

# Estrategias operacionales para el ahorro de energía en sistemas centralizados de climatización por agua helada de hoteles turísticos

## Operational strategies for power saving in Climatization Centralized Systems by means of frozen water in tourism hotels

*M. Sc. Sergio Montelíer Hernández, Dr. C. Aníbal Borroto Nordelo, Dr. C. Marcos de Armas Teyra, Dr. C. Julio Gómez Sarduy. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. (CEEMA). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Cienfuegos. Cuba.*

### RESUMEN

*Existen condiciones que determinan el rendimiento energético de un sistema de climatización. La operación de estos sistemas a su máxima capacidad es limitada, debido a que la mayoría del tiempo trabajan en condiciones de cargas parciales con una eficiencia energética es reducida.*

*En el artículo se hace un análisis de las distintas estrategias de operación que se pueden utilizar en sistemas de climatización centralizados por agua helada, con vista a reducir los costos de energía y el impacto ambiental asociado.*

*Se muestran los resultados de la implementación de la estrategia de elevar la temperatura de envío del agua helada, en un sistema centralizado de un hotel y su consecuente ahorro de energía.*

**Palabras clave:** Ahorro de energía, sistemas centralizados de climatización.

### ABSTRACT

*There are several conditions that determine the energy efficiency of an air conditioning system. The operation of these systems at its maximum capacity is a limited one since most of the time their performance is at part load conditions so their energy efficiency is restricted.*

*In this article an analysis is made about various operational strategies that can be implemented in centralized air conditioning systems to reduce the energy consumption and the associated environmental impact. The results of the implementation of the strategy for raising the temperature of chilled water supply is shown in a centralized system of a hotel as well as the energy saving associated to it.*

**Key Words:** Energy saving, chillers.

### Introducción

El sector hotelero se caracteriza en general por su elevado, y en ocasiones poco racional, consumo energético. Dentro de los costos energéticos en un hotel turístico la electricidad representa la mayor partida, y son la climatización y el alumbrado las áreas que consumen más energía eléctrica. Para hoteles del Caribe, en particular, el consumo de climatización puede representar alrededor del 65% del total del consumo de electricidad, debido fundamentalmente a las altas temperaturas, mientras que el consumo en equipos de refrigeración representa alrededor de un 14%, el alumbrado un 11%, ventiladores y bombas un 12% y la producción de agua caliente un 7% aproximadamente (Montesinos, 2008). Es por ello que cualquier programa de ahorro de energía y reducción de costos energéticos en un hotel turístico

debe enfocarse, en primer plano, hacia la eficiencia del sistema de climatización, ya que existen importantes potenciales de ahorro alcanzables con un diseño adecuado del sistema y con estrategias operacionales enfocadas al ahorro de energía.

La tendencia actual en la climatización de grandes edificaciones, incluyendo el sector hotelero, es hacia la instalación de sistemas centralizados de climatización por agua helada (SCCAH), dadas sus ventajas en cuanto a costo inicial, eficiencia, facilidades y flexibilidad de operación. El diseño y funcionamiento de los enfriadores de agua helada o chillers, ha sido y son objeto de minuciosos estudios dado el peso que tienen en el consumo total de energía.

Al evaluar los consumos energéticos de los chillers es necesario tomar en consideración las condiciones

de operación del mismo en comparación con las de diseño. (Beyeene, 2004 (plantea que los chillers con frecuencia operan por debajo del 50% de su carga máxima, y otros autores (York International Corporation, 2004) señalan que en un 99% de las horas de acción de los chillers estos operan fuera de las condiciones de diseño debido esencialmente a sobre-dimensionamiento o a la influencia de factores climatológicos.

Esta regularidad del trabajo de los chillers a cargas parciales tiene un significativo impacto en los consumos energéticos, lo cual ha provocado la investigación de diferentes estrategias que conduzcan a una operación eficiente, y por tanto a la reducción de los consumos de energía. La mayor parte del tiempo los chillers trabajan a cargas parciales, a causa principalmente de las variaciones de carga térmica de las edificaciones y las condiciones climáticas imperantes, por lo que resulta de vital importancia lograr su operación de forma eficiente bajo dichas circunstancias.

### **Estrategias operacionales para el ahorro de energía en chillers a cargas parciales**

Dentro de las estrategias operacionales más utilizadas para el ahorro de energía en los chillers se pueden mencionar las siguientes:

- Operación secuencial de chillers de diferentes capacidades
- Utilización de flujo de agua helada variable
- Operación en serie o paralelo
- Ajuste de la temperatura del agua de condensación
- Ajuste de la temperatura del agua helada

### **Operación secuencial de chillers de diferentes capacidades**

Este método se utiliza en instalaciones que cuentan de múltiples chillers de diferentes capacidades (configuración asimétrica) para vencer la carga térmica nominal. Esta estrategia ha sido muy utilizada, puesto que se logra un ajuste más eficiente del sistema ante las variaciones de carga. Por ejemplo, la carga de enfriamiento se puede cubrir escalonadamente con tres chillers, dos de igual capacidad con una distribución de la carga de 40% cada uno y uno de menor capacidad de 20% de la carga (Tosí y Bitondo, 1999).

### **Utilización de flujo de agua helada variable**

Los sistemas centralizados por agua helada se clasifican atendiendo a las características del flujo de agua en sistemas de flujo constante y sistemas de flujo variable.

Los de flujo constante, bombean el agua a las unidades terminales o fan coil, se utiliza básicamente con válvulas de dos vías, estos sistemas presentan la gran desventaja que el bombeo de agua no se realiza de acuerdo a la demanda de enfriamiento. El método del flujo variable utiliza un variador de velocidad que permite la reducción del consumo de energía en las condiciones de cargas parciales al circular menos flujo de refrigerante por el sistema.

Esta estrategia ha tenido una amplia aceptación en los últimos años, múltiples experiencias se han materializado y se han obtenido incrementos de eficiencia con su aplicación (York International Corporation, 2004; ARTI; Apogee (b); Apogee (a); PII INC, 2003). Los ahorros de energía reportados llegan hasta un 30% con respecto al consumo de un sistema con flujo constante (York International Corporation, 2004).

### **Operación en serie o paralelo**

No existe un criterio generalizado de cuál disposición es la mejor a utilizar para la interconexión de los chillers, ya que existen diferentes factores de diseño, explotación y externos que determinan las ventajas y desventajas de cada una de las formas de interconexión (Tosí y Bitondo, 1999), (ARTI), (Apogee (a)). La configuración en paralelo es muy utilizada; pero tiene la desventaja de que pueden aparecer problemas con la mezcla de las corrientes cuando uno de los chillers está fuera de servicio, lo que provoca un incremento de la temperatura del agua helada a la entrada del evaporador. La configuración en serie posibilita que el compresor del segundo chiller trabaje con una temperatura de succión más alta, lo que disminuye la potencia consumida para vencer una determinada carga térmica en alrededor de un 5%; sin embargo, aunque incrementa el consumo de bombeo en más del 20%, se pueden lograr ahorros netos de energía en el sistema del orden del 3%. (Tosí y Bitondo, 1999; ARTI).

### **Ajuste de la temperatura del agua de condensación**

La temperatura de entrada del agua de enfriamiento a los chillers tiene gran influencia en la eficiencia global del sistema. Una disminución en la temperatura del agua reduce la temperatura de condensación, y por tanto, disminuye el consumo de potencia del compresor. En general, por cada grado Fahrenheit (°F) de disminución en la temperatura de condensación la eficiencia del chiller aumenta un 2% aproximadamente.

Hay que tomar en consideración que si la temperatura en el condensador es muy baja se puede afectar

la capacidad máxima del chiller, la cual está limitada por la diferencia de presión requerida para hacer circular la masa de refrigerante necesaria a través del condensador y el dispositivo de expansión.

### **Ajuste de la temperatura del agua helada**

Una de las variables que mayor influencia tiene sobre el consumo de energía de un sistema de climatización todo agua es la temperatura del agua helada que sale del chiller y se distribuye a las áreas y locales a climatizar. Es práctica común elevar la temperatura del agua helada para ahorrar energía en los periodos de menor carga de enfriamiento o de temperaturas exteriores más bajas; sin embargo, el uso de esta estrategia requiere un especial cuidado debido a que un excesivo aumento en la temperatura de suministro del agua helada puede provocar que no se alcancen las condiciones de temperatura y humedad del aire en los locales climatizados, afectando las condiciones de confort en ellos.

Generalmente, la aplicación de este método se realiza empíricamente por el personal de operación, no logrando el aprovechamiento máximo del ahorro de energía alcanzable con el control operacional de esta variable en las diferentes condiciones climatológicas y de ocupación del hotel, o en otros casos afectando las condiciones de confort.

En el Manual Sociedad Norteamericana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Climatización (ASHRAE), Sección 40.14 (ASHRAE, 2003), se recomienda un método empírico para establecer la temperatura del agua helada, el cual en esencia consiste en monitorear la posición de las válvulas que controlan el flujo de agua en algunas manejadoras de aire representativas, e ir aumentando la temperatura del agua helada hasta que estas válvulas alcancen la posición de completamente abiertas. Este método garantiza que no se afecte el confort, pero no asegura que el consumo de energía sea mínimo, ya que considera solo el efecto de la temperatura del agua helada sobre la potencia consumida por el compresor, sin tener en cuenta el incremento del tiempo de operación del sistema.

Esta estrategia, sin dudas, provoca una reducción significativa en el consumo del chiller. No obstante, cuando el chiller trabaja totalmente descargado se produce un acercamiento entre la temperatura de retorno y la de suministro, lo cual disminuye el con-

sumo del chiller, pero puede afectar su vida útil por el hecho de disminuir los intervalos de trabajo del compresor. Esto último traería dificultades en el retorno de aceite al compresor, así como problemas de enfriamiento, ya que en la mayoría de los casos son compresores enfriados por el gas de succión.

Una investigación realizada por los autores en una instalación turística (Borroto, 2002), demuestra la efectividad de esta estrategia para reducir el consumo de energía en el sistema de climatización.

En dicho estudio se realizaron mediciones con un analizador de redes eléctricas, operando el sistema con diferentes temperaturas de agua helada, para iguales condiciones de ocupación y temperatura ambiente, monitoreando y manteniendo las condiciones de confort en las habitaciones y demás áreas del hotel. Los resultados pusieron de manifiesto que al incrementar la temperatura del agua helada en 2°C el consumo promedio del chiller disminuía en un 25,8% y el consumo de electricidad del hotel en un 13,3%. De modo que esta estrategia operacional, que no requiere inversión alguna, significó una reducción de más del 10% en los costos de energía eléctrica para el hotel, sin afectar el confort ni la calidad de los servicios.

No hay dudas de que el aumento de la temperatura del agua helada en los "chillers, constituye una estrategia atractiva, fácil de implementar en función de la ocupación del hotel y de la temperatura ambiente. Sin embargo, no se reporta en la literatura un análisis completo ni herramientas que permitan establecer la temperatura óptima del agua helada para lograr un consumo mínimo de energía, considerando que la misma influye tanto sobre la potencia que demanda el compresor, como sobre el tiempo que debe trabajar el sistema para vencer la carga de enfriamiento dada. Esto es, al aumentar la temperatura del agua helada disminuye el consumo de potencia del compresor; pero aumenta su tiempo de trabajo para vencer una carga de enfriamiento dada, lo cual condiciona la existencia de un valor óptimo de dicha temperatura para minimizar el consumo de energía dentro del rango admisible para no afectar las condiciones de confort.

Al efecto se desarrolló una metodología basada en herramientas de inteligencia artificial, un sistema neuro difuso para la modelación del chiller y un algoritmo genético para la determinación del mencionado valor óptimo de la temperatura del agua helada. La fig. 1 muestra el esquema del procedimiento.

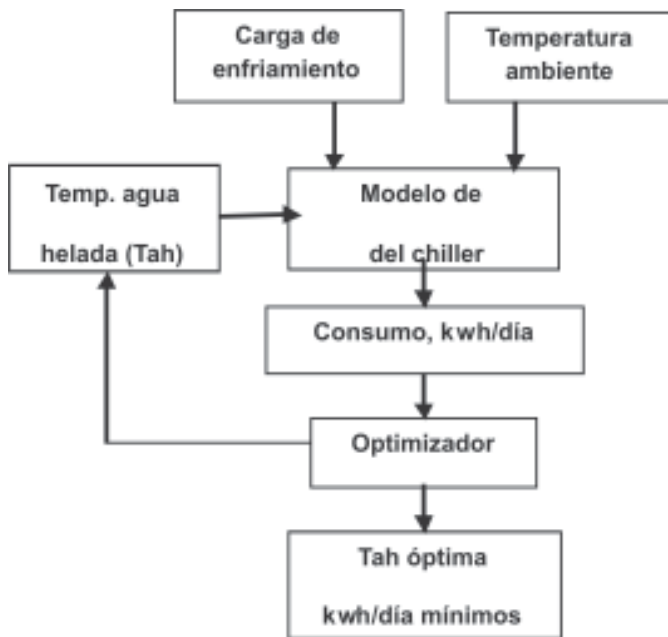


Fig. 1. Esquema del procedimiento para la determinación de la temperatura óptima del agua helada. Fuente: Elaboración propia.

Este procedimiento fue validado en el Hotel Jagua de la provincia de Cienfuegos, donde se realizaron pruebas experimentales y corridas durante 10 días para comparar el consumo de energía real del sistema de climatización con el consumo que se obtendría con la temperatura óptima determinada por el procedimiento y el software elaborado al efecto. En la Tabla 1 se reflejan los resultados.

Tabla 1. Resultados de la validación del procedimiento para la optimización de la temperatura del agua helada. Fuente: Elaboración propia.

Días de prueba	Consumo real, kwh/día	Consumo para temperatura óptima, kwh/día
1	2077,2	2070,9
2	2260,1	2091,2
3	2328,1	1793,0
4	879,2	124,9
5	2036,2	1791,8
6	2271,1	2118,0
7	2356,5	1816,0
8	1462,0	1419,0
9	2113,2	1835,0
10	2228,1	1872,0
Promedio	2001,2	1693,2

Ahorro promedio: 308 kwh/día, equivalente a un 15,4% del consumo del chiller. Fuente: Elaboración propia.

Y en la Fig. 2. se grafican estos resultados.

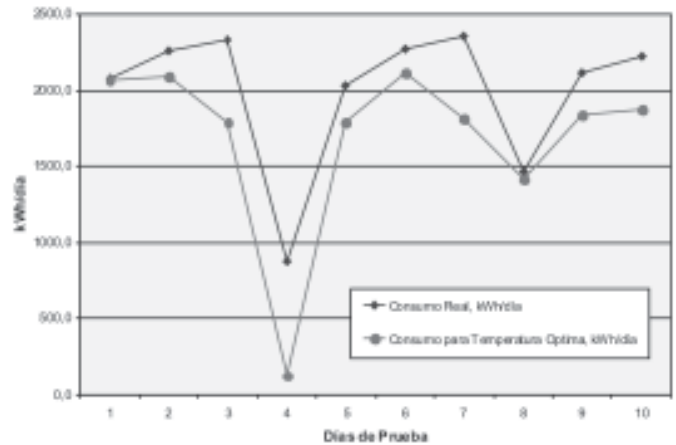


Fig. 2. Resultados de la validación del procedimiento para la optimización de la temperatura del agua helada. Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que la temperatura óptima para mínimo consumo de energía difería de la real utilizada en valores que en varios casos no superaban 1°C, el ahorro de energía era significativo, reafirmando la gran influencia que tiene dicho parámetro sobre el consumo de energía del chiller.

### Conclusiones

1. Los sistemas centralizados por agua helada operan frecuentemente fuera de las condiciones de diseño, existiendo diversas estrategias operacionales para el ahorro de energía.

2. Dentro de estas estrategias operacionales el ajuste de la temperatura del agua helada es una de las que con mayor frecuencia se utiliza. Sin embargo, su aplicación se realiza por procedimientos empíricos o aproximados los que no permiten alcanzar el mínimo consumo de energía.

3. El estudio de la influencia de la temperatura del agua helada sobre el consumo del Chiller permitió demostrar que, dentro del rango de temperaturas que garantiza las condiciones de confort, existe un valor óptimo de dicha temperatura, el que posibilita minimizar el consumo de energía para unas condiciones de temperatura exterior y ocupación dadas. Este valor óptimo responde a la influencia contrapuesta de la potencia consumida por el compresor y del tiempo de trabajo del sistema al variar la temperatura del agua helada.

4. El procedimiento desarrollado se basa en un algoritmo genético, permite determinar cuál es la temperatura del agua helada que garantiza mínimos consumos de energía para unas determinadas con-

diciones climáticas y de ocupación del hotel, y constituye la base para la aplicación de una estrategia operacional para el ajuste de la temperatura del agua helada en los chillers que maximizan el ahorro de energía sin afectar las condiciones de confort.

5. El potencial de ahorro de energía alcanzable mediante la aplicación de la metodología y las herramientas desarrolladas en el caso utilizado para su validación, es superior al 15% del consumo del chiller en los meses de mayor carga de climatización.

### **Bibliografía**

Apogee (a). Parallel chiller sequencing en Cooling Systems Alternatives. [Consulta: Julio 2005]. Disponible en: <http://tristate.apogee.net/cool/cfrcc.asp>.

Apogee (b). Related efficiency upgrades chiller sequencing decoupler systems en Cooling Systems Alternatives. [Consulta: Junio 2005]. Disponible en: <http://tristate.apogee.net/cool/cfrcc.asp>.

ARTI. Final Report on the Benefits of Variable Primary Flow Chilled Water Systems. [Consulta: Mayo 2005]. Disponible en: <http://www.arti-21cr.org/>

ASHRAE. 2003. Air-Conditioning Engineers Applications Handbook. Atlanta. Georgia. Chapter 12. 18 p.

Beyeene, A. A preliminary assessment of strategies to raise the off-design energy efficiency of chiller machines. CIEE Project Highlight. Energy Institute. Department of Mechanical Engineering. San Diego State University, USA. [Consulta: Marzo 2004]. Disponible: <http://www.osti.gov/bridge/purl.cover>

Borroto, Aníbal. 2002. .../et. al./. Informe final de la aplicación de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía en el Hotel La Unión. Universidad de Cienfuegos. 12 p.

Ferrán, Assumpta. 2003. Energy Management in Hotels and Implanting Environmental Labels. España: ICAEN. 29 p.

Montesino, Milagros. 2005 .../et. al./. Gestión de la Energía en Hoteles Turísticos en Cuba. Informe Técnico. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos 14 p.

P. I. I. INC, "Variable speed primary chilled water pump control with two way valves direct return system", Bulletin D- 120 B, 2003, P.115-118.

Tosí, M. J. ; Bitondo, M. 1999. Chiller control plant. Carrier Corporation. Syracuse New York. EUA. 6 p.

York International Corporation. 2004. Chiller- Plant Energy Performance. HVAC&R Engineering, Mayo. 8 p.

Recibido: 15-04-08  
Aceptado: 21-10-08