

Tema A4 Termofluidos: Secador Solar

Predicción de Temperatura y Humedad usando Redes Neuronales Artificiales en un Secador Solar Indirecto Experimental

Tlatelpa-Becerro A^{a,b*}, Rico-Martínez R^c, Urquiza G^d, Castro-Gómez L^d, Villegas B^e, Hernández A^e, García A^f, Luyando J^e, Salas J^e.

^a Dpto. Ingeniería en Tecnologías de Manufactura, Universidad Politécnica de Atlautla, Atlautla, Edo. México, 56970, México.

^b Ingeniería en Robótica, Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla-UAEM, Yecapixtla, Morelos, C.P. 62820, México, México.

^c Instituto Tecnológico de Celaya, Antonio García Cubas 1200, Fovissste, Celaya, Guanajuato, C.P. 38010, México.

^d Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62209, México.

^e Estudiante de la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla-UAEM, Yecapixtla, Morelos, C.P. 62820, México.

^f Estudiante de la Universidad Politécnica de Atlautla, Atlautla, Edo. México, 56970, México.

*Autor contacto: Angel.tlatelpa@upatlatla.edu.mx, angel.tlatelpa@uaem.mx

RESUMEN

Se aplicaron redes neuronales artificiales (RNA) para predecir la humedad y la temperatura del flujo de aire dentro de un secador solar indirecto experimental. La arquitectura ANN es una alimentación de redes regulares de cuatro capas con 5 neuronas en la capa de entrada, 2 capas ocultas con 15 neuronas cada una y 2 neuronas en la capa de salida. El algoritmo de retropropagación fue entrenado, probado y validado utilizando series temporales experimentales. Para esto, el secador solar fue instrumentado para medir la humedad, la temperatura y la velocidad del flujo de aire con sensores. Un Arduino Mega con el software LabVIEW se utilizó para la adquisición de datos. El esquema asistido ha mostrado buenas capacidades de predicción, reduciendo la desviación promedio observada por la predicción de la RNA por sí misma.

Palabras Clave: Secador solar, Instrumentación electrónica, Redes neuronales artificiales.

ABSTRACT

Artificial neural networks (ANN) were applied to predict the humidity and temperature of the air flow inside of an experimental indirect solar dryer. The ANN architecture is a feed forward four-layer regular networks with 5 neurons in the input layer, 2 hidden layers with 15 neurons each, and 2 neurons in the output layer. The backpropagation algorithm was trained, tested and validated using experimental time series. For this, the solar dryer was instrumented to measure the humidity, temperature and air flow velocity with sensors. One Arduino Mega with software LabVIEW was used to data acquisition. The assisted scheme has showed good prediction capabilities, reducing the average deviation observed by the prediction of the ANN by itself.

Keywords: Solar dryer, Electronic instrumentation, Artificial neural networks.

1. Introducción

Hoy en día, en México el secado de frutos, hortalizas y carnes se ha vuelto una actividad económica importante. Mayormente para los productores de Morelos, que se han visto en la necesidad de aumentar su producción para cubrir sus demandas y acelerar sus procesos de secado para evitar la proliferación de hongos o daño al producto [1-2]. Esto debido a que, su proceso es artesanal y sus productos son expuestos de manera directa al sol en placas de concreto, madera, entre otros. Ante esto, buscan dar mayor valor agregado a sus productos secos [3].

Ante esta necesidad, han adquirido y usado equipos eléctricos y de gas que aceleran el proceso, pero, no cuentan con un control de temperaturas, humedad y flujos del sistema. Esto implica que no puedan obtener las condiciones necesarias al interior de la cámara de secado en sus procesos.

Para esto, uno de los modelos computacionales que ha tenido impacto como herramienta de análisis es la técnica de redes neuronales artificiales. Las RNA han sido utilizadas en distintos campos de la ingeniería como para la toma de decisiones, reconocimiento de patrones, en sistemas de control y, entre estas se encuentran el estudio térmico, porque permite estudiar sistemas complejos que de otro

modo serían imposibles de caracterizar con técnicas analíticas. Así mismo, las RNA han sido estudiadas durante las últimas dos décadas y son ideales para el modelado predictivo. Algunos investigadores han presentado estudios sobre la predicción de la transferencia de calor en intercambiadores de calor [4], predicción de coeficientes de transferencia de calor y caídas de presión en intercambiadores de calor [5], Así mismo, el rendimiento térmico en las torres de enfriamiento [6], por mencionar algunos.

Las redes neuronales artificiales permiten modelar sistemas complejos que no se pueden describir con modelos matemáticos simples, ya que no requieren un conocimiento detallado de los fenómenos físicos de los sistemas térmicos.

En este trabajo de investigación se presenta un secador solar indirecto. Este cuenta con una cámara de secado donde se colocan los productos a deshidratar o secar y, un captador solar donde se absorbe la mayor cantidad de energía en forma de radiación para ser aprovechada y transformarla en energía térmica para elevar la temperatura del flujo de aire que entra al captador y direccionarla a la cámara para el secado.

El secador esta instrumentado con sensores de temperatura y humedad en el captador y al interior de la cámara para la adquisición de datos y construir un modelo predictivo de temperaturas y humedades aplicando Redes Neuronales Artificiales para fines de control.

2. Metodología

2.1. Secador solar

Los experimentos se realizaron en la **Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla** del Estado de Morelos México, del día 06 de septiembre de 2019, con latitud y longitud de 18.8530 y -98.8698, respectivamente.

El secador consta de dos partes: una cámara de secado y un colector solar. La cámara fue construida en acero inoxidable con dimensiones de: 100 x 46 x 125 cm y el colector solar fue construido en acero inoxidable con cubierta acrílica transparente y tubos de cobre pintados de color negro mate para absorber la radiación solar durante el día. Incluye una lámina de aluminio debajo de las tuberías para reflejar la radiación solar y espuma de poliuretano de 3 cm de espesor para aislamiento térmico, con el fin de reducir la pérdida de calor exterior, este tiene dimensiones de 221.5 x 96 x 13 cm, como se muestra en la Figura 1.

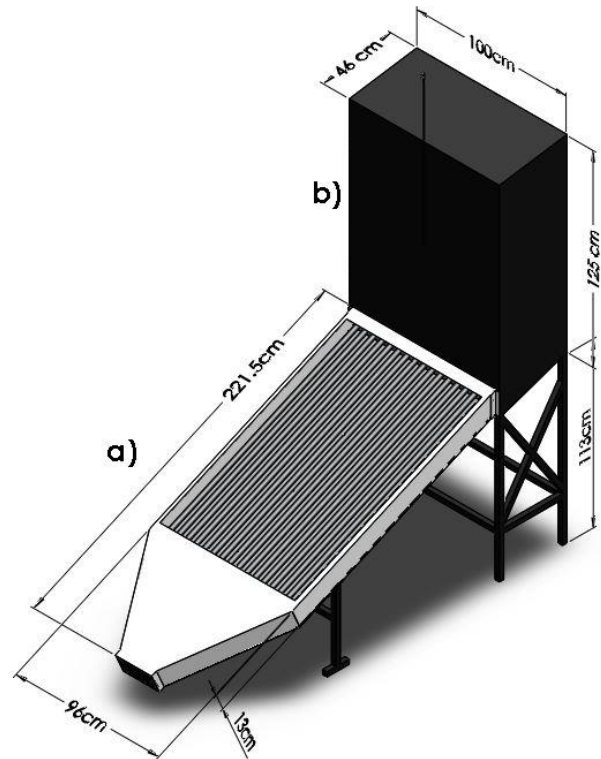


Figura 1 – Secador solar indirecto.

2.2. Instrumentación del secador solar

El secador fue instrumentado con 3 sensores DHT22 para la medición de la temperatura y humedad al interior de la cámara de secado, en tres posiciones a lo alto de la cámara. Termopares tipo T con módulos Max 6675 a lo largo de la tubería del captador. Dos ventiladores (NMB, 12 V, 1.3 A) con módulos de tensión FZ0430 y de corriente ACS712 que fueron instalados a la entrada del captador solar para proporcionar el flujo de aire requerido al interior de la cámara de secado, tal como se muestra en la Figura 2.

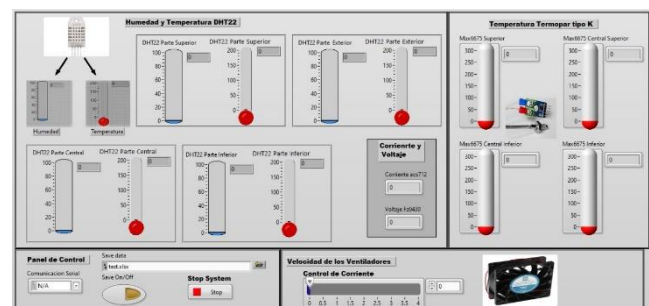


Figura 2 – Monitoreo de temperaturas y humedades del secador solar.

Para la adquisición de datos de los sensores fue de cada 5 segundos y para ello, se usó un microcontrolador Arduino Mega con ayuda de LabVIEW para realizar el control de la corriente que regula las revoluciones de los ventiladores y así conocer el flujo que fluye hacia la cámara de secado. La configuración electrónica se muestra en la Figura 3.

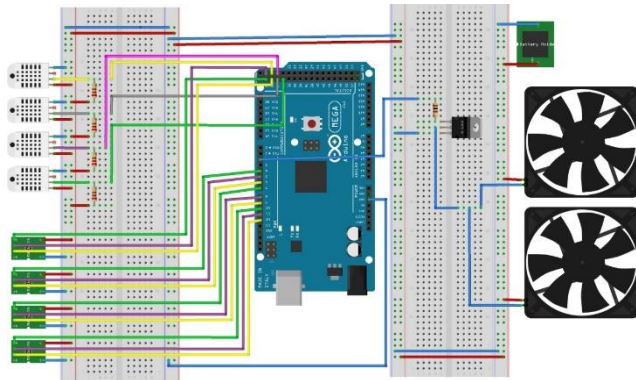


Figura 3 – Configuración electrónica de sensores y ventiladores al Arduino Mega.

2.3. Comunicación microcontrolador Arduino con LabVIEW

La Figura 4 muestra el diagrama de bloques y la comunicación entre el microcontrolador Arduino con LabVIEW. En esta configuración, se presentan bloques de escritura y de lectura. En los bloques de escritura a la entrada se controla la velocidad de los ventiladores, mientras que en el bloque de lectura se conecta otro bloque llamado “mach pattern” para realizar las lecturas de información recibidas del puerto serie. Así mismo el bloque “frac/expres string to number” es implementado para la conversión de valores para su visualización en los indicadores. Los bloques “set Dynamic data attributes” son usados para guardar las magnitudes obtenidas de los sensores.

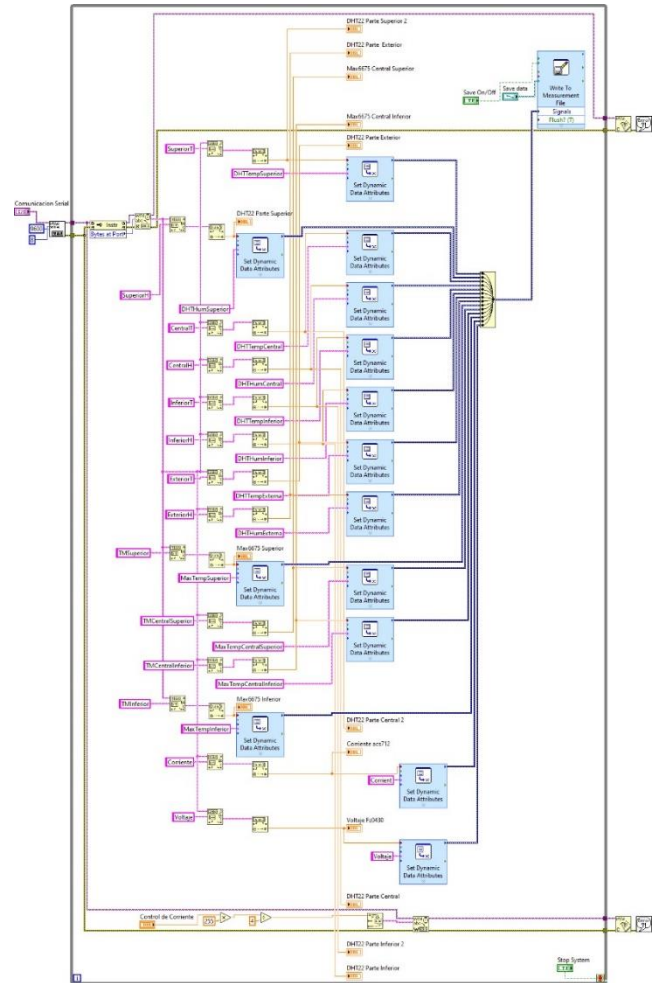


Figura 4 – Configuración de control Arduino y LabVIEW

2.4. Redes neuronales artificiales.

El modelo de Redes Neuronales Artificiales fue desarrollado en la **Universidad Politécnica de Atlautla** del Estado de México, México, para su implementación en el secador solar. La RNA es una herramienta poderosa para la capacidad de aprendizaje y predicción de datos. Estas están inspiradas en la biología del cerebro humano. Hoy en día, no existe una forma rigurosa para determinar el número de neuronas por lo que se considera arbitraria. Así, el esfuerzo computacional de entrenamiento de la RNA es un parámetro importante para una estimación del número de neuronas implementadas que se prueba durante el proceso de validación de resultados [7].

Para nuestro caso particular en estudio, se usó el software especializado de MATLAB toolbox (2017). Aquí se consideró dos capas ocultas como inicio para determinar el número óptimo de neuronas en la capa oculta en el entrenamiento de la RNA, usando una colección de 387 datos y con el algoritmo Levenberg Marquardt de la propagación hacia atrás. Para esto, inicialmente se consideró una primera neurona en la capa oculta hasta encontrar la cantidad óptima que fue de 15, esto en función del valor mínimo cuadrático (MSE) que fue obtenido por debajo del 0.3%, como se muestra en la Figura 5. Para la validación del modelo implementado de la predicción de la humedad y temperatura ambiente al interior de la cámara de secado se utilizaron 108 datos.

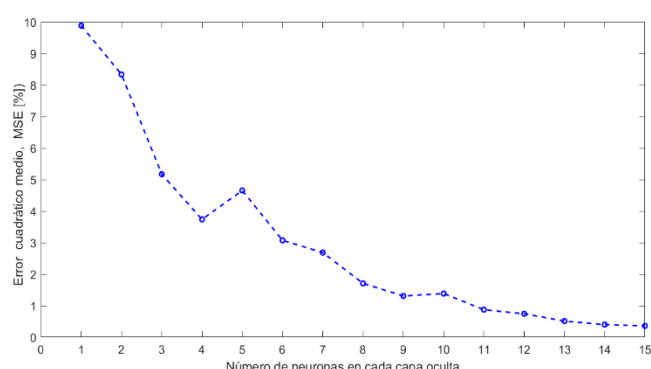


Figura 5 – Número óptimo de neuronas en la capa oculta.

La topología de la RNA cuenta con cuatro capas. La capa 1 contiene 5 neuronas que corresponden a la humedad, temperatura y velocidad del aire, temperatura de la placa en dos posiciones. La capa 2 y 3 muestra el número de neuronas (12) para el post-procesamiento. La cuarta capa, corresponde a 2 neuronas de salida que son los objetivos predichos, como se muestra en la Figura 6. Los valores de entrada y salida son normalizados entre valores de [0.1 - 0.9] para el uso de las funciones de activación sigmoideal.

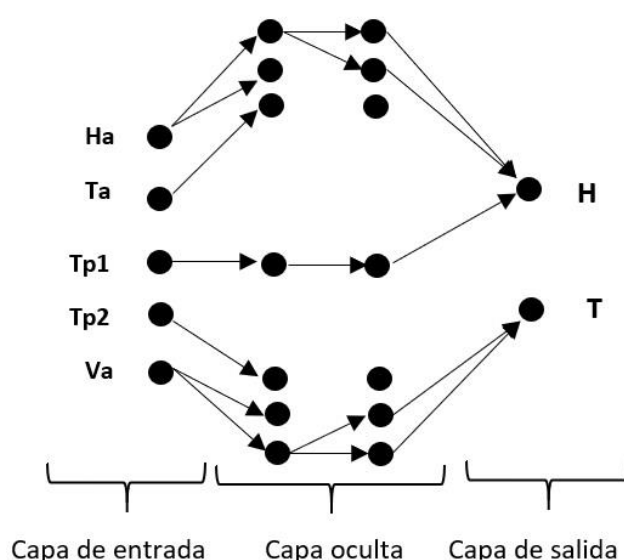


Figura 6 – Topología de la Red Neuronal Artificial. En la capa de entrada: H_a , T_a , T_{p1} - T_{p2} y V_a representan la humedad del ambiente, temperatura del ambiente, temperatura del ducto y la velocidad del flujo de aire, respectivamente, Mientras que H y T representan la humedad y temperatura del flujo al interior de la cámara de secado predichas en la capa de salida.

3. Resultados

Las redes neuronales fueron aplicadas en el secador solar indirecto para la predicción de la temperatura y humedad del flujo del aire al interior de la cámara de secado. Como se puede observar en la Figura 7 se observa que los valores de la humedad del aire predichas por la red neuronal tratan de seguir la trayectoria ajustándose a los datos experimentales. Al igual sucede con la Figura 8, aquí se muestran los datos de temperatura del flujo que siguen la misma trayectoria, pero, el ruido presentado en las variables de entrada con frecuencia evitó el seguimiento de predicción y que coincidiera con la evolución observada para ambos parámetros. Con esto, consideramos que la implementación de la Red Neuronal Artificial ha mostrado buenas capacidades de predicción, aunque puede mejorarse analizando un mayor número de datos y en diferentes condiciones climatológicas para construir una mejor topología que ayuden ajustar los parámetros para la predicción de estos.

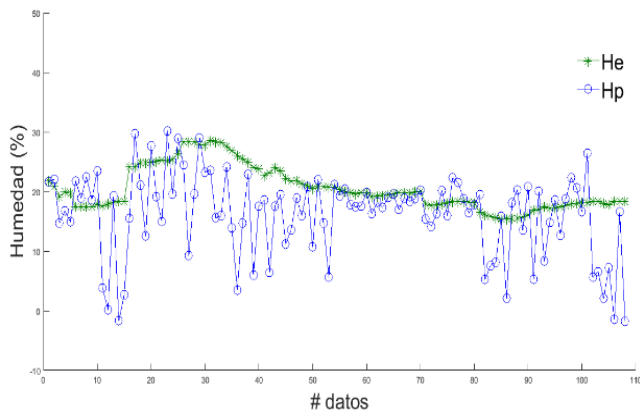


Figura 7 – Humedad experimental (H_e) vs predicha (H_p) por la RNA.

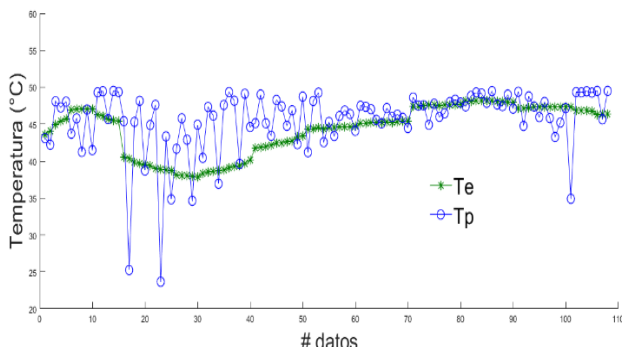


Figura 8 – Temperatura experimental (T_e) vs predicha (T_p) por la RNA.

La Figura 9 muestra la desviación máxima entre los resultados pronosticados y los datos experimentales. Los errores relativos se observan por debajo de 1.2 % y 0.4 % para los datos de temperatura y humedad, respectivamente.

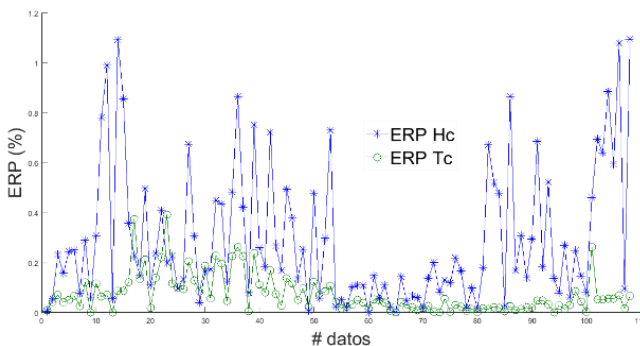


Figura 9 – Error relativo porcentual: humedad (ERP H_e) y temperatura (ERP T_e).

4. Conclusión

El objetivo de este trabajo de investigación fue desarrollar un algoritmo predictivo del comportamiento del secador solar indirecto.

El esquema asistido ha mostrado resultados factibles, en la predicción de la temperatura y humedad del flujo de aire al interior de la cámara de secado, reduciendo en gran medida la desviación promedio observada por la predicción de la RNA, obteniendo valores por debajo 1.2 % y 0.4 % en el error relativo porcentual entre estas, manejando adecuadamente la señal de alto ruido observada por las temperaturas y velocidades el flujo de aire y, de las temperaturas de la tubería.

Esta estrategia de referencia del modelo propuesto aún se sigue trabajando en el laboratorio de ingeniería para mejorar las condiciones predictivas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y a la Universidad Politécnica de Atlautla por el apoyo al desarrollo de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Peggy Oti-Boateng, Barrie Axtell, 1998. Técnicas de Secado, 2da ed. Intermediate Technology Development Group United Nations Development Fun for Women. Lima.
- [2] Bennamoun Lyes, Belhamri Azeddine, 2003. Desing and Simulation of a Solar Dryer for Agriculture Products. Journal of Food Engineering. Vol. 59, págs. 259-266.
- [3] Tlatelpa-Becerro, A, Rico-Martínez, R. Urquiza, G., Calderón-Ramírez, M., 2020. Obtaining of Crataegus mexicana leaflets using an indirect solar dryer. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Vol. 19. Pp. 669-676.
- [4] Díaz G., Sen M., Yang K.T., McClain R.L., 1996. Analysis of Data from Single-Row Heat Exchanger Experiments Using an Artificial Neural Network, on: Proceeding of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Vol. 242, pp. 45-52.
- [5] Reynoso-Jardón E. L., Tlatelpa-Becerro A., Rico-Martínez R., Calderón-Ramírez M and Urquiza G., 2019. Artificial Neural Networks (ANN) to Predict Overall Heat Transfer Coefficient and Pressure Drop on a Simulated Heat Exchanger. International Journal of Applied Engineering Research. Vol. 14, pp. 3097-3103.

- [6] Islamoglu Y. 2005. Modeling of Thermal Performance of a Cooling Tower Using an Artificial Neural Network. Heat Transfer Engineering, Vol. 26, pp. 73-76.
- [7] Tlatelpa-Becerro, A, Rico-Martínez, R. Castro-Gómez, L., Urquiza, G., Calderón-Ramírez, M., 2018, "Artificial Neural Networks (ANN) and Kalman Filter Algorithms to Predict Output Temperatures on a Heat Exchanger", International Journal of Applied Engineering Research, 13, pp. 13130-13135.