

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE UN RESERVORIO SOLAR

Hernández Camacho Nereyda Vanessa (1), Martínez Rodríguez Guillermo (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: nv.hernandezcamacho@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: guimarod@ugto.mx]

Resumen

La integración de la energía solar a los procesos a gran escala, implica el uso de sistemas de almacenamiento debido a la intermitencia asociada con el recurso solar y a su disponibilidad finita durante el día. Se han realizado numerosos trabajos para el estudio de sistemas de almacenamiento, su explotación y su uso. El almacenamiento térmico resulta ser uno de los sistemas más económicos comparado otros sistemas, como por ejemplo, el de las sales fundidas. Las innumerables aplicaciones de los sistemas de almacenamiento es uno de los temas de investigación de mayor relevancia y la predicción de la temperatura de salida resulta ser fundamental para integrar la energía solar a los procesos industriales y garantizar el suministro de la carga térmica a procesos continuos. En este trabajo se desarrolla un modelo matemático en estado transiente para la predicción de la temperatura de salida de un reservorio solar. El modelo propuesto es programado en Matlab y los resultados teóricos son validados con datos experimentales. El modelo teórico presenta un error del 5.72%.

Abstract

The integration of solar energy to large-scale processes involves the use of storage systems due to the intermittency associated with the solar resource and its finite availability during the day. Several works have been carried out to the study of storage systems, their exploitation and use. Thermal storage is one of the most economical systems compared to other systems, such as molten salts. The innumerable applications of storage systems is one of the most important research topics and the prediction of the outlet temperature is fundamental to integrate solar energy into industrial processes and guarantee the supply of thermal load to continuous processes. In this paper a mathematical model is developed in transient state for the prediction of the outlet temperature of a solar reservoir. The proposed model is programmed in Matlab and the theoretical results are validated with experimental data. The theoretical model presents an error of 5.72%.

Palabras Clave

Almacenamiento solar; Energía renovable; Termosolar; Energía Térmica; Tanque de almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

Sistemas de Almacenamiento

La energía termosolar producida no siempre se puede consumir al instante debido a los niveles de temperatura por lo cual se requiere el diseño de sistemas de almacenamiento que permitan maximizar el nivel de temperatura y reducir las pérdidas al ambiente. Los dispositivos utilizados para transformar la energía radiante en energía solar son: los colectores solares que es un tipo particular de intercambiador de calor en el que la fuente radiante cambia con el tiempo modificando la temperatura de salida para un flujo constante de alimentación. El sistema de captación, el sistema de almacenamiento y el sistema de control, son los tres componentes principales de una instalación termosolar, necesarios para garantizar la carga de calor y el nivel de temperatura en aplicaciones industriales.

Distintas investigaciones se han propuesto para aprovechar al máximo la energía producida siendo el sistema de almacenamiento una de ellas, ya que éste tiene un impacto directo en el ámbito económico y ambiental. Existen diferentes sistemas de almacenamiento de energía, como lo son: almacenamiento de energía de aire comprimido, almacenamiento de energía electroquímica, condensadores, almacenamiento de hidrogeno, energía a gas, almacenamiento de energía térmica, etc., dónde el sistema de almacenamiento térmico es considerado como uno de los menos costosos, con aplicabilidad en la producción de electricidad, en el ámbito industrial y de construcción, entre otros [1]. Para este tipo de almacenamientos es muy común utilizar agua como medio de almacenamiento debido a su alta capacidad calorífica; pero sólo a temperaturas menores de 100 °C, al menos de que las condiciones de presión sean modificadas; para temperaturas mayores es posible utilizar otros fluidos.

Modelos matemáticos

Existen modelos que son capaces de predecir la temperatura de un reservorio solar, entre ellos se encuentran los modelos físicos (caja blanca), modelos de tipo caja negra y los modelos de tipo caja gris [2]. Los modelos de caja blanca describen relaciones físicas exactas, los modelos de caja negra se basan en correlaciones empíricas y los modelos de caja gris es una combinación de los anteriores. Hernández-Camacho y Martínez-Rodríguez (2017) proponen un modelo sencillo tipo caja blanca donde no se consideran las pérdidas de calor al ambiente, el modelo presenta un error del 17.82% respecto a los datos experimentales [3]. Kicsiny (2018) plantea un modelo basado en el de Buzas y Farkas (2000), siendo la propuesta de Kicsiny un modelo de caja negra, presentando un error del 6.2% comparado con medidas experimentales, en este trabajo se considera el efecto "corto-circuito" en el sistema de almacenamiento [2,4]. En el presente trabajo se realizó una modificación al modelo de Hernández-Camacho y Martínez-Rodríguez (2017), el cual fue presentado en los Veranos de Investigación Científica UG. En este nuevo modelo se consideran las pérdidas de calor al ambiente y la energía acumulada en el reservorio con lo cual se tiene una ecuación general que se puede particularizar dependiendo de la aplicación del reservorio solar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del proyecto se utilizaron los siguientes recursos:

- Sistema de almacenamiento y servicios auxiliares de calentamiento y enfriamiento.
- Sistema de Adquisición de Datos.
- Equipo de cómputo, así como el software de MATLAB y Excel.
- Acceso a fuentes de información.

La primera parte se basó en hacer la propuesta del modelo matemático, para esto, se hizo una revisión bibliográfica del estado del arte, se seleccionó un caso de estudio para su análisis, y posteriormente el modelo matemático se programó en Matlab para su solución. La segunda parte del proyecto consistió en validar experimentalmente el modelo teórico propuesto.

Desarrollo del Modelo Matemático

A partir del modelo matemático propuesto por Hernández-Camacho y Martínez-Rodríguez en el 2017, para la predicción de la temperatura de salida de un reservorio solar, donde se mezcla una corriente fría y otra caliente, se encontró que su uso es limitado para periodos de tiempo cortos debido a que conforme avanza el tiempo presenta mayor error. Por lo tanto, se realizó una modificación al modelo para predecir con mayor exactitud el comportamiento experimental. Para ello se planteó nuevamente el balance de energía, considerando ahora la existencia de pérdidas de calor, las variaciones del flujo y las temperaturas durante el periodo del experimento, y el calor inicial, permitiendo con esto una mejor predicción del modelo matemático. El balance de energía se hizo en base al reservorio solar como se muestra en la imagen 1.

El balance general de energía del sistema está dado por la ecuación 1.

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_{ac} - Q_p - Q_o \quad (1)$$

Dónde: Q_1 y Q_2 es el calor de entrada, Q_3 es el calor de salida, Q_{ac} es el calor acumulado, Q_p es el calor perdido y Q_o es el calor inicial, en kJ.

Desarrollando el balance de energía se sabe que:

$$Cp(m_1\Delta T_1 + m_2\Delta T_2) = Cp(m_3 + m_{ac})\Delta T_3 - Q_p - Cp m_0 \Delta T_0$$

$$\Delta T_3 = \frac{Cp(m_1\Delta T_1 + m_2\Delta T_2) + Q_p + Cp m_0 \Delta T_0}{Cp(m_3 + m_{ac})}$$

Reordenando la ecuación anterior, obtenemos la ecuación 2 que representa la temperatura de salida del tanque de almacenamiento considerando de las pérdidas de calor, así como calor inicial del reservorio solar, en °C.

$$\Delta T_3 = \frac{(m_1\Delta T_1 + m_2\Delta T_2)}{(m_3 + m_{ac})} + \frac{Q_p}{Cp(m_3 + m_{ac})} + \frac{m_0\Delta T_0}{(m_3 + m_{ac})} \quad (2)$$

En la ecuación 3 no se consideran las pérdidas de calor al ambiente.

$$\Delta T_3 = \frac{(m_1\Delta T_1 + m_2\Delta T_2)}{(m_3 + m_{ac})} + \frac{m_0\Delta T_0}{(m_3 + m_{ac})} \quad (3)$$

Posteriormente se realizó el cálculo del calor perdido con la ecuación 4, permitiendo tener una estimación de las pérdidas existentes durante todo el proceso.

$$Q_p = \left[\Delta T_3 - \frac{(m_1\Delta T_1 + m_2\Delta T_2)}{(m_3 + m_{ac})} - \frac{m_0\Delta T_0}{(m_3 + m_{ac})} \right] (Cp(m_3 + m_{ac})) \quad (4)$$

En esta ecuación ΔT_3 corresponde a la temperatura experimental, permitiendo de esta manera encontrar las diferencias de temperatura entre el comportamiento experimental y el teórico, y con ello el calor. Las ecuaciones 2, 3 y 4 se programaron en Matlab para su solución.

Desarrollo Experimental

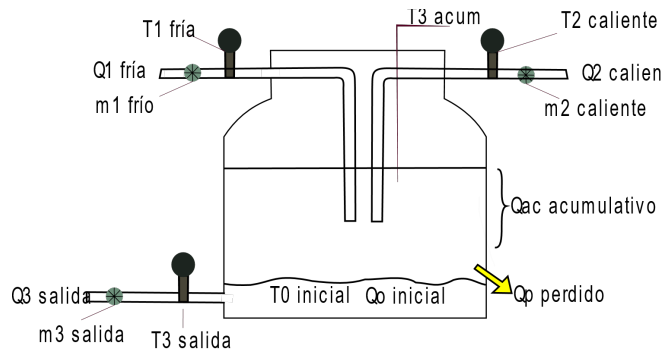


Imagen 1. Reservorio solar dónde se realiza el análisis.

En la imagen 1 se muestra el diagrama del montaje experimental del reservorio donde se muestran las variables a medir: temperatura y flujo, tanto de la corriente fría como la caliente. Se tomó una muestra cada 2 segundos, generando total de 1824 lecturas durante el experimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ecuación 3 se programó y resolvió en MATLAB con la solución de matrices, se comparó el comportamiento de la temperatura de salida del tanque de almacenamiento de manera teórica y experimental. En la imagen 2 se muestran los datos experimentales que se obtuvieron por un periodo de una hora y 48 segundos obteniendo una temperatura de 26.37 °C, con el modelo teórico se obtuvo una temperatura de 27.88 °C que comparada con la temperatura experimental presenta un error del 5.72%.

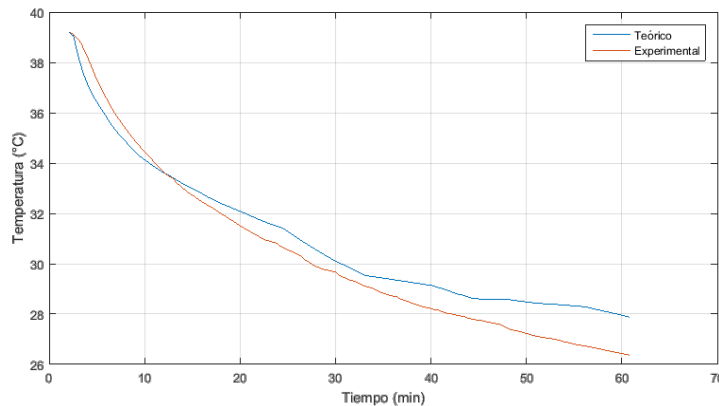


Imagen 2. Comparación del comportamiento del modelo teórico con el experimental.

En la imagen 3 se presenta el comparativo entre el modelo de Hernández-Camacho y Martínez-Rodríguez 2017, el comportamiento experimental y el modelo modificado. Mostrando que el nuevo modelo planteado presenta una mayor exactitud con el modelo experimental durante todo el periodo de tiempo trabajado, mostrando que la modificación del balance manejado con las variables adecuadas permite una mejor predicción.

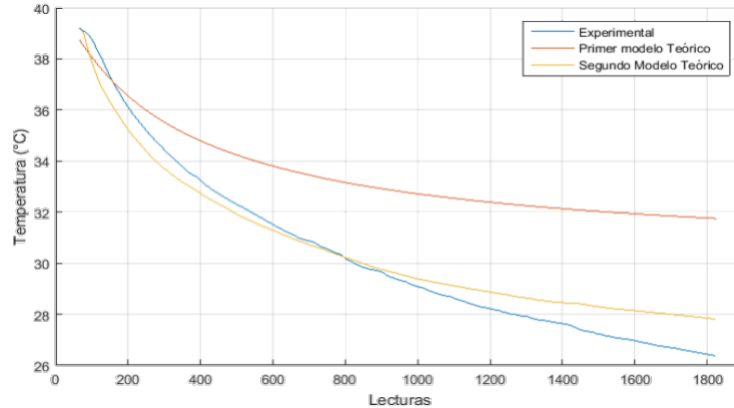


Imagen 3. Comparativo del nuevo modelo planteado con el realizado en 2017 y el comportamiento experimental.

Además, en la imagen 4 se muestra el comportamiento del calor perdido durante el experimento, permitiendo con ello observar que es posible utilizar algún tipo de aislante térmico en el reservorio solar, o incluir este fenómeno al modelo matemático utilizado para poder crear un modelo más preciso, para fines prácticos el modelo obtenido presenta un error mínimo que permite utilizarlo en distintas aplicaciones.

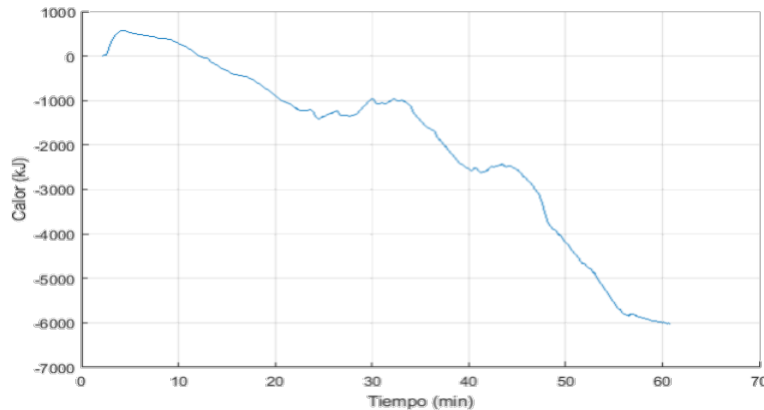


Imagen 4. Perdidas de calor.

CONCLUSIONES

La modificación del modelo planteado por Hernández-Camacho y Martínez-Rodríguez, permitió obtener un modelo capaz de predecir la temperatura de salida de un tanque de almacenamiento con mayor precisión, presentando un error del 5.72% para un periodo de tiempo de una hora y 48 segundos de duración del experimento siendo este mucho mejor que el presentando por Kicsiny (2018) con un error del 6.2%. Mostrando que este modelo debido a su alta precisión puede ser utilizado para distintos ámbitos como el sector industrial, doméstico y de servicios públicos. Donde el uso de reservorios solares presente una posible aplicación buscando con ello el uso de una energía mucho más limpia.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a los Veranos de Investigación Científica 2018 por permitirme la participación en esta edición; así como a M.I.Q Amanda Lucero Fuentes por su asesoría y apoyo durante todo el verano, al Dr. Guillermo Martínez Rodríguez por permitirme ser parte del proyecto y por supuesto a mi familia por el apoyo incondicional en todo momento.

REFERENCIAS

- [1] l'énergie, D. & Daniel-Dautreppe, S. (2017). Storage of thermal solar energy. *Comptes Rendus Physique*, 18(1), 401-414.
- [2] Kicsiny, R. (2018). Black-box model for solar storage tanks based on multiple linear regression. *Renewable Energy*, 125(1), 857- 865.
- [3] Hernández Camacho, N. V. & Martínez Rodríguez, G. (2017). Almacenamiento Termosolar. *Jóvenes de la Ciencia*, 3(2), 2566- 2571.
- [4] Buzas, J. & Farkas, I. (2000). Solar domestic hot water system simulation using block-oriented software. *The 3rd ISES-europe Solar World Congress (Eurosun 2000)*. 9.