

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN POR AGUA HELADA EN UN HOTEL TURÍSTICO

Sergio Montelíer Hernández*, Marcos A. de Armas Teyra*, Aníbal Borroto Nordelo*,
Julio R. Gómez Sarduy* & Carlos Pérez Tello**

* Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos, Cuba

** Universidad Autónoma de Baja California, México

smonte@ucf.edu.cu

Recibido para evaluación: 06 de Marzo de 2008

Aceptación: 16 de Junio de 2008

Entrega de versión final: 11 de Julio de 2008

Resumen

Este artículo presenta una modelación híbrida mediante técnicas de inteligencia artificial, que junto al desarrollo de una estrategia ocupacional en función de las variables climáticas, las cualidades constructivas y la ocupación, permite minimizar el consumo energético de un hotel turístico. Se toma como caso de estudio el Hotel Jagua de la Provincia de Cienfuegos, Cuba. Inicialmente se hace una estimación de la carga de enfriamiento mediante un simulador térmico, para distintos niveles de ocupación y diferentes condiciones climatológicas. Este requerimiento energético es modelado por una red neuronal artificial, con la intención de simplificar el modelo para la dirección técnica del hotel e incrementar la velocidad y la potencia de cálculo del software desarrollado en Matlab. Posteriormente un sistema ANFIS, modela el consumo de energía eléctrica del sistema en función de la carga térmica, el nivel de ocupación, las condiciones climáticas pronosticadas y el punto de ajuste del control de temperatura del sistema. Finalmente, este consumo es optimizado por un algoritmo genético que determina el valor final de ajuste del control de la temperatura del agua helada para que el consumo de electricidad sea mínimo en las condiciones dadas del sistema.

Palabras Clave: Eficiencia energética en sistemas de climatización por agua helada, ahorro de energía en hoteles, inteligencia artificial.

Abstract

This paper presents a hybrid model using artificial intelligence techniques linked with an occupational strategy, that taking into account weather conditions, qualities of the construction and occupation of the hotel, allows increasing the energy efficiency and reducing the electricity consumption of a hotel. As a case, The Jagua Hotel in Cuba is presented. Initially a thermal simulator developed in the University of Baja California, Mexico, is used in order to determine the cooling load according to weather conditions and occupational level of the hotel. An Artificial Neural Network, ANN, reproduces this patron and is used to simplify and increase the speed and power of calculation of the Matlab software developed. Later, an ANFIS is used to model the system's electricity consumption, taking into account the ANN output and the chilled water set point. At last, a genetic algorithm tool is employed to optimise the chilled water temperature and reduce the electricity consumption of the system.

Keywords: Energy efficiency chillers, energy saving in hotels, artificial intelligence techniques.

1. INTRODUCCIÓN

El ahorro de energía en edificaciones es un asunto muy tratado en la actualidad debido a los elevados gastos energéticos y al costo asociado a la operación de estos sistemas. Particularmente, en los hoteles turísticos en climas tropicales, es imprescindible garantizar las condiciones de confort de los usuarios a partir del empleo de sistemas de climatización, siendo éstos responsables de alrededor del 60 % del consumo total de electricidad de los hoteles [1].

Los sistemas de climatización utilizados en la hotelería, son generalmente del tipo centralizado, de compresión mecánica, con enfriadores de agua y distribución del agua helada a los diferentes sectores del hotel. Estos son conocidos como sistemas "todo agua".

Desarrollar un modelo general que integre todos los factores que influyen en el comportamiento energético y determinan el consumo en un hotel resulta en ocasiones una tarea engorrosa, y en cierta medida difícil de lograr, ya que el consumo es dependiente, entre otros factores, de:

- 1.- Las condiciones climáticas
- 2.- El tipo de sistema de climatización
- 3.- La estrategia y nivel ocupacional
- 4.- El ajuste de los parámetros de operación
- 5.- Los objetivos turísticos del Hotel
- 6.- Los hábitos, tradiciones y objetivos de los clientes

Por otra parte, para resolver este problema mediante procedimientos tradicionales, se necesita la modelación

detallada de un conjunto de sistemas complejos e interrelacionados. En este tipo de solución intervienen recursos, investigadores y un período de investigación que no siempre están disponibles, debido a que es un caso de optimización con un extenso campo de búsqueda, donde la interrelación entre las variables participantes en ocasiones no está claramente definida o existen incertidumbres e imprecisiones, que no siempre pueden ser resueltas satisfactoriamente por esta vía [2].

Es precisamente en este escenario donde se logran resultados adecuados, que pueden considerarse precisos, mediante la combinación de técnicas tradicionales y de inteligencia artificial, dadas sus propiedades de reproducir patrones, manejar la vaguedad de términos y la incertidumbre de forma útil, confiriendo una gran potencia de cálculo y potencialmente el control inteligente y la toma de decisiones oportunas en tiempo real para obtener las mejores prestaciones de los sistemas.

El presente trabajo presenta un procedimiento de modelación híbrida mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial, que incorpora las ventajas de una estrategia ocupacional en función de las variables climáticas, las cualidades constructivas y el flujo de turistas para minimizar el consumo energético. En él se utiliza como ejemplo el sistema de climatización del Hotel Jagua de la Provincia de Cienfuegos, Cuba, mostrado en la Figura 1.



Figura 1. Sistema de agua helada em el Hotel Jagua

El método que se propone, constituye una herramienta adicional en la administración de la energía en los hoteles y otros edificios de interés. También podrá ser aplicado en otros centros y sistemas de climatización por agua helada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los simuladores térmicos permiten estudiar el comportamiento de la demanda de enfriamiento de las edificaciones y establecer estrategias de ocupación y operación para la reducción de los gastos energéticos. Sin embargo, a pesar de la existencia de diversos programas comerciales de simulación térmica, el proceso es engorroso y requiere de una detallada información sobre las características constructivas, reduce la velocidad y potencia de cálculo, y es difícil si no imposible pretender lograr su ejecución por parte del personal de operación y mantenimiento del hotel.

2.1 Primera Fase. Red neuronal artificial

Las Redes Neuronales Artificiales; (RNA), son una alternativa para efectuar este trabajo a la vez que resuelven las dificultades anteriores.

El hotel estudiado ostenta la categoría cuatro estrellas y tiene una capacidad de ciento treinta y seis habitaciones en el edificio principal, dos suites en el sexto y séptimo piso, cuenta también con un bloque de trece cabañas ubicadas en el área de la piscina, lo que totaliza un total de 149 habitaciones disponibles para el turismo.[1]

La estimación inicial de la carga de climatización se realizó mediante un simulador térmico desarrollado por la Universidad Autónoma de Baja California [3], basado en la metodología de la ASHRAE y el concepto de horas grados, para distintos niveles de ocupación y diferentes condiciones climatológicas. A partir de la base de datos obtenida de esta modelación, se diseñó una red neuronal que relaciona con exactitud la carga de enfriamiento del sistema de climatización con las temperaturas máximas y mínimas diarias, para distintos valores de ocupación del hotel.

Para la selección de la RNA adecuada se diseñaron y compararon varias redes con diferentes estructuras y funciones de transferencia. La red escogida fue del tipo "Feed-Forward", con 4 capas; 3 neuronas en la primera capa, dadas por los requerimientos de temperatura máxima, temperatura mínima y nivel ocupacional, 9

en la segunda, 4 en la tercera y 1 en la cuarta en correspondencia con la carga de enfriamiento a la salida. De la primera capa a la tercera la función de transferencia usada fue tangente sigmoidea y en la cuarta lineal. La Figura 2 muestra el patrón que debe reproducir esta red neuronal.

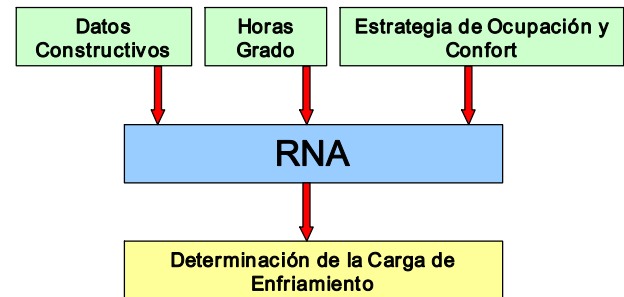


Figura 2. ESquema de la Red Neuronal Artificial

2.2 Entrenamiento de la RNA

El entrenamiento de la red neuronal se realizó por el procedimiento supervisado de retropropagación de errores con 914 juegos de datos obtenidos de la simulación térmica del hotel mediante el simulador térmico de la UABC. [5]. De ellos el 75 % para el entrenamiento y el 25% restante se utilizaron en la validación. Para verificar la calidad de la red y su capacidad de reproducir patrones, se evaluó estadísticamente el error entre la respuesta de la red neuronal y el experimento para corroborar la calidad de la predicción y de la reproducción del comportamiento del sistema. Este análisis se muestra en la Figura 2 junto a los resultados estadísticos que reflejan la calidad del trabajo de la red.

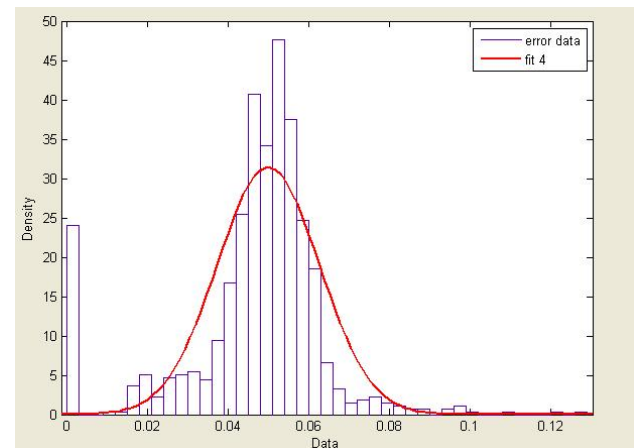


Figura 2 Comportamiento estadístico de la red

Distribution: Normal
 Log likelihood: 2504.5
 Domain: $-\text{Inf} < y < \text{Inf}$
 Mean: 0.0499552
 Variance: 0.000160603
 Parameter Estimate Std. Err.
 mu 0.0499552 0.000434934
 sigma 0.0126729 0.000307817
 Estimated covariance of parameter estimates:

	mu	sigma
mu	1.89167e-007	-2.93901e-022
sigma	-2.93901e-022	9.47511e-008

Evidentemente el análisis arroja una red eficaz para sus objetivos y el grado de exactitud con que ha respondido a los valores no presentado a entrenamiento indican que no ha sucedido la sobreajustación de la información y la capacidad de reproducir el comportamiento deseado es adecuada.

2.3 Segunda Fase. Sistema ANFIS

La Figura 3 muestra la filosofía del sistema neuro difuso. Esta consiste en determinar el consumo de energía eléctrica a partir de la carga de enfriamiento arrojada por la RNA. Para ello sólo se necesita conocer las temperaturas máxima y mínima pronosticadas para el día así como el nivel de ocupación real del hotel. Estos datos los conoce diariamente la gerencia y se pueden considerar informaciones disponibles por lo que no constituyen una carga adicional en su trabajo.

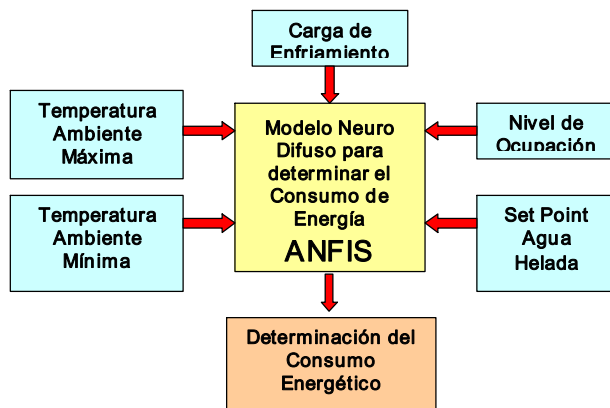


Figura 3. Sistema Neuro Difuso.

A partir de la introducción de estos datos, es posible conocer la demanda de energía eléctrica para un valor de ajuste de la temperatura de agua helada determinada. Este valor es generalmente ajustado a criterio o a experiencia de los operadores para lograr el confort

sin considerar la eficiencia del sistema y la necesidad de ahorro de energía.

Para diseñar el sistema ANFIS, se tomaron datos experimentales de las diferentes variables del sistema durante los años 2005, 2006 y 2007. Por otra parte se registró el consumo de electricidad de los "chillers" mediante un analizador de redes tipo AR-5 y se obtuvo del Instituto de Meteorología y del registro diario de carpeta la información adicional requerida.

La Figura 4 muestra una vista tridimensional de la energía en función del valor de las temperaturas máximas y mínimas. La Figura 5 lo muestra en función de la temperatura máxima y la carga de enfriamiento. Todas las variables representadas han sido normalizadas al mayor de los valores de cada una de ellas. Como se observa, estas figuras muestran la dependencia del consumo de energía al variar tanto la carga de enfriamiento como las temperaturas máximas y mínimas del día e indican que el consumo se reduce con la reducción de la carga de enfriamiento y a medida que se son menores la temperatura máxima y mínima del día.

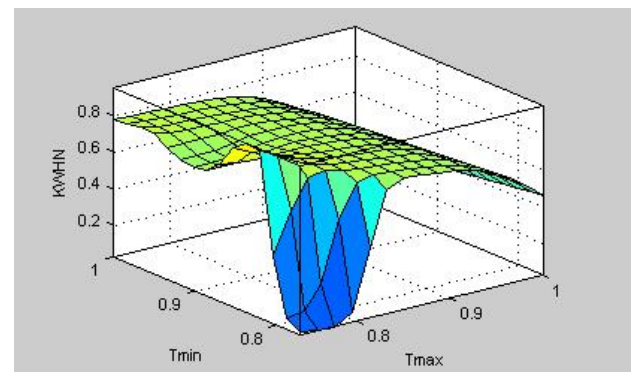


Figura 4. Superficie en función de la temperatura máxima y mínima.

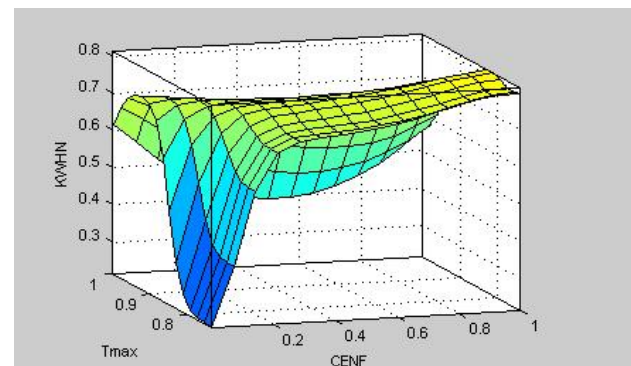


Figura 5. Superficie en función de la temperatura máxima y la carga de enfriamiento.

2.4 Tercera Fase. Desarrollo del Algoritmo Genético

La Figura 6 muestra el algoritmo genético como herramienta de optimización del punto de ajuste de la temperatura de agua helada. Su función es reducir el consumo de energía sugiriendo, para el estado de ocupación y las condiciones climáticas dadas, el valor más adecuado al cual debe ser ajustada esta temperatura.

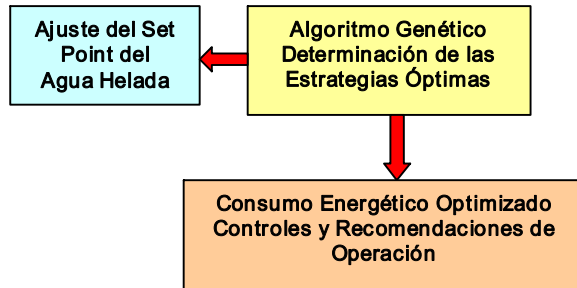


Figura 6. Implementación del Algoritmo Genético.

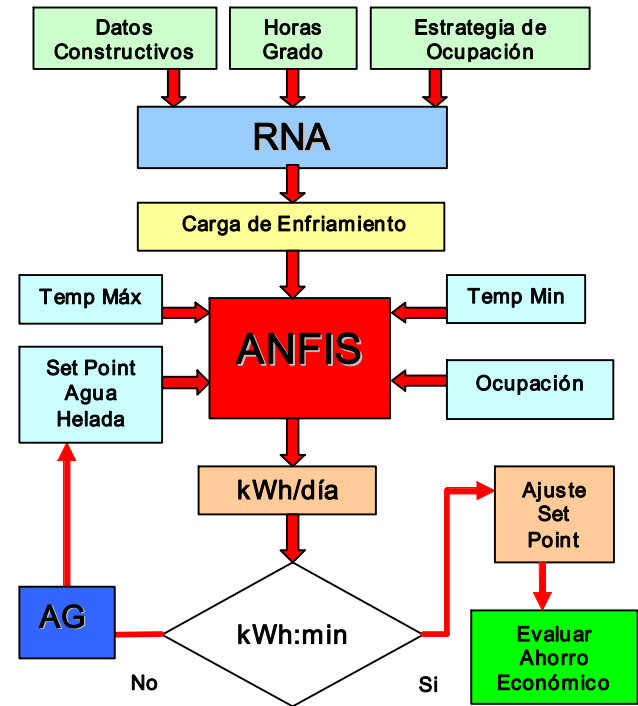


Figura 7. Integración General.

En este caso se pretende reducir el consumo de energía cumpliendo las posibilidades físicas reales del sistema que se aborda. Si no se cumple con esa condición, la solución es penalizada con un error elevado, y el valor que representa al ajuste se aleja del espacio de búsqueda y en el futuro tendrá pocas probabilidades de procrear en las nuevas generaciones. El programa general se muestra en el Anexo I.

2.5 Restricciones y tratamiento a las mismas

Este procedimiento castiga aquellas soluciones que violan las restricciones especificadas. En el caso estudiado, se penaliza cualquier valor del ajuste que sea inferior a 6 ó superior a 12 oC, ya que estos individuos son soluciones no factibles en el sistema físico por lo que deben ser desechados en la procreación de las nuevas generaciones.

2.6 Integración del sistema

En la Figura 7 se presenta la integración de las herramientas utilizadas para lograr el aumento de la eficiencia en el uso final de la energía eléctrica en el sistema.

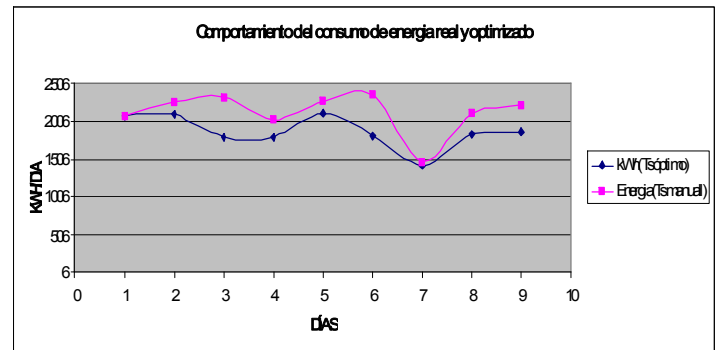


Figura 8. Comportamiento del consumo de energía.

La Figura 8 muestra el comportamiento comparativo del consumo de energía durante 10 días entre el consumo optimizado y el consumo real del sistema no optimizado.

3. CONCLUSIONES

1. El trabajo presenta un procedimiento para modelar un sistema de climatización por agua helada con vistas a incrementar la eficiencia y el uso racional de la energía en instalaciones turísticas.
2. Muestra la aplicación de métodos de inteligencia artificial para el control y el ajuste de la temperatura de agua helada a partir de datos que normalmente se encuentran disponibles en las carpetas de los hoteles destinados a este tipo de servicio.
2. La modelación híbrida, donde se combinan varias técnicas de forma simultánea, posee gran potencia para resolver problemas complejos y constituye una herramienta que puede ser utilizada en los sistemas energéticos con el objetivo de incrementar la eficiencia energética.

REFERENCIAS

1. López H., L., 2006. Predicción del consumo energético de Hoteles Turísticos aplicando la simulación termodinámica y la inteligencia artificial. Tesis de maestría, Centro de estudio de energía y medio ambiente, Universidad de Cienfuegos. Cuba.
2. De Armas T., M. A., Gómez S., J. y otros, s.a. Inteligencia Artificial Aplicada al Análisis de Sistemas Energéticos con Matlab. Cartagena de Indias, Colombia. 280 P.
3. Pérez T., C., Campbell R., H., 2003. Comportamiento Térmico de Edificios. Instituto de Ingeniería Universidad Autónoma de Baja California, México.