

Propuesta de una red neuronal artificial para modelar el comportamiento termodinámico de un transformador térmico de doble etapa

Suset Vázquez-Aveledo ¹, Rosenberg J. Romero ^{2,*}

¹ Posgrado en ciencias, Facultad de ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

² Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Instituto de Investigación en Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

* autor de correspondencia rosenberg@uaem.mx

Desarrollo Sustentable (Diseño de Procesos Sustentables). **Ponencia Presencial.**

Recibido: 3 de mayo de 2023

Aceptado: 15 de junio de 2023

Publicado: 23 de noviembre de 2023

Palabras clave: proceso termodinámico; inteligencia artificial; simulación asistida por computadora.

Introducción. En las últimas décadas, el aumento en el consumo de energía ha tenido una relación directamente proporcional con los impactos negativos al ambiente. En muchos procesos industriales, entre el 15% y el 50% de la energía suministrada se desperdicia como calor residual, lo que genera residuos de energía y emisiones de CO₂ (Xu, 2018). Entre los sistemas con potencial para recuperación de energía se encuentran los transformadores térmicos por absorción (AHT), que son capaces de utilizar el calor de desecho de una fuente de baja calidad o de un proceso industrial para aumentar su temperatura y aprovecharla con un propósito específico (Romero, 2021).

Materiales y Métodos. Los AHT operan en un ciclo termodinámico, pueden clasificarse de simple y doble etapa (SSHT y DSHT) y suelen emplear una solución de H₂O-LiBr como fluido de trabajo. Son dispositivos con un bajo impacto ambiental y pueden adaptarse para utilizar energías renovables, como solar o geotérmica (Cudok, 2021). Los parámetros más significativos de un AHT son: la relación de flujo (FR), gradiente de temperatura (GTL) y coeficiente de operación (COP), (Vázquez-Aveledo, 2023).

La Figura 1 muestra el comportamiento del COP en función del GTL, en esta se denota como al incrementarse el GTL, se obtienen los valores mas bajos del COP, así como a menores valores de GTL se alcanzan los mayores valores de COP. De acuerdo con (Valdez, 2016), lo expuesto anteriormente no representa los mejores escenarios a considerar. Se propone como objetivo encontrar el máximo valor del producto del COP por GTL en el AHT que en esta Figura se representan dentro de un óvalo. Esto permitirá asegurar una óptima operación del sistema sin sacrificar ningún parámetro.

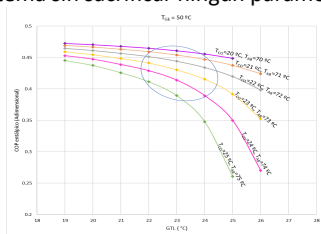


Figura 1. COP en función del GTL [Fuente: Vázquez-Aveledo, 2023].

Las redes neuronales (ANN), es una técnica dentro del campo de la Inteligencia Artificial (IA) que permite aprender relaciones no lineales y multivariadas a partir de un conjunto de datos. Se propone un modelo computacional de ANN utilizando el nftool de Matlab para determinar si es compatible con un DSHT. Para verificar la similitud de la ANN con respecto a los datos del modelo termodinámico de un DSHT (Valdez, 2016) se emplean indicadores de ajuste de bondad: RMSE, MBE y R², (Vázquez-Aveledo, 2023).

Resultados. Para encontrar un valor de R superior a 0.99, se realizaron pruebas con capas ocultas de 5 a 25. La ANN quedó

conformada con 5 neuronas en la capa oculta (Figura 2a) [55 pesos y dos sesgos: $b_1=5$ y $b_2=3$], la cual para un vector de condiciones en los valores de la entrada presenta una salida que responde al mayor producto de COP por GTL. Los gráficos de regresión demuestran que el ajuste es bastante preciso en todos los conjuntos de datos, con un coeficiente de regresión (R) de 0,999 en cada caso (Figura 2b).

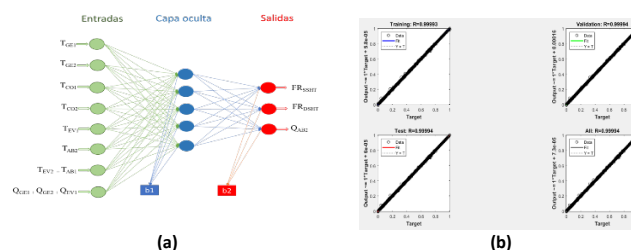


Figura 2. Estructura de la ANN y valores de R: (a) ANN y (b) valores de R para las etapas de entrenamiento, validación y prueba.

La Tabla 1 muestra los indicadores de ajuste de bondad para cada salida, como se observa en cada caso la RMSE y MBE son valores bien cercanos a cero, mientras que para R² son 0.999 para cada una.

Tabla 1. Indicadores de ajuste de bondad para cada salida de la ANN.

	SALIDAS	RMSE	MBE	R ²
ANN	FR _{SSHT}	1.89 e-02	3.56 e-04	0.9997
	FR _{DSHT}	1.77 e-02	3.14 e-04	0.9999
	Q _{AB2}	3.64 e-04	1.32 e-07	0.9999

Conclusiones. En una primera aproximación con 4494 de datos de entrenamiento, 963 datos de validación y prueba cada uno, se obtuvieron los siguientes valores de error cuadrático medio: 1.01 e-05, 9.45 e-06 y 9.43 e-05 (entrenamiento, validación y prueba). Los valores de R en cada fase de entrenamiento de la ANN presentan valores de 0.999. Los valores de indicadores de ajuste de bondad para cada salida reflejan la similitud entre el modelo de ANN y el modelo termodinámico del DSHT. Por lo anterior es posible concluir que una ANN puede simular al proceso termodinámico exitosamente.

Bibliografía.

- Xu, Z.Y., Mao, H.C., Liu, D.S., Wang, R.Z. (2018). Waste heat recovery of power plant with large scale serial absorption heat pumps, Energy, Volume 165, Part B, Pages 1097-1105. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.052>
- Romero, R.J., Cerezo, J., Rodriguez-Martinez A., Montiel, M. (2021). Absorption Heat Transformer for Solar Pond Energy Temperature Upgrading, Chemical Engineering Transactions, vol. 86, 703-708. <https://doi.org/10.3303/CET2186118>
- Cudok, F., Giannetti, N., Ciganda, J.L.C., Aoyama, J., Babu, P., Coronas, A., Ziegler, F. (2021). Absorption heat transformer-state-of-the-art of industrial applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 141, 110757. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110757>
- Valdez, V., Romero, R. (2016). Optimal Design Criterion for Heat Transformer operating with Water Carrol. In Proceedings of the International Conference on Advanced in Mechanical and Automation Engineering-MAE2016, Rome, Italy, 18–19; SEEK Digital Library: New York, NY, USA, 2016; pp. 57–59. <https://doi.org/10.15224/978-1-63248-102-3-63>
- Vázquez-Aveledo, S., Romero, R.J., Montiel-González, M., Cerezo, J. (2023). Control Strategy Based on Artificial Intelligence for a Double-Stage Absorption Heat Transformer. Processes, 11, 1632. <https://doi.org/10.3390/pr11061632>.