

Caudal variable en la climatización centralizada de hoteles (parte 1)

Variable flow in centralized climatization of hotels. (part 1)

MSc. Reineris Montero Laurencio montero@ismm.edu.cu, MSc. Ever Góngora Leyva.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

MSc. Yarelis Valdivia Nodal. Universidad de Cienfuegos.

Dr. C. Carlos Pérez Tello. Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California. México.

Resumen

En el artículo se exponen los elementos más significativos que caracterizan los circuitos secundarios de impulsión de agua fría presentes en los sistemas de climatización centralizada por agua helada en hoteles cubanos. Mediante una estación experimental similar se demuestran las potencialidades energéticas del uso de los variadores de velocidad en un sistema de bombeo. A partir de una zona de 59 habitaciones de un hotel, se presentan algunas características termohidráulicas para diferentes condiciones de operación y se valida el comportamiento energético que puede manifestarse en los sistemas de impulsión a caudal variable. Se exponen las características más relevantes de la climatología de la región turística a donde pertenece la zona analizada. A partir de estos datos y los de ocupación, se realizó el cálculo de la carga térmica del edificio para todo un año representativo. Con los resultados de la carga térmica obtenidos con un simulador, se entrenó una red neuronal artificial capaz de predecir estos resultados con un 2,6% de desviación estándar.

Palabras clave: Ahorro de energía, carga térmica, hoteles, redes neuronales artificiales, sistemas centralizados de climatización, variadores de velocidad.

Introducción

En la actualidad cerca del 80% de los hoteles de 4 y 5 estrellas en Cuba cuentan con sistemas de climatización centralizados por agua helada (SCCAH). Aproximadamente en el 92%, la impulsión del agua fría es a caudal constante, lo que implica un uso innecesario de energía eléctrica. Este aspecto se debe

Abstract

In this paper the most important elements that characterize the secondary circuits of cold water in centralized air conditioning systems for Ice water in Cuban hotels are exposed. By means of an experimental station the energy potentialities of the use of the variable frequency drive in a pumping system were demonstrated. Starting from a building of 59 rooms of a hotel, some thermal and hydraulics characteristic for different operation conditions are presented. It allows for validating the energy behaviour presents in to variable flow drive systems. The most outstanding characteristics in the climatology of the tourist region analyzed are exposed. From these data and the occupational percent of the hotel, the thermal load of the building was calculated for a representative year. With this results an artificial neural network was trained to predict the behaviour with 2.6 % standard deviation.

Keywords: Energy saving, thermal loads, centralized air conditioning, hotels air conditioning system, variable frequency drive, artificial neural network.

fundamentalmente a la concepción inicial de los proyectos. El cambio tecnológico a realizar para obtener un flujo variable representa una inversión, la cual se amortizaría en un período inferior a los dos años con la posibilidad de disminuir el consumo de energía eléctrica hasta un 50% según cálculos teóricos.

Pueden además presentarse potencialidades de ahorros relacionadas con un menor tiempo de trabajo de las enfriadoras, las cuales representan el equipo de mayor demanda, aproximadamente unos 50 kw. El transporte del agua fría representa un consumo de energía, equivalente como promedio al 10% del total. En estas instalaciones se observa un régimen de explotación irracional, ya sea por no emplear los Variadores de Velocidad (VV) para adaptar el caudal a la demanda real de la carga térmica o por pérdidas termoenergéticas. Las bombas que garantizan la impulsión del agua operan los 365 días del año, las 24 horas del día, de aquí la importancia en mejorar su operación de conjunto con los demás elementos del sistema.

Desarrollo

En las instalaciones hoteleras, influye notoriamente en la reducción de los consumos energéticos la posibilidad de incluir mejoras tecnológicas en el equipamiento y sistemas. Las mayores potencialidades están en primer lugar en adaptar los consumos a la demanda en cada uno de los servicios y en particular en el flujo de agua fría para la climatización, lo cual se refleja en pocas instalaciones. Esta mejora cuya incidencia fundamental se manifiesta en las características hidráulicas se logra con la incorporación de un VV en las bombas de los circuitos secundarios de agua fría (CSAF). En términos de ahorro de energía eléctrica esta variante es la más efectiva, pero existen otras posibilidades de mejoras entre ellas:

- Mejoramiento del aislamiento térmico de las tuberías.
- Disminución de las infiltraciones de aire exterior en las cargas térmicas.
- Equilibrado hidráulico.
- Sustitución de las tuberías por otras con mejores prestaciones.
- Empleo de motores y bombas más eficientes.
- Calidad de la energía eléctrica suministrada.

Después de ejecutadas las inversiones, los sistemas mecánicos de la climatización centralizada quedarían calibrados. No pasa mucho tiempo en el que se muestran irregularidades principalmente el desempeño de las redes hidráulicas en su conjunto y en otros aspectos de naturaleza térmica. Muchas decisiones se toman al calor del proceso inversionista y es cuando los cálculos ingenieriles dejan de ser precisos. Adicionalmente la dinámica de explotación va marcando las regularidades de los sistemas.

En los últimos años la variante con mayor impacto energético asociada al trabajo de los CSAF resulta

el empleo de VV. Muchos programas de estimación de ahorros mediante el uso de esta técnica, suministrados por los fabricantes de sistemas de climatización, indican las posibilidades de ahorro de electricidad entre un 20 y 50%. Este porcentaje está en dependencia de las características de ocupación de la carga térmica y la relación existente entre las condiciones de diseño interior y la exterior.

Asociado al trabajo de los VV se encuentran los controles que lo gobiernan. Estos controles asimilan los modelos y los algoritmos para la regulación; pero en ocasiones es difícil estudiar los sistemas lo suficiente para calibrarlos en función de una repuesta rápida y energéticamente racional. Con la experiencia acumulada, estos controles no solo imponen un caudal en función de la variable controlada si no que además, pueden tener incorporado procedimientos de diagnóstico de la funcionalidad de las instalaciones (Liu, 2007) (Wu et al., 2007) (Yoshida; Kumar, 2007) (Ma; Wang, 2009).

Para entregarle toda la energía al fluido el elemento clave es el motor eléctrico, cuya máquina compleja debe adaptarse a las condiciones de explotación continua. No obstante la eficiencia promedio que se presenta en ellos es de alrededor del 85%. La existencia en el mercado de motores de alta eficiencia permite incorporar estos dispositivos en los CSAF, mejorando su desempeño en un 5% o superior.

A pesar de que los VV se comercializan con los filtros, cableado y otros dispositivos para la instalación en el accionamiento se generan armónicos en la onda de corriente y de tensión que dañarían a otros equipos que forman parte del sistema eléctrico. Estas deformaciones obligan a vigilar los parámetros. Una mejor calidad de la energía permite una operación y control eficientes de los motores y de las cargas eléctricas asociadas.

Las bombas centrifugas se emplean de forma generalizada en los sistemas de bombeo de agua en los SCCAH ya que garantizan una gran operatividad en los caudales. El diseño mecánico va en constante cambio y aparecen impelentes y bombas en general con mejores prestaciones.

Un elemento importante lo constituyen las redes hidráulicas. Se deben señalar tres aspectos de las mismas: su configuración, el material de fabricación y el aislamiento térmico. La configuración en malla brinda una mejor explotación de la red; pero hay que tener en cuenta que su desequilibrio puede provocar pérdidas hasta de un 20% de la energía eléctrica (Beeckmans; De Lara, 2003).

El aislamiento térmico juega un papel primordial en el comportamiento del fluido. Se realizará primero

una elección del espesor más económico además de los materiales que recubren el aislamiento para mejorar la emisividad y la absorcividad de las superficies. Menos ganancia térmica al fluido a través de las redes significa menos trabajo de compresión y de bombeo. Aun existen instalaciones hoteleras en Cuba cuyas redes son de tuberías metálicas. Estas redes pueden ser sustituidas por las plásticas o de PVC disminuyendo la fricción del fluido y ahorrando aproximadamente un 10% de la energía eléctrica en el bombeo (Montero, 2004).

Un aspecto que casi no se tiene en cuenta son las estrategias ocupacionales. Se ha planteado la variante de ocupación de los hoteles en función de las cargas térmicas de cada local. Este aspecto no siempre marcha, debido a que todos los hoteles no poseen las mismas características constructivas y esto hace que la configuración de la red hidráulica también influya notoriamente en la energética de la instalación. Estas estrategias de ocupación no se han evaluado en sistemas a caudal variable en el CSAF.

Independientemente del tipo de caudal que experimentan los CSAF existe un conjunto de características que se manifiestan de manera similar en ambos sistemas. En la Fig.1 aparece el diagrama de bloques de los elementos componentes de los CSAF encerrados en el cuadro con líneas de puntos.

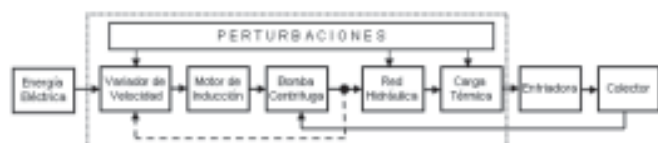


Fig.1 Diagrama en bloques de los CSAF a flujo variable.

El VV impone los parámetros de trabajo del motor y la bomba en función de una variable de referencia en este caso la presión de descarga de la bomba. Al definir el valor de set point (valor deseado) de la presión y de conjunto con su control, se impone un régimen racional satisfaciendo las necesidades del fluido ante los estados cambiantes de la red hidráulica y la carga térmica. El control del caudal mediante válvulas de estrangulamiento aun y cuando se cumple el requerimiento del flujo provoca un incremento en la presión y una muy pobre reducción del consumo eléctrico. En el sistema con VV con una reducción en el flujo de el 50% se obtiene un consumo de energía de tan solo el 12,5% de la capacidad máxima de energía en kwh de el motor (Aguirre, 2002).

Comportamiento energético a flujo variable.

Existen programas como el proporcionado por Danfoss que admiten realizar estimaciones del com-

portamiento energético de infraestructuras de bombeo para climatización. La aplicación HVAC Toolbox es una muestra de ello. Para su uso, hay que conocer ciertas características de ellas y de su régimen de operación por lo que se decidió demostrar las potencialidades del uso de variadores de velocidad en una instalación experimental. Este prototipo se encuentra en el laboratorio Mecánica de Fluidos de la Universidad Autónoma de Baja California. La red está compuesta por dos bombas con motores de 1 kw cada una, con un VV incorporado, el cual consigue cambiar los parámetros de explotación de una sola bomba o de las dos a la vez de forma similar. Estas bombas pueden operar individualmente, en serie o en paralelo. En la Fig. 2 aparece una imagen de la instalación.



Fig. 2. Banco de pruebas de bombas centrífugas con variador de velocidad.

En la Fig.3 se aprecia: la relación lineal entre el caudal(Q) y la frecuencia de trabajo del accionamiento en este caso las revoluciones por minuto (rpm); la relación cuadrática entre el caudal y la carga del sistema o presión de descarga (p) y la relación cúbica de Q con respecto a la potencia activa (P) que demanda la bomba. En la tabla. 1 aparecen

las ecuaciones características con el respectivo coeficiente de correlación.

Tabla.1 Ecuaciones de ajuste en relación a las leyes de proporcionalidad

No	Relación	Ecuación de proporcionalidad	Coefficiente de correlación
1	Q - rpm	$y = 32.706x + 4.7059$	0.996
2	Q - p	$y = 2E-05x^2 + 0.0027x + 0.0042$	0.992
3	Q - P	$y = -4E-08x^3 + 0.0001x^2 - 0.0052x + 0.0823$	0.958

La primera experimentación consistió en demostrar con una de las bombas cómo se manifiestan las ecuaciones de proporcionalidad. Para lograrlo se realizó la apertura al máximo de la válvula de estrangulamiento y se fue variando las rpm de la bomba en pasos de 250 rpm desde 250 hasta 3000 con ayuda del VV. Los resultados se evidencian en la Fig. 3.

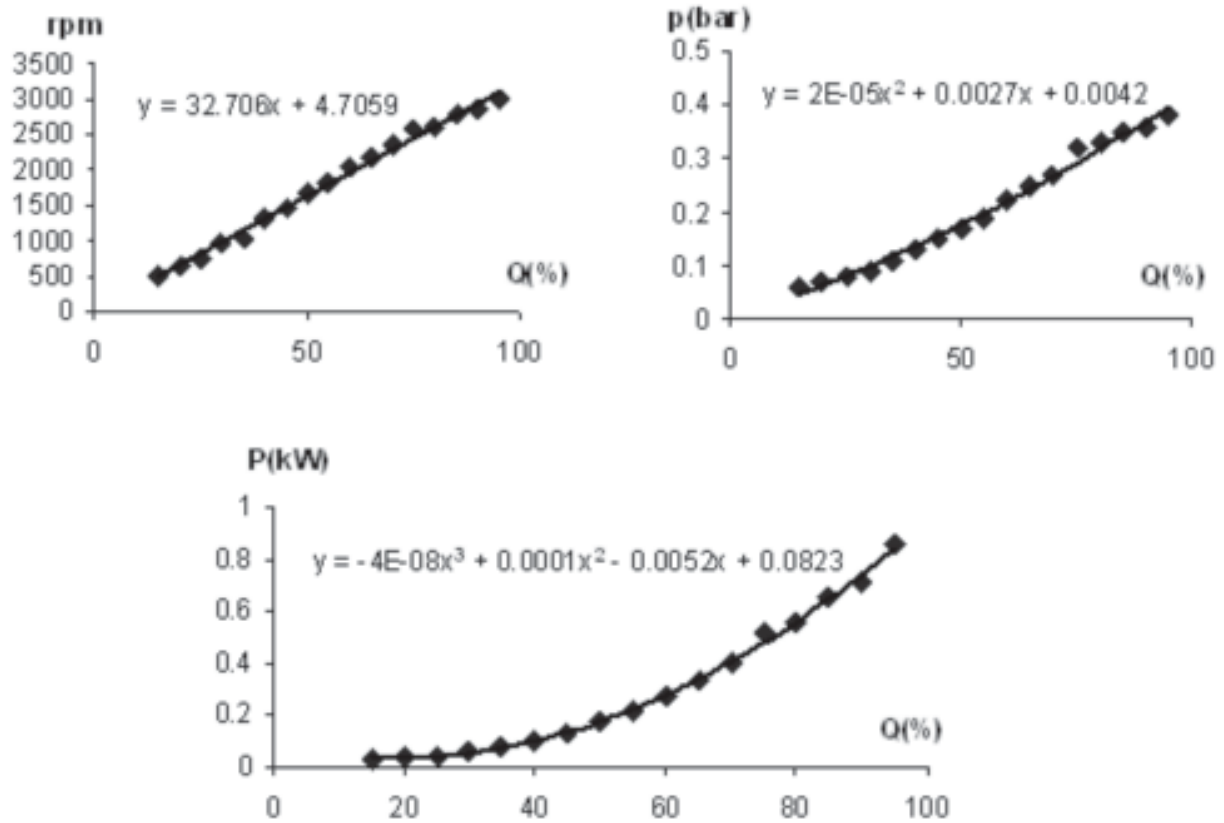


Fig.3 Ecuaciones de proporcionalidad en una bomba centrífuga del banco de prueba.

Para resaltar la diferencia entre el control del caudal mediante válvula de estrangulamiento y el uso del VV se presenta en la Fig. 4.

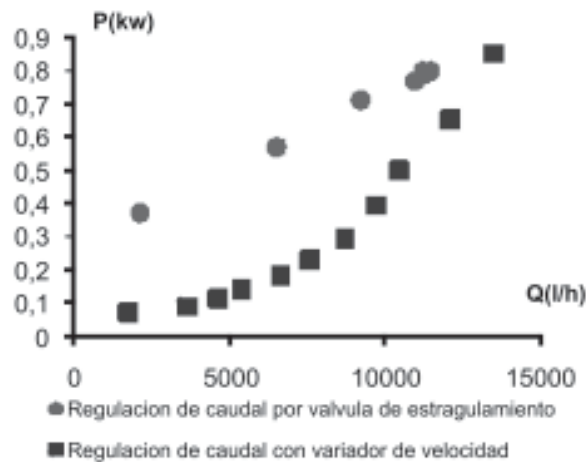


Fig.4 Comparación de regulación de caudal por estrangulamiento y con variadores de velocidad.

Uno de los elementos característicos en los CSAF a caudal variable en los SCCAH lo constituye el trabajo de los mismos a un valor predeterminado de la presión de descarga de la bomba. Esta presión será mantenida por el controlador asociado al VV. Pero no siempre se conoce cuál es el valor de la presión a prefiar. Primero porque las instalaciones después de concluidas pueden tener otras dimensiones y mas elementos que el diseño inicial y en segundo lugar para su establecimiento no siempre se tienen en cuenta otras variables perturbadoras que inciden en el comportamiento térmico de las instalaciones. Por lo general solo se valoran los parámetros hidráulicos.

En trabajos anteriores, se ha mostrado cómo para diferentes valores de set point de la presión, regimenes de explotación y condiciones ambientales similares el sistema lograría sus prestaciones manteniendo el confort. Es por ello que en la Fig.5 aparece el trabajo de una bomba para todo el régimen de caudal posible en base a diferentes presiones de trabajo de la red. Se evidencia todo un diapason de caudales logrados con el VV, en correspondencia con los diferentes regimenes de cargas parciales y los consecuentes cambios en la demanda de potencia activa.

Se recuerda que estos valores son similares al comportamiento de los CSAF debido a los estados cambiantes en el uso de los espacios térmicos y de la red en malla. Estos cambios obligan a una variación de la impedancia en la red afectando el consumo de potencia; pero entregando la energía necesaria al fluido en cada momento. Los resultados para los 4 valores de set point de presión se mantuvieron mediante iguales pasos en el estrangulamiento de la válvula y variación manual de las rpm. del motor.

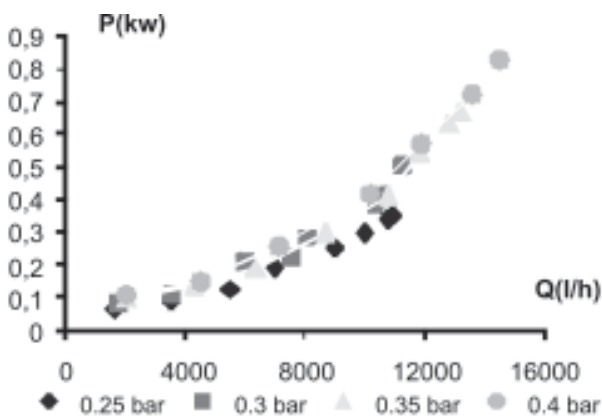


Fig. 5 Operación de una bomba centrífuga para diferentes valores constantes de presión.

Para demostrar los comportamientos anteriores en un CSAF real se escogió una zona habitacional

de un hotel con SCCAH (Hotel 1). La zona cuenta con 59 habitaciones distribuidas en un edificio de 3 plantas. El motor es de 12 kw de potencia nominal y la bomba de 28 m³/h y 70 m de altura de carga. Se fueron conectando los 19 fancoil de forma escalonada del primer piso, luego de 4 en 4 las 22 las habitaciones del segundo piso y finalmente todas las habitaciones del tercer piso (18). Estas pruebas se realizaron operando el sistema a presión constante de 5 bar con ayuda de la operación manual de un VV. Se corroboró las ecuaciones de proporcionalidad de las bombas.

Se operó el sistema a partir de un estado inicial de inercia térmica del edificio y se compensaron las redes hidráulicas luego de eliminar el aire contenido en las mismas suministrándole toda el agua necesaria para compensar el circuito hidráulico. Luego se espero aproximadamente 15 minutos con el sistema trabajando sin ningún fancoil conectado para incorporar las cargas térmicas de forma escalonada. Las mediciones se tomaron con un intervalo de 4 minutos para observar los cambios ante cada variación de la carga térmica y la red. Este valor de 4 minutos corresponde al tiempo en que se experimentaban cambios en las variables, es decir, aproximadamente al tiempo de respuesta del sistema.

Un aspecto que se comprobó, fue el aumento de la temperatura de retorno del agua fría a medida que se iban incorporando fancoils. En la Fig.6 se aprecia cómo a medida que aumenta el número de habitaciones la temperatura de retorno aumenta desde 13.1 hasta 18.1 C siguiendo un comportamiento de un polinomio de segundo orden. Esta tendencia se representaría por la ecuación $y = -0.0023x^2 + 0.2253x + 12.767$ con coeficiente de correlación de 0.9. Estas condiciones de comportamiento de la carga térmica corresponden a una temperatura ambiente de 28,2 C

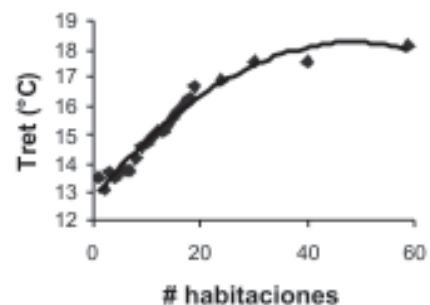


Fig. 6 Gráfico de dispersión de la temperatura de retorno en función del # de habitaciones

El VV empleado es el Altivar 28 el cual cuenta con un lazo de control Proporcional Integral (PI). La

variación de frecuencia a medida que se aumentó el número de habitación fue creciendo de manera lineal desde 34.6 Hz para una habitación, hasta 37.7 Hz para 19. A partir de 20 habitaciones, la frecuencia se establece en 37.7 Hz garantizando que la bomba mantenga el trasiego de agua fría hasta completar las 59 habitaciones.

El sistema para las condiciones de experimentación varió el caudal desde 10.08 hasta 14.28 m³/h así como la potencia activa que demandó el accionamiento abarcó desde los 2.5 hasta los 6.03 kw. Si se toman estos valores máximos como referencia, entonces se puede plantear que para todo el rango de habitaciones el sistema para cambios de 30% en el caudal experimentó variaciones de 60% en la potencia activa. En la Fig. 7 aparece una representación gráfica de estas. A manera de resumen se constató que los cambios de caudal con respecto al número de habitaciones se ajusta al polinomio de tercer orden $y = 8E-05x^3 - 0.0168x^2 + 1.2342x + 68.336$ con un coeficiente de correlación de 0.84 y en el caso de la potencia a un polinomio de tercer orden $y = 8E-05x^3 - 0.0168x^2 + 1.2342x + 68.336$ con un coeficiente de correlación de 0.88.

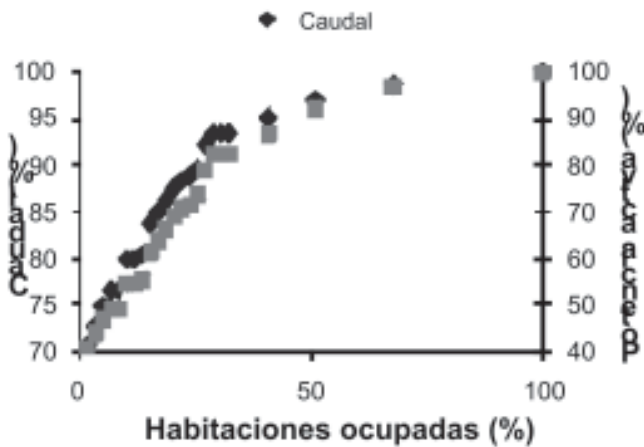


Fig.7 Variaciones de caudal y potencia activa en el CSAF para todo el rango de habitaciones

A continuación en la tabla. 2 se muestran las características de potencia nominal de las bombas que componen los CSAF en algunos hoteles con caudal constante en el polo turístico de Holguín. Estos datos dan una visión del efecto sobre el consumo de energía eléctrica.

Tabla.2. Características generales de los CSAF de algunos hoteles.

Hotel	Habitaciones	Total de bombas en los CSAF	En operación	Potencia nominal de cada bomba (kW)	Potencia nominal total (kW)
Hotel 2	480	BT 1: 3	2	15	60
		BT 2: 3	2	15	
Hotel 3	302	BT 1: 2	1	5,5	16,50
		BT 2: 2	1	5,5	
		BT 3: 2	1	5,5	
Hotel 4	944	BT 1: 3	2	37,5	112
		BT 2: 3	2	18,5	
Hotel 5	464	BT 1: 4	3	67,5	117,5
		BT 2: 3	2	50	
Hotel 6	536	BT: 2	1	15	15
Total	2726		27	-	321

BT: Bloque técnico incluye la Sala de Máquinas y los Climatizadores (chiller) de los SCCAH.

Realizando un pronóstico de cuanto energía eléctrica se ahorraría entre todos los hoteles de la tabla.1 empleando en ellos los VV, considerando que los motores de las bombas consumen el 85% de la potencia nominal y que se produzcan ahorros del 40% se tiene que: En el transcurso de un año se ahorran unos 955 MWh/año los cuales representan aproximadamente unos \$102 645,30 CUC/año.

Estimación de la carga térmica y estrategia ocupacional

Uno de los elementos que garantizan establecer el caudal de agua necesario para climatizar las zonas en los hoteles lo constituye la correcta determinación de la carga térmica. Varios son los métodos para ello; sin embargo, uno de los mas difundidos es el definido por la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). El primer elemento para realizar estos cálculos es conocer la climatología de la región. En el caso que se expone se determinó la carga térmica de enfriamiento del mismo edificio al cual se le realizó la prueba de funcionamiento del CSAF. Se utilizaron los datos de la estación climatológica más cercana, situada en Cabo Lucrecia en el municipio de Banes, provincia de Holguín, Cuba, ubicada en la misma franja costera.

El comportamiento energético debido a la climatización exhibe una tendencia extremadamente marcada a la dependencia con la temperatura ambiente, sin embargo, la temperatura varía a lo largo del día y el rango de oscilación diurna depende de diversos factores entre los que se encuentran la zona geográfica, la cercanía al mar, la velocidad y dirección de los vientos predominantes, y la época del año. De los estudios realizados y reportados hasta la fecha, es concluyente que el efecto de la temperatura ambiente en instalaciones climatizadas es quien controla en mayor medida su comportamiento energético. En la Fig. 8 se muestra la temperatura ambiente media horaria para los años 2007 y 2008.

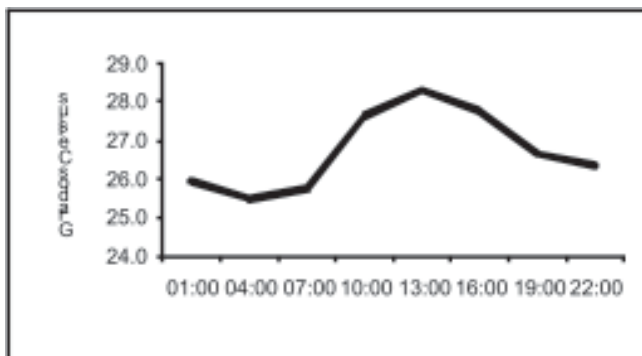


Fig.9 Comportamiento de la temperatura ambiente promedio (T_{amb}) durante el año.

Otras variables climatológicas asociadas a un edificio y que de ella depende el intercambio térmico son: Las lluvias, velocidad del viento predominante, humedad relativa y la nubosidad. En la tabla.3 se muestran los valores mínimo y máximo medios, los que corresponden al periodo de 1970 al 2007. No se dispone de registros históricos de radiación solar por lo que se estimó esta utilizando la metodología reportada por McQuinston, 2008. En el transcurso del año las variables climatológicas cambian en correspondencia a los meses. Estas diferencias se hacen notables en el desempeño del equipamiento tecnológico de un hotel y en su operación.

Tabla 3. Valores máximos y mínimos medios históricos de variables climatológicas

Variabes climatológicas	Min.	Máx.
Temperatura máxima media (°C)	26.8	31.2
Temperatura mínima media (°C)	22.0	26.0
Temperatura medias (°C)	24.5	28.5
Temperatura máxima absoluta (°C)	29.2	32.5
Temperatura mínima absoluta (°C)	17.8	23.1
Lluvias mensuales (mm)	37.7	162.6
Días con lluvias	6.0	14.8
Velocidad del viento predominante (km/h)	14.8	20.0
Humedad relativa (%)	78.9	82.4
Nubosidad	3	4

Con estos parámetros climatológicos se procedió a utilizar el simulador térmico de edificios del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (Pérez, 2003) con excelentes resultados en investigaciones similares realizadas. Luego de determinar la carga térmica se entrenó una red neuronal artificial (RNA) capaz de sustituir el simulador a partir de las variables de entrada, temperatura ambiente máxima, temperatura ambiente mínima y las habitaciones días ocupadas (HDO). Los cálculos corresponden a la zona de 59 habitaciones anteriormente analizada en este trabajo. El régimen de operación de esta zona es de ocupación y caudal variable.

La RNA seleccionada es de tres capas del tipo feed-forward backpropagation. La primera y segunda capa se componen de una función del tipo logsig (logarítmica sigmoideal), con 3 y 6 neuronas respectivamente. En la capa de salida, tercera capa (capa de salida) se utilizó una función del tipo purelin conformada por una única neurona. La función de entrenamiento escogida fue trainlm. En la Fig. 10 se aprecia la estructura de la RNA utilizada.

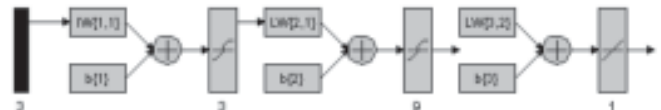


Fig.10 Estimación de la carga térmica de un edificio con el empleo de una RNA

A partir de los valores máximos diarios de carga de enfriamiento para el año 2005 se entrenó la red neuronal y luego se validó con los datos del año 2007. Como variable de entrada se utilizaron la temperatura ambiente máxima, la temperatura ambiente mínima y las HDO. Los resultados de la validación indican un promedio de las desviaciones entre el valor real y el estimado de -0.17% y una desviación estándar de 2.6%. Del resultado de la carga térmica anual por habitación se establecería una clasificación cuantitativa en cuanto a las necesidades de confort. Con estos valores se conforma una estrategia ocupacional que permite situar a los clientes en concordancia con los menores gastos de energía por climatización.



Fig.11 Clasificación de las 59 habitaciones a partir de carga térmica anual

De forma paralela a esta investigación se realizaron encuestas a las camareras para conocer el tiempo de permanencia de los clientes dentro de las habitaciones, lo cual tiene una incidencia significativa en la carga térmica. A manera de resumen se determinó que:

- Todos los clientes salen de las habitaciones entre las 7 y la 8 am.
- Los clientes mayores de 45 años por lo general toman una siesta entre la 1:00 y las 3:00 pm y se dirigen al dormitorio entre las 10 y las 11 de la noche

permaneciendo el resto del tiempo en las distintas dependencias del hotel.

- Los clientes que tienen niños se retiran a las habitaciones entre las 9 y 10 de la noche por lo general permanecen fuera de las habitaciones durante el día.

- Los clientes menores de 45 años pasan todo el día fuera y regresan a la hora de comida, y luego están fuera de las habitaciones hasta aproximadamente las 12:00 de la noche o más tarde.

- Los clientes que permanecen más tiempo en las habitaciones son los mayores de 60 años.

Al salir de las habitaciones los clientes dejan los fancoils conectados. Entre el 40 y 50% los dejan encendido a baja velocidad.

Conclusiones

- Al implementar los VV en los CSAF de 5 hoteles del polo turístico de Holguín se producen ahorros de energía eléctrica aproximados al 40%, equivalentes a unos 955 Mwh/año.

- A medida que va aumentando el número de habitaciones ocupadas en un CSAF a caudal variable se aprecia una relación polinómica de tercer orden de la potencia activa que demanda el accionamiento con respecto al caudal.

- Mediante la simulación térmica de edificios pertenecientes a hoteles se establecerían estrategias ocupacionales con la consecuente disminución de la energía que demanda la climatización.

- Se puede predecir la carga térmica de un edificio perteneciente a un hotel con una RNA utilizando como variables de entrada la temperatura ambiente máxima, la temperatura ambiente mínima y las HDO.

Bibliografía

Aguirre, C. 2002. Ahorros de Energía en Sistemas HVAC de Hoteles mediante el uso de Variadores de Velocidad, [en línea]. [Consulta: octubre, 2003]. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx/ahorro/escos.html#inicio>.

Beeckmans, Vincent.; De Lara, Jesús. 2003. Optimización de la altura manométrica de la bomba y ahorro energético. [en línea]. [Consulta: junio, 2003]. Disponible en: <http://www.energuia.com>.

Liu, Guopeng.; Liu, Mingsheng. 2007. Application study of the pump water flow station for building energy consumption monitoring and control optimization. [en línea]. [Consulta: mayo, 2009]. Disponible en: http://www.ibpsa.org/m_papers.asp.

Ma, Zhenjun.; Wang, Shengwei. 2009. Energy efficient control of variable speed pumps in complex building central air-conditioning systems. *Energy and Buildings*. ELSEVIER. Vol. 41. No. 2. p.197-205.

McQuiston, Faye. /...et al. /. 2008. Calefacción Ventilación y Aire Acondicionado. México: Editora LIMUSA WILEY. 622 p.

Montero, Reineris. 2004. Disminución del consumo energético en los circuitos secundarios de agua fría de la climatización centralizada de hoteles. Moa. 99 h. Tesis en opción al título de Máster en Ingeniería Electromecánica Minero Metalúrgica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Pérez, Carlos.; Campbell, Héctor. 2003. Comportamiento térmico de edificios. México: Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California. 129 p.

XY, Wu. /...et al. /. 2007. Energy saving analysis of pressure difference control of frequency conversion variable water flow system. [en línea]. [Consulta: mayo, 2009]. Disponible en: http://www.ibpsa.org/m_papers.asp

Yoshida, Harunori.; Kumar, Sanjay. 2007. RARX algorithm based model development and application to real time data for on-line fault detection in VAV AHU units. [en línea]. [Consulta: mayo, 2009]. Disponible en: http://www.ibpsa.org/m_papers.asp