



Estimación de cargas térmicas de climatización de hoteles mediante simulación y redes neuronales artificiales

Estimation of thermal air conditioning loads in hotels by using simulation and artificial neural networks

**Sergio Montelíer – Hernández
Aníbal Borroto - Nordelo
Marcos de Armas – Teyra**

**Julio Gómez- Sarduy
Carlos Pérez - Tello
Osvaldo Gozá – León**

Recibido: Septiembre del 2008

Aprobado: Diciembre del 2008

Resumen/ Abstract

En el presente trabajo se hace una estimación de las cargas térmicas de climatización de un hotel turístico mediante un simulador térmico, para distintos niveles de ocupación y diferentes condiciones climatológicas. A partir de los resultados de la simulación térmica se diseñó una red neuronal artificial y se obtuvo un modelo 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, permitiendo trazar distintas estrategias de ocupación y predecir el consumo de energía del sistema de climatización de una forma rápida y precisa.

Palabras claves: climatización, simulación, redes neuronales artificiales

In the present work it is made an estimation of the cooling load of a hotel by using thermal simulation, for several occupancy levels and weather conditions.

With the results of the thermal simulation an Artificial Neural Network is designed and a neural model is developed, which relate the cooling load of the air conditioning system with the daily maximum and minimum outside temperatures for various occupation levels of the hotel, allowing to carry out different occupational strategies and predict the energy consumption of the air conditioning system in a quick and precise way.

Keywords: air conditioning, simulation, artificial neural networks

INTRODUCCION

El ahorro de energía en edificaciones es una de las cuestiones más tratadas en la actualidad debido a los elevados gastos energéticos y costos asociados necesarios para la operación de los edificios. Particularmente, en los hoteles

turísticos en climas tropicales, resulta imprescindible garantizar las condiciones de confort de los usuarios a partir del uso de sistemas de climatización, los que son responsables de alrededor del 60 % del consumo total de electricidad de los hoteles^[1].

Los sistemas de climatización utilizados en el sector turístico son generalmente del tipo centralizado, de compresión mecánica, con enfriadores de agua y distribución del agua helada a los diferentes sectores del hotel, los que son conocidos como sistemas “todo agua”.

El desarrollo de herramientas computacionales, como los simuladores térmicos, permiten estudiar el comportamiento de las demandas de enfriamiento de las edificaciones y establecer estrategias de ocupación y operativas del hotel para la reducción de los gastos energéticos. Sin embargo, a pesar de la existencia de estas herramientas, todavía la simulación térmica constituye una vía engorrosa, que requiere de una detallada información sobre las características constructivas y es difícil lograr su aplicación práctica por el personal de operación del hotel.

La aplicación de las técnicas y herramientas de inteligencia artificial, como son las Redes Neuronales Artificiales (RNA), representan una alternativa interesante para la determinación de las cargas térmicas de enfriamiento y los consumos de energía en un hotel. En este trabajo se hace una estimación de las cargas térmicas de climatización de un hotel turístico mediante un simulador térmico desarrollado por la Universidad Autónoma de Baja California, para distintos niveles de ocupación y diferentes condiciones climatológicas, y a partir de los resultados de la simulación térmica se diseñó una red neuronal artificial y se obtuvo un modelo neuronal que relaciona con una alta exactitud la carga de enfriamiento del sistema de climatización con las temperaturas máximas y mínimas diarias, para distintos valores de ocupación del hotel

Esta herramienta permite predecir el consumo de energía del sistema de climatización y trazar distintas estrategias de operación del sistema de climatización para reducir su consumo de energía.

APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA) AL CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS DE ENFRIAMIENTO Y CONSUMOS ENERGÉTICOS

La neurocomputación, disciplina relacionada con los sistemas de procesamiento de la información adaptativos no programados (redes neuronales), que desarrollan asociaciones o transformaciones (mappings) entre objetos, se aplica cada vez con mayor peso en múltiples áreas de conocimiento. Una de las herramientas de esta disciplina son las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Una red neuronal es un modelo computacional que

pretende simular el funcionamiento del cerebro a partir del desarrollo de una arquitectura que toma rasgos del funcionamiento de este órgano sin llegar a desarrollar una réplica del mismo.

En lugar de un procedimiento paso a paso para ejecutar la transformación de la información, la red neuronal (neural network) genera sus propias reglas internas que gobiernan la asociación y refina estas reglas comparando sus resultados con los ejemplos, y en lugar de ejecutar un programa secuencialmente, establece muchas hipótesis simultáneamente usando redes masivamente paralelas compuestas de muchos elementos de procesamiento conectados por enlaces con pesos. [2]

Las RNA, similarmente a las personas, aprenden por ejemplos. Una red es configurada para una aplicación específica, (reconocimiento de patrones o clasificación de datos, etc.) a través del proceso de aprendizaje. En la figura 1 se observa una RNA en forma general y su similitud con una neurona biológica, donde las entradas X_i representan las señales que provienen de otras neuronas y que son capturadas por las dendritas; los pesos W_i son la intensidad de la sinápsis que conecta dos neuronas, y “ θ ” es la función umbral que la neurona debe sobrepasar para activarse; este proceso ocurre biológicamente en el cuerpo de la célula. [2-3].

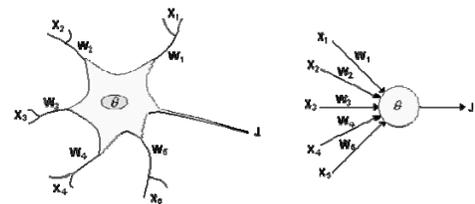


Fig. 1. Similitud de una red neuronal biológica y una RNA. [3]

A partir de esta visión del cerebro, el modelo computacional desarrollado consiste en un conjunto de elementos computacionales simples (llamados también unidades o celdas), los cuales constituyen neuronas artificiales, que están unidas por arcos dirigidos que le permiten comunicarse.

En resumen, cada neurona recibe un patrón de la señal de entrada desde la entrada de la red o de la salida de otra neurona. Seguidamente la estimulación combinada (por la sinopsis) es modificada por la función de transferencia de la neurona. Y finalmente la salida es pasada a través de las interconexiones a otra(s) neuronas. [3]

MECANISMO DE APRENDIZAJE DE UNA RNA

Es el proceso por el cual una red neuronal modifica sus pesos en respuesta a una información de entrada. Los cambios que se producen durante el proceso de aprendizaje se reducen a destrucción, modificación y creación de conexiones entre las neuronas. La creación de una nueva conexión implica que el peso de la misma pasa a tener un valor distinto de cero; una conexión se destruye cuando su peso pasa a ser cero. El proceso de aprendizaje ha terminado (la red ha aprendido) cuando los valores de los pesos permanecen estables ($dw/dt=0$).

Se suelen considerar dos tipos de aprendizaje, los que responden a lo que se conoce como aprendizaje supervisado, y el aprendizaje no supervisado^[4]. La diferencia fundamental entre ambos tipos es la existencia o no de un agente externo que controle el proceso de aprendizaje. De esta forma, el proceso de aprendizaje supervisado se realiza mediante un entrenamiento controlado por un agente externo (supervisor o maestro) que determina la respuesta que debería generar la red a partir de una entrada determinada. El supervisor comprueba la salida de la red y en caso de que esta no coincida con la deseada, se procederá a modificar los pesos de las conexiones con el fin de que la salida obtenida se aproxime a la deseada. En tanto las redes con aprendizaje no supervisado son capaces de auto organizarse.

MODELO NEURONAL PARA DETERMINAR LA CARGA DE ENFRIAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN HOTEL TURÍSTICO

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.^[4]

Para la selección de la RNA definitiva se analizaron y compararon varias redes con diferentes estructuras y tipos de funciones transferencia, escogiendo la que menor error arrojó. Ver figura 2.

El tipo de red escogido fue la Red “Backpropagation Feed-Forward”, con 4 capas y 3 neuronas en la primera capa, por tener tres variables de entrada, 9 en la segunda, 4 en la tercera y 2 en la cuarta en correspondencia con las dos variables de salida. De la primera capa a la tercera la función de transferencia usada fue *tansig*, ya que esta le permite a la red “aprender” de relaciones lineales y no lineales entre los vectores de entrada y salida; y en la cuarta *purelin*, ya que con esta la red puede tomar cualquier valor.^[2]

ENTRENAMIENTO DE LA RNA

El entrenamiento de la red neuronal se realizó a partir de los resultados obtenidos de la simulación térmica del hotel. Para ello se utilizó el simulador térmico desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California^[5], determinándose las cargas térmicas de enfriamiento y consumos de energía para distintas situaciones de ocupación del hotel y distintas épocas del año.

Una vez obtenida una base de datos del proceso de simulación térmica, se procede al entrenamiento de la red neuronal. En la figura 3 se muestran los resultados del entrenamiento de la red, con 5000 iteraciones y se puede observar también el rendimiento alcanzado con este número de iteraciones: $1.25e-9$.

Después de haber obtenido las matrices de pesos y bias (Anexo1) se realiza una aplicación en Matlab donde se le introducen estas y se obtiene la siguiente función de comportamiento del consumo de energía del chiller y la carga de refrigeración del hotel.

Este modelo neuronal posibilita la estimación del consumo de energía del chiller y la carga de refrigeración del hotel para diferentes niveles de ocupación y temperaturas ambientales^[4].

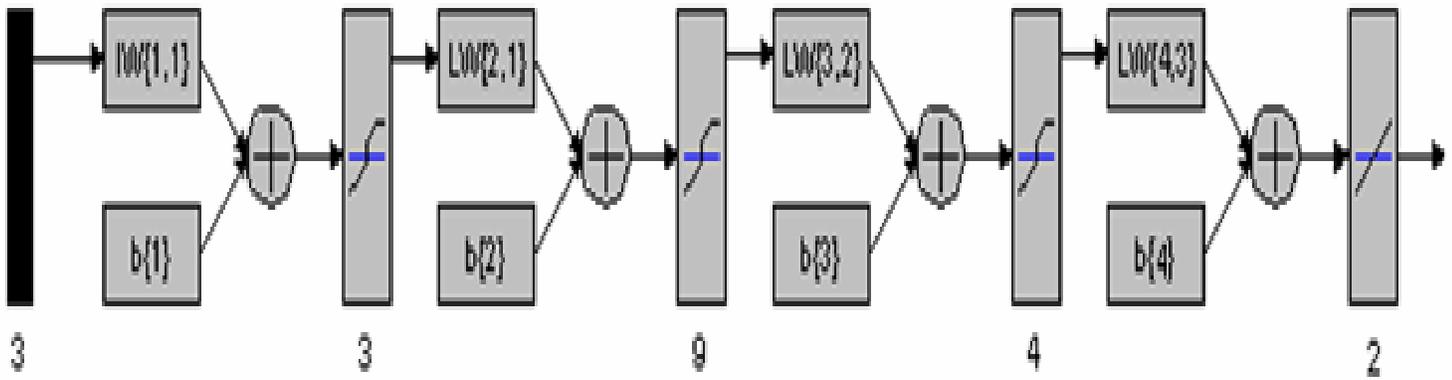


Fig. 2. Estructura de la RNA escogida.

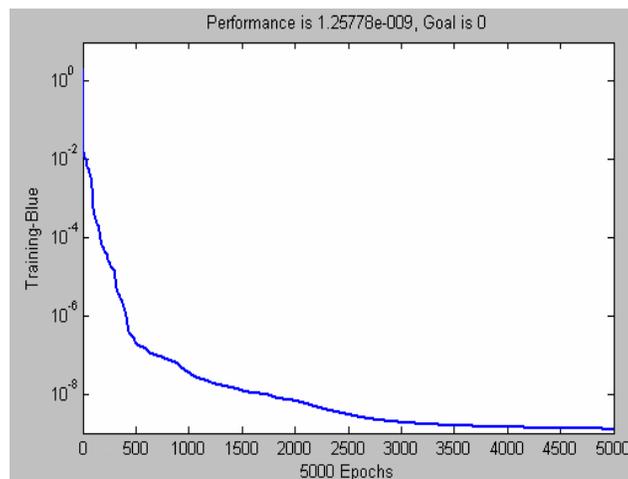


Fig. 3. Gráfico de entrenamiento de la RNA utilizada.
 $OUTPUT = \text{purelin}(LW43 * \text{tansig}(LW32 * \text{tansig}(LW21 * \text{tansig}(IW11 * \text{Entrada} + b1) + b2) + b3) + b4)$.

VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre resultados obtenidos con el simulador de la UABC y la RNA, escogidos aleatoriamente, donde queda demostrada la

efectividad de la aplicación de las RNA en la estimación de cargas térmicas de enfriamiento y consumos energéticos as..

Tabla 1. Comparación entre los resultados obtenidos con el simulador de la UABC y la RNA.

			Simulador UABC		Red Neuronal	
Tmax	Tmin	% Ocup	CEtotal	kWh/día	CEtotal	kWh/día
29,9	20,8	40	704,3	1074,6	704,79	1074,13
29,5	19,5	60	0	276,6	0,048	276,2
29,5	19,5	80	0	330,18	0,057	329,82
30,4	22,8	40	814,7	1156,07	815,14	1155,9
30,4	22,8	60	1051,7	1523,7	1052,3	1523,6
30,4	23,6	80	1277,02	1865,02	1277,7	1864,9
30,4	23,6	100	1563,5	2262,47	1564,4	2262,4
36,4	22,8	40	1023,21	1310,1	1023,7	1309,57
36,4	22,8	80	1536,8	2055,17	1537,76	2054,9
39,2	22,6	40	1111,2	1374,9	1111,19	1373,76
39,2	22,6	60	1434,7	1802,1	1435,26	1801,7
39,2	22,6	80	1670,43	2152,7	1670,69	2152,3
29,5	20,4	60	867,06	1377,4	874,9	1395,68
29,5	20,4	100	1225,96	2011,16	1238,3	2033,4
27,2	20,4	60	0	276,6	0,052	276,4
27,2	20,4	80	0	330,18	0,057	330

CONCLUSIONES

El Uso de las redes neuronales artificiales para la solución de problemas de ingeniería y comportamiento de sistemas constituye una técnica ventajosa y permite la simplificación de cálculos después de una selección y entrenamiento adecuado de las mismas. En el caso de hotel estudiado, mediante el uso combinado de la simulación térmica y las RNA, se obtuvo un modelo neuronal que posibilita la predicción de los consumos de energía y las demandas de cargas de enfriamiento con alta exactitud y rapidez. A partir de los resultados de

la aplicación del modelo neuronal obtenido se posibilita el establecimiento de estrategias operacionales para la reducción del consumo energético de la edificación por concepto de climatización.

REFERENCIAS

- [1] MONTESINO, Milagros et. al. : Gestión de la Energía en hoteles turísticos en Cuba. Informe Técnico. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2005.
- [2] MARTIN T. Hagan et al.: Neural Network Design (ISBN0-9717321-0-8), en <http://ee.okstate.edu/mhagan/nnd.html>

[3] VIDAL, MEDINA, J.R. *Gestión del agua en la industria y los procesos productivos*. Tesis de maestría, Centro de estudio de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos. Cuba., 2005.

[4] LÓPEZ HERNÁNDEZ, L. *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., 2006.

[5] RAMÍREZ, T. C. y. CAMPBELL, R. "Comportamiento Térmico de Edificios." *Instituto de Ingeniería Universidad Autónoma de Baja California, México*. 2003.

AUTORES

Sergio Montelíer Hernández

Ingeniero Termoenergético, Master en Eficiencia Energética y Diseño Térmico, Profesor Auxiliar, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" Cuba.

e-mail: smonte@ucf.edu.cu

Aníbal Borroto Nordelo

Ingeniero Mecánico Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Cuba.

e-mail: aborroto@ucf.edu.cu

Marcos de Armas Teyra

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas Profesor ,Auxiliar, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"

e-mail: marmas@ucf.edu.cu

Julio Gómez Sarduy

Ingeniero Electricista. Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Asistente, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"

e-mail: jgomez@ucf.edu.cu

Carlos Pérez Tello

Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Universidad de Baja california, México. Labor actual. Investigador del Centro de estudios de Energía Universidad Autónoma de baja california, México.

Oswaldo Gozá León

Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular, CUJAE.

e-mail: ogoza@quimica.cujae.edu.cu

$$IW\{1.1\} = \begin{bmatrix} -2.0752 & -2.0690 & -0.0002 \\ 0.0125 & 0.0124 & -3.5168 \\ -28.4062 & -25.1568 & -0.0082 \end{bmatrix}$$

$$LW\{2.1\} = \begin{bmatrix} 1.3876 & -0.0268 & 6.9731 \\ 0.0344 & -3.9687 & -0.0032 \\ -0.0267 & -0.0188 & -0.0006 \\ 5.4508 & -1.5322 & 8.7908 \\ 0.0919 & 17.4029 & 0.0002 \\ 20.8460 & -0.0232 & 5.2057 \\ 0.0814 & 7.3374 & -0.0035 \\ -4.0540 & -0.0277 & 6.7020 \\ 7.9112 & -0.0262 & 6.6484 \end{bmatrix}$$

$$LW\{3.2\} = \begin{bmatrix} -0.0013 & 1.7682 & -0.0174 & -0.0004 & -0.0071 & -0.0001 & -0.0187 & 0.0001 & 0.0013 \\ 2.5409 & 3.8777 & -11.0371 & 1.5009 & 5.6000 & 6.2329 & 7.3054 & 3.5342 & -2.4681 \\ 5.6906 & -3.6112 & -8.3518 & -2.6197 & 0.0111 & 17.7942 & 0.2922 & -16.2734 & -3.1786 \\ -7.1905 & -3.1273 & 12.6783 & 4.5052 & 0.0293 & -22.4883 & -0.2306 & 20.5626 & 4.0185 \end{bmatrix}$$

$$LW\{4.3\} = \begin{bmatrix} -0.0005 & -0.0000 & 3.4844 & 7.9317 \\ 2.4925 & -0.0000 & 0.0015 & 2.6326 \end{bmatrix}$$

$$b\ 1 = \begin{bmatrix} 2.9483 \\ 2.7326 \\ 43.3452 \end{bmatrix}$$

$$b\ 2 = \begin{bmatrix} 3.5524 \\ -5.2970 \\ -0.1661 \\ -9.1233 \\ -9.1362 \\ 9.4064 \\ -6.9953 \\ -0.1271 \\ 6.4188 \end{bmatrix}$$

$$b\ 3 = \begin{bmatrix} 1.1797 \\ -3.8108 \\ -2.3038 \\ -3.1042 \end{bmatrix}$$

ANEXO1. MATRICES, PESOS Y BIAS DE LA RNA