.2 Datos de chapa de los equipos.

Unidades enfriadoras	Temp. entrada aire: 30 °C
FRIOCLIMA	Refrigerante: R-22
Modelo: CHAW –T 1402	FLA: 335 ^a
No. Serie: 409294	Peso 4135Kg.
Capacidad frig: 386,97 kW	Año: 2000
Potencia abs: 114,6 kW	3F/60Hz/380V
Temp salida del agua: 6 °C	
Evaporador	Válvula de expansión
Modelo: CHAW 1402	Modelo: CHAW 1402
No Serie: 100434	No Serie: 100436
Presión Prueba: 20 bar	Presión prueba:30 bar
Presión máx. serv: 12 bar	Presión máx. serv: 20 bar
Volumen: dm ³	Temp. máx. serv: 100 °C
Temp. máx. serv: 30 °C	Refrigerante: R-22
Temp. mín. serv: 5 °C	
Año: 2000	
Fan – coil FBH -6	
Capacidad frigorífica:	5,4 kW.
Caudal de aire :	275 l / s.
Presión estática disponible:	40 Pa.
Potencia eléctrica:	230w, 220volt ,60 Hz.
Dimensiones:	1174*515*278 (mm).
Fan – coil FBH – 4	
Capacidad frigorífica:	3.78kW.
Caudal de aire :	192 l / s.
Presión estática disponible:	40Pa
Potencia eléctrica:	230w, 220volt,60 Hz
Dimensiones:	924*515*278 (mm)

Datos de las bombas (Bombas ITUR)				Datos de los motores						
No de bomba	Q (m ³ /h)	r.p.m	H (m)	Motor	V	Hz	r.p.m	kW	A	cos ϕ
10, 9, 8	24	1750	20	3 ~ M2AA 100 LB-4	380 Y	60	1720	3	6.6	0.81
					220 D	60	1720	3	11.4	0.81
7, 6, 5	52	1750	25	3 ~ M2AA 132 M-4	380 D	60	1735	7.5	15.3	8.86
					660 Y	60	1735	7.5	8.8	8.86
4	10.9	1750	30	3 ~ C.I.F IP55 M2AA 100 LB-4	380 Y	60	1715	3	6.58	0.58
					220 D	60	1715	3	11.4	0.58

Tabla 3.1 Características del sistema centralizado del hotel.

3.1.2 Tarifa eléctrica.

La tarifa aplicada por la Empresa Eléctrica a este centro es la M2C, la que consiste en:

- \$ 3:00 mensual por cada kW. De máxima demanda contratada.
- \$ 0,17 por cada kWh. Consumido en horario pico.
- \$0,095 por cada kWh. Consumido en horario del día.
- \$0,06 por cada kWh. Consumido en horario de la madrugada.
- Si la demanda máxima registrada es mayor que la contratada, se facturará al precio de la tarifa y el exceso al triple de su valor (\$ 9:00).

Horarios de aplicación de la tarifa.

- Horario pico: 18:00 a 22:00 (6 p.m. a 10 p.m.)
- Horario de la madrugada: 22:00 a 06:00 (10 p.m. a 6 a.m.)
- Horario del día: 06:00 a 18:00 (6 a.m. a 6 p.m.)

3.1.3 Cálculo del consumo de climatización.

El consumo de climatización está diseminado en varias zonas dentro de la instalación. Para el estudio del consumo, estas zonas se han separado y analizado por partes para una mejor exactitud en los resultados. Dichas zonas son:

1. 13 Cabañas, una en la esquina este, una en la esquina oeste y 11 intermedias.
2. Cabaret.
3. Oficina doble.
4. 13 Oficinas, una en el lado norte, una en el lado sur y 11 intermedias.
5. Restaurante.
6. Tienda.
7. Edificio de habitaciones: En el piso 7(ultimo piso) tiene una habitación en la esquina este, una en la oeste y 21 intermedias. En los restantes pisos climatizados del 2 al 6 cuenta con 5 habitaciones en la esquina este, 5 en la oeste y 105 intermedias.

3.2 Construcción de la curva de cargas horarias y determinación del potencial de acumulación.

Es de suma importancia para la aplicación de los sistemas de acumulación de frío la construcción de la curva de cargas. Esta curva es necesaria porque constituye el primer paso para la determinación de cuanto podemos almacenar y a que pico de demanda nos enfrentaremos, ya que nos da la sucesión de cargas horarias de frío durante todo un día. De la construcción de esta gráfica parten todos los demás parámetros a tener en cuenta, constituyendo así la columna vertebral para el dimensionado de los componentes del sistema.

3.2.1 Determinación de cargas del edificio.

Habiendo escogido para el cálculo de este sistema el hotel descrito anteriormente, utilizamos los datos provenientes de un simulador desarrollado por la universidad

(UABC) para la obtener el comportamiento de las cargas térmicas de la instalación durante cada hora del día.

3.2.2 Breve explicación del funcionamiento del simulador empleado.

Los simuladores térmicos de edificios son programas computacionales que permiten determinar el comportamiento energético y describir características importantes de edificaciones. Tienen un costo inicial elevado además de tener que pagar una patente mientras esté siendo usado. Los paquetes de modelación no permiten el cambio de algunas de las variables que influyen en el cálculo de las cargas térmicas.

El simulador desarrollado por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) es utilizado en este trabajo por cortesía del Instituto de Ingeniería de dicha Universidad en base a los programas de colaboración entre la UABC y la UCF. Permite este programa entrar en los archivos de datos primarios y poder configurar todos los parámetros climatológicos y constructivos del local así como hacer todas las corridas pertinentes variando los datos que se requieran y obteniendo diferentes comportamientos de las cargas de enfriamiento.

Los aspectos conceptuales y los procedimientos de cálculo que se utilizan en este simulador están basados principalmente en manuales de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE). Estos conceptos y procedimientos, así como la metodología que proponen en el método de Funciones de Transferencia, han sido adaptados a las condiciones y requerimientos regionales, instrumentados con sistemas computacionales e integrados con datos climatológicos y parámetros técnicos y económicos locales, de tal forma que permiten construir paquetes de simulación para casos específicos.

El método de las funciones de transferencia es considerado uno de los más precisos para el cálculo térmico. Otros métodos están considerados como simplificaciones del mismo. La metodología requiere del uso de funciones de transferencia por conducción y

de factores de ponderación, de coeficientes para el cálculo de transmitancia y absorbancia en vidrio y de coeficientes normalizados para funciones de transferencia al aire del espacio, entre otros. Estos factores y coeficientes son obtenidos de bases de datos y de manuales de ASHRAE.

3.2.3 Cálculo de la carga de enfriamiento (SCRW4)

SCRW4 es el nombre del archivo que se emplea en el simulador como pantalla de control de alimentación de información así como de presentación de los resultados de potencia (o también llamada carga de enfriamiento horaria) para cada día analizado. En esta hoja se reportan los requerimientos de enfriamiento una vez integradas todas las ganancias de calor instantáneas y convertidas en potencia de enfriamiento horaria. En este archivo se requiere introducir la temperatura máxima y mínima de diferentes días seleccionados como días seleccionados a conveniencia. Los cuales no son más que aquellos en los que las temperaturas son más elevadas y por lo tanto aportan mayor exactitud al cálculo de la simulación.

Estos datos se utilizan junto con un modelo tipo función de Fourier para obtener el perfil de temperatura horaria del día en cuestión. Asimismo se requerirán para obtener las correspondientes temperaturas horarias aire-sol.

3.2.4 Cálculo de temperaturas horarias (MEX1TH)

MEX1TH corresponde al nombre del archivo que contiene la función de Fourier empleada para calcular la temperatura horaria ambiente a partir de los datos de temperaturas máxima y mínima del día obtenido en el archivo SCRW4.

$$\hat{T}(t) = \langle m \rangle + A \cos\left(\frac{2t}{24}\right) + B \sin\left(\frac{2t}{24}\right); \quad t = 1, 2, 3 \dots 24$$

donde $\hat{T}(t) = \frac{T_{max} - T(t)}{T_{max} - T_{min}}$, $\langle m \rangle = 058812$, $A = 0.20105$, y $B = 0.10617$ para la provincia de Cienfuegos.

3.2.5 Cargas que se consideran en el cálculo:

Cálculo de ganancia de calor en techo (GT4SW), muro norte (GN4SW), muro sur (GS4SW), muro este (GE4SW) y muro oeste (GO4SW).

Ganancias de calor a través de puertas y ventanas (GVP4SW).

Ganancia de calor debida a personas, iluminación, equipo, infiltración y ventilación (EQ4W).

3.2.6 Obtención del perfil de cargas térmicas en un día completo por horas.

Para obtener el perfil de cargas horarias, se toma como base el archivo SCR4W del simulador, donde podemos encontrar el estudio de días significativos durante dos meses del año que en este caso son junio y agosto. Ahora bien, tenemos la información de varios días en dos meses y para el cálculo del sistema de almacenamiento solo necesitamos el comportamiento en un día típico. Para seleccionarlo tomamos todos los valores de temperaturas máximas y calculamos el promedio de ellas, lo mismo se hace con las temperaturas mínimas. Con estos dos promedios se busca el día que más se acerque tanto al promedio de las temperaturas altas como al de las bajas, teniendo así el día típico. En este caso ese día fue el 4 de agosto del año 2000.

Una vez que tenemos el día, se recopila la información del comportamiento horario de las cargas térmicas de cada parte de la instalación y se multiplica por el número de locales que en dicha parte se encuentren. Luego de esto se suman todas las cargas obteniéndose la carga total horaria de todas las habitaciones y locales conectados al sistema de climatización centralizada.

Horas (h)	Carga térmica total (BTU/H)	Carga térmica total (TR)
1	729353	60,8
2	715369	59,6
3	646968	53,9
4	604519	50,4
5	616304	51,4

6	587635	49,0
7	687546	57,3
8	878130	73,2
9	693057	57,8
10	706336	58,9
11	756691	63,1
12	898672	74,9
13	997856	83,2
14	1083350	90,3
15	1092936	91,1
16	1109364	92,4
17	1299497	108,3
18	1162290	96,9
19	1155534	96,3
20	1122096	93,5
21	1095658	91,3
22	1070852	89,2
23	977622	81,5
24	998149	83,2

Tabla 3.2 Carga térmica total horaria

3.2.7 Construcción de la curva de cargas horarias y determinación del potencial de acumulación.

En este punto se construye un gráfico que muestra el comportamiento de la carga horaria (ver fig. 3.1), lo cual nos da una idea de cuanto frío podríamos acumular en las horas de la madrugada.

Para tener una idea más exacta de la capacidad de almacenamiento posible en la madrugada se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se toma la capacidad frigorífica máxima del chiller instalado que en este caso es de 110 TR.
2. Se le resta a esta capacidad, la carga de cada hora del día determinando el excedente que puede almacenarse.
3. Se suman los excedentes de carga en el horario de la madrugada comprendido en la tarifa eléctrica más conveniente, obteniendo como resultado la cantidad

total de frío que podemos acumular en dicho lapso de tiempo (ver tabla 3.3 y fig. 3.1).

Horas (h)	Capacidad de almacenamiento (TR)
1	49,2
2	50,4
3	56,1
4	59,6
5	58,6
6	61,0
7	52,7
8	36,8
9	52,2
10	51,1
11	46,9
12	35,1
13	26,8
14	19,7
15	18,9
16	17,6
17	1,70
18	13,1
19	13,7
20	16,5
21	18,7
22	20,8
23	28,5
24	26,8

Tabla 3.3 Capacidad de almacenamiento horaria.

De esta forma obtenemos una cantidad posible a almacenar que debe suplir aquella que se necesita para satisfacer las cargas térmicas durante el horario de pico eléctrico comprendido entre las 18:00 y las 22:00 horas. Ya que la capacidad posible a cargar en la madrugada es en este caso de 350TR-h y la necesaria para suplir durante el pico eléctrico es de 378TR-h, por lo que si se desea evitar el consumo en el horario pico es necesario extender el tiempo de carga una hora más durante el horario diurno con lo cual tenemos posibilidad de aumentar la capacidad de almacenamiento hasta 411TR-h.

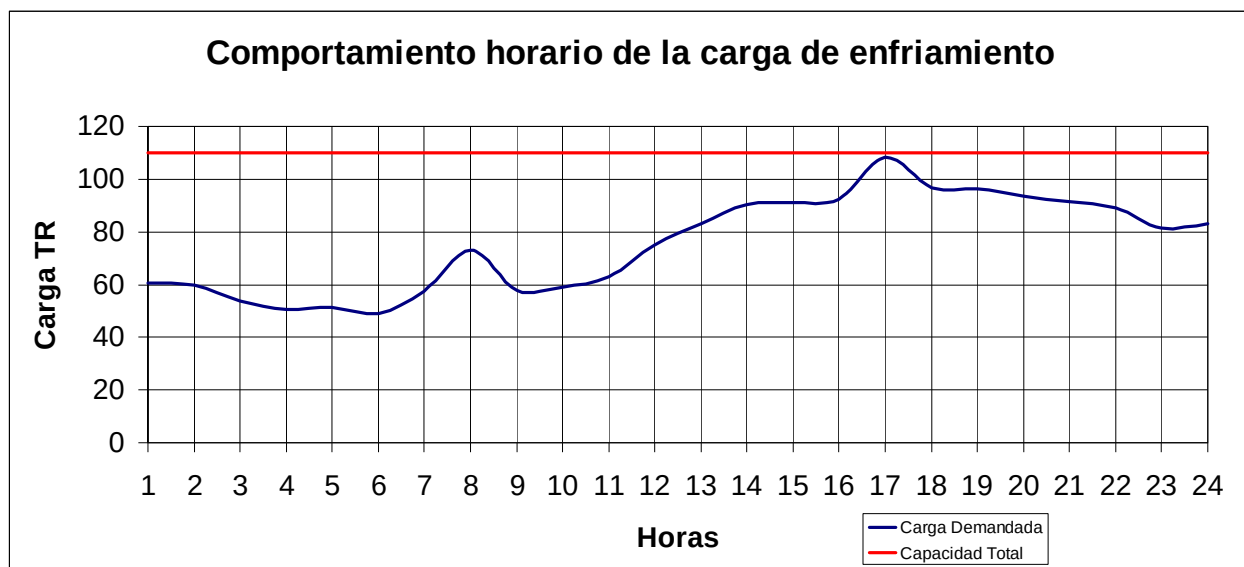


Fig. 3.1 Curva de cargas horarias en un día típico.

3.3 Selección del sistema y dimensionado de los componentes.

Para el análisis de factibilidad de un sistema de acumulación de frío en el hotel, se escogió un sistema de acumulación de agua fría. Esto debido a las grandes ventajas que este tipo de tecnología ofrece para su implementación en el país, por no tener que hacer grandes cambios en las instalaciones ya existentes sino que pueden utilizarse todos los componentes antiguos con solo pequeñas modificaciones y la introducción de un tanque para la acumulación. La mayor limitación que trae consigo dicho método son las grandes dimensiones que tiene el tanque, por lo que se recomienda su empleo en sistemas pequeños.

Para el dimensionado del sistema se decidió optar por almacenar **400TR-h**, dejando de esta forma un excedente acumulado con el cual podría paliarse un déficit de frío en días extremadamente calurosos y, también, una reserva para vencer las pérdidas inevitables que surgen en el tanque.

A partir de la búsqueda bibliográfica se decide emplear la tecnología de acumulación de frío por **agua enfriada**, la que ofrece buenos rendimientos e inversión inicial muy favorable (se utilizará uno de los chillers ya existentes en la instalación).

Igualmente se decide utilizar la estrategia de **almacenamiento completo**, con la que se pretende trasladar la carga demandada en el horario pico hacia el horario de la madrugada, donde la tarifa eléctrica es más económica.

3.3.1 Dimensionado del tanque de almacenamiento.

Para el dimensionado del tanque de almacenamiento se utilizan como referencia los valores propuestos por la Guía de Diseño ASHRAE para Almacenamiento de Frío (ASHRAE Design Guide for Cool Thermal Storage) [2]. La tabla 3.4 muestra un resumen de los valores recomendados según el medio de almacenamiento:

Medio de almacenamiento	Volumen (m ³ /TR-h)	Temperatura de almacenamiento (°C)	Temperatura de descarga (°C)	Ventajas
Agua fría	0,3 – 0,6	3,9 – 6,6	5 – 7,7	Pueden emplearse chillers ya existentes; el agua del tanque de almacenamiento puede emplearse como protección contra incendios
Hielo	0,068 – 0,093	0	1,1 – 2,2	Altas tasas de descarga; gran potencial para sistemas de aire a baja temperatura
Sales eutécticas	0,17	8,3	8,8 – 1	Pueden emplearse chillers ya existentes

Tabla 3.4 Dimensionado del tanque para las diferentes técnicas de acumulación ^[2].

De acuerdo con las consideraciones descritas anteriormente procedemos al cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento para la capacidad requerida de 400TR-h. Para esto tenemos un rango que está entre 0,3 y 0,6 (m³/TR-h) y tomamos entonces un valor medio de 0,45 (m³/TR-h).

$$V_{Tanque} = 0,45 \cdot TR - h \quad [m^3]$$

$$V_{Tanque} = 0,45 \cdot 400$$

$$V_{Tanque} = 180 m^3$$

3.3.2 Características básicas del sistema de acumulación diseñado.

Medio de almacenamiento:	Agua enfriada
Temperatura de almacenamiento:	6 °C
Tipo de Tanque:	
	Material: Concreto
	Volumen: 180 m ³
Estrategia de Operación:	Almacenamiento completo
Otros componentes del sistema:	Bomba de circulación del agua fría, válvulas, controles, etc.

3.3.3 Estimación del costo de la inversión.

Para completar este apartado se utilizan como referencia los valores recomendados en la Guía de Diseño ASHRAE para Almacenamiento de Frío (ASHRAE Design Guide for Cool Thermal Storage) [2].

- Costo del tanque: \$28 - \$43/TR-h. Tomando un valor medio de \$35/TR-h el costo del tanque es \$ 14 000.
- Costo de los aditamentos del tanque (bombas, válvulas, controles, etc.): \$70 - \$470/TR. Tomando un valor medio de \$100/TR el costo de los aditamentos es \$ 11 000.

3.4 Análisis de factibilidad económica.

Como punto fundamental de este trabajo de diploma se encuentra el estudio de factibilidad económica del empleo de la técnica de acumulación de frío en el hotel de referencia.

Existen varios métodos que se emplean para estimar la conveniencia económica de cualquier inversión. La medida de conveniencia económica más básica es el período de recuperación simple, método que empleamos en este estudio.

3.4.1 Período de Recuperación Simple de Inversión:

En aquellos casos en que los ahorros anuales son constantes, el período de recuperación simple será:

Recuperación Simple de Inversión (RSI) (años) = [Inversión en Capital] / [Ahorros anuales netos]

Obviamente, un período de recuperación corto supone una conveniencia económica. Muchas empresas requieren que sus inversiones tengan períodos de recuperación simple de dos años o menos, independientemente de la vida esperada del proyecto

De acuerdo con lo anterior resulta necesario valorar el ahorro anual que representa el empleo de las técnicas de acumulación de frío en el consumo energético del hotel.

3.4.2 Cálculo del ahorro anual.

El ahorro anual neto a obtener con la inversión proviene del desplazamiento del consumo energético del chiller del horario pico hacia el horario madrugada donde la tarifa eléctrica es notoriamente más baja. Para ello es necesario determinar el consumo eléctrico en las condiciones actuales y estimar el que se obtendría con la implantación de la inversión propuesta.

➤ **Cálculo del consumo eléctrico en las condiciones actuales**

1. Consumo de energía en el horario pico.

Teniendo en cuenta la tarifa eléctrica M2C tenemos que, en el horario pico, la energía eléctrica cuesta \$ 0,17 por cada kWh consumido. Para obtener el consumo eléctrico del chiller en este período, calculamos la potencia eléctrica demandada en cada hora en función de la carga de refrigeración. Para esto aplicamos el siguiente cálculo:

$$COP = \frac{Cap\ refriger\ [kW]}{Potencia\ consumida\ [kW]}$$

$$Potencia\ consumida\ [kW] = \frac{Cap\ refriger\ [kW]}{COP}$$

Obtenemos así la potencia eléctrica demandada por el chiller para cada hora comprendida en este caso dentro del pico eléctrico, con lo cual podemos averiguar el consumo involucrado en este intervalo bajo condiciones normales de trabajo. El valor del COP en este caso lo tomamos del catálogo del fabricante del chiller bajo las siguientes condiciones: Temperatura de salida del agua enfriada (6 °C), temperatura del aire en la entrada del condensador (30 °C), COP = 3,02.

Horas	Carga Térmica (kW-h)	Potencia eléctrica consumida (kW-h)	Total consumido (kW-h)
18	340,6	112,8	440,1
19	338,7	112,1	
20	328,9	108,9	
21	321,1	106,3	

Tabla 3.5 Consumo eléctrico en el horario pico.

Aplicando la tarifa para las horas pico tenemos que lo consumido equivale a \$74/día
Lo mismo hacemos para buscar los consumos durante las demás horas determinando:

- Consumo de energía en el horario madrugada.
- Consumo de energía en el horario diurno.

Resumen del consumo eléctrico en las condiciones actuales.

Horario	Carga Térmica (kW-h)	Potencia eléctrica consumida (kW-h)	Costo \$/día
Pico	1329,3	440,1	210
Madrugada	1863,7	617,1	
Diurno	3162,6	1047	
Total	6355,6	2104,2	

Tabla 3.6 Consumo térmico y eléctrico en condiciones normales.

➤ **Cálculo del consumo eléctrico con el sistema de acumulación de frío.**

Como se explicó anteriormente al utilizarse el sistema de acumulación de frío es posible desplazar todo el consumo energético del chiller en la hora pico hacia la madrugada y una hora del horario diurno, de acuerdo con ello se obtienen los resultados que se muestran en la tabla siguiente:

Horario	Carga Térmica al chiller (kW-h)	Potencia eléctrica consumida (kW-h)	Costo \$/día
Pico	0	0	168
Madrugada	3096	1025,1	
Diurno	3377,3	1118	
Total	6473,3	2143,1	

Tabla 3.7 Consumo térmico y eléctrico con acumulación.

Ahorros anuales netos.

Los ahorros anuales netos podemos obtenerlos a partir de los ahorros diarios que genera la implementación del sistema de acumulación.

$$\text{Ahorro diario} = (\text{Costo sin acumulación}) - (\text{Costo con acumulación})$$

$$\text{Ahorro diario} = 210 - 168$$

$$\text{Ahorro diario} = 42 \text{ \$ / día}$$

$$\text{Ahorros anuales} = (\text{Ahorro diario}) \cdot 365$$

$$\text{Ahorros anuales} = 42 \cdot 365$$

$$\text{Ahorros anuales} = \$ 16425$$

3.4.3 Recuperación de la inversión.

Teniendo el monto de los ahorros anuales netos y del capital de la inversión, podemos obtener el periodo de Recuperación Simple de la Inversión.

Recuperación Simple de Inversión (RSI) (años) = [Inversión en Capital] / [Ahorros anuales netos]

$$\text{Recuperación Simple de Inversión (RSI) (años)} = [25000] / [16425]$$

$$(\text{RSI}) = 1,52 \text{ años.}$$

3.5 Conclusiones parciales.

1. Para el análisis de factibilidad del sistema de acumulación de frío en el hotel, se escogió un sistema de acumulación de calor sensible por agua fría debido a las grandes ventajas que este tipo de tecnología ofrece para su implementación en el país (no requiere de grandes cambios en las instalaciones ya existentes, pueden utilizarse todos los componentes antiguos con solo pequeñas modificaciones).
2. El sistema se dimensiono para almacenar **400TR-h**, con una estrategia de **almacenamiento completo**, con la que se pretende trasladar la carga demandada en el horario pico hacia el horario de la madrugada, donde la tarifa eléctrica es más económica.
3. El estudio de factibilidad económica de la inversión arrojó resultados positivos pues el período de recuperación simple de la inversión (RSI) es de 1,52 años, menor del habitualmente aceptado (2 años).

Conclusiones

1. Las técnicas de acumulación de frío son utilizadas en las instalaciones de refrigeración o de climatización industrial con el objetivo de disminuir la capacidad frigorífica a instalar, la demanda de energía eléctrica y los costos operacionales asociados. Su empleo conduce a sustanciales beneficios tanto para los usuarios como para las compañías eléctricas y la sociedad en general.
2. Existe una gran variedad de técnicas empleadas en la actualidad para la acumulación de frío, con varios años de desarrollo y perfeccionamiento. La acumulación de calor sensible por agua fría constituye una de las opciones más atractivas y simples de implementar (considerando el rendimiento y los beneficios que trae acarreada) mientras que los sistemas que emplean hielo (calor latente) pueden almacenar mayor cantidad de frío en menor espacio, pero los costos y el rendimiento son más desfavorables que en aquellos que emplean agua fría.
3. Existen diversas estrategias de almacenamiento: total y parcial. La correcta selección de este elemento acarrea importantes ahorros para las entidades que se decidan por la acumulación de frío.
4. Se dimensionó un sistema de almacenamiento de frío para una instalación turística con capacidad de **400TR-h**, con una estrategia de **almacenamiento completo**, que permitiría trasladar la carga demandada en el horario pico hacia el horario de la madrugada, donde la tarifa eléctrica es más económica.
5. El estudio de factibilidad económica de la inversión arrojó resultados positivos pues el período de recuperación simple de la inversión (RSI) es de 1,52 años, menor de lo habitualmente aceptado (2 años).

Recomendaciones

1. Profundizar los aspectos técnico-constructivos del sistema de acumulación de frío propuesto con la realización de un proyecto técnico detallado que permita su ejecución.
2. Actualizar los precios de los componentes del sistema de acumulación a las particularidades del mercado nacional, a fin de precisar los resultados obtenidos.
3. Valorar el impacto ambiental del uso de acumulación de frío por concepto de reducción de emisiones de CO₂.

Referencias Bibliográficas

1. Casal, Antonio F. Nuevas Aplicaciones de la Acumulación de Frío: Acondicionamiento de Aire y Refrigeración Urbana. Tomado de:
<http://www.enerclub.es>, 28 de abril de 2007.
2. ASHRAE Design Guide for Cool Thermal Storage. Tomado de:
http://www.pnm.com/customers/tech_guides/PDF/P_PA_28.pdf, 24 de mayo de 2007.

Bibliografía

- Armas Valdés, Juan Carlos. Gestión Energética y Potencialidades de Ahorro en el Sistema Centralizado de Climatización del Hotel Unión. / Ing. Juan Carlos Armas Valdés; Margarita J. Lapidó Rodríguez, José P. Monteagudo Yanes, tutor. — trabajo de diploma UCf (Cf), 2004. - 91h.: ilus.
- Chiller Control Plant. Michael Bitondo, Mark J. Tosi. Carrier Corporation Syracuse New York August 1999.
- Chiller- Plant Energy Performance. York International Corporation HVAC&R Engineering Mayo 2004.
- Chiller-Plant Energy Performance. York International Corporation. HVAC&R Engineering, Mayo 2004.
- Escobar Palacio, José Carlos. Análisis Estacional del Comportamiento Energético del Hotel Jagua. / Ing. José Carlos Escobar Palacio; Margarita J. Lapidó Rodríguez, José P. Monteagudo Yanes, Tutor. – trabajo de diploma UCf (Cf), 2004. – 97h.: ilus.
- Parallel Chiller Sequencing. Tomado de:
<http://tristate.apogee.net/cool/cfrcc.asp>, 22 de abril de 2007.
- Related Efficiency Upgrades Chiller Sequencing Decoupler Systems. Tomado de:
<http://tristate.apogee.net/cool/cfrcc.asp>, 25 de marzo de 2007.
- Small Chilled Water Systems. American Standars TRANE Engineering Newsletter (Canadá), 2004.
- ASHRAE Design Guide for Cool Thermal Storage. Tomado de:
http://www.pnm.com/customers/tech_guides/PDF/P_PA_28.pdf, 24 de mayo de 2007.
- Tosí, Mark J. & Bitondo, Michael. Chiller Control Plant. Carrier Corporation, Syracuse, New York, August 1999.
- Variable Speed primary chilled water pump control with two way valve direct return system Bulletin D- 120 B Powersav ITT Industries, INC 2003.
- Casal, Antonio F. Nuevas Aplicaciones de la Acumulación de Frío: Acondicionamiento de Aire y Refrigeración Urbana. Tomado de:
<http://www.enerclub.es>, 28 de abril de 2007.