

MODELADO TEÓRICO DE UN COLECTOR SOLAR DE BAJA TEMPERATURA EN ESTADO TRANSITORIO

Silviano Mendoza Hector Hugo (1), Martínez Rodríguez Guillermo (2)

¹ [Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | [silviano_hector@hotmail.com]

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

Resumen

Los colectores solares son un tipo particular de intercambiadores de calor que son utilizados principalmente en el sector doméstico y actualmente se busca ampliar su aplicación a procesos industriales. La caracterización térmica de dichos dispositivos es fundamental para buscar integrarlos a los procesos productivos. En ese sentido, se propone en el presente trabajo, el desarrollo de un modelo térmico transitorio que permita determinar la temperatura de salida instantánea que varía con las condiciones ambientales y de operación. El modelo transitorio se programó en el lenguaje de programación matemática Matlab y se validó con datos experimentales de dos estaciones del año, verano e invierno. La concordancia entre los resultados teóricos y los experimentales es muy buena, ya que el % de error entre ambos resultados es del 2.77% para verano y 3.03% para invierno.

Abstract

Solar collectors are a particular kind of heat exchangers which are mainly useful for the domestic sector and, nowadays, researchers are interested too on industrial processes application. Thermal characterization of these devices is fundamental to favour their integration in productive processes. On this issue, it is proposed on this work, the development of a transient thermal model which let to determine the instantaneous outlet temperature; because it oscillates as the environmental and operational conditions do. The transient model was programmed on Matlab mathematical software and was validated with experimental data corresponding to summer and winter seasons. The concordance between theoretical and experimental results is very good, because the %error is 2.77% on summer season and 3.03% on winter.

Palabras Clave

Colector Solar; Modelo Teórico; Estado Transitorio, Temperatura de Salida

INTRODUCCIÓN

Los colectores solares son dispositivos que se encargan de transformar la energía radiante del sol en energía térmica. En estos dispositivos se presentan los tres mecanismos de transferencia de calor: radiación, conducción y convección, la radiación solar se recibe al colector desde una fuente distante, la energía absorbida por la capa selectiva se conduce por las aletas y el tubo hacia la pared interna del mismo y posteriormente la energía es removida por convección por medio de un fluido térmico.

La aplicación de los colectores solares para el calentamiento del agua y en sistemas de enfriamiento se ha demostrado que es factible [1]. Existen numerosos procesos donde se requiere calentar un fluido de trabajo, como el calentamiento de piscinas y la pasteurización de alimentos, por lo que su campo de aplicación es bastante extenso tanto a nivel residencial como industrial. Los procesos industriales requieren una carga térmica y una temperatura objetivo constante, sin embargo las condiciones ambientales como la irradiancia y la temperatura ambiente varían con el tiempo y por necesidades del proceso puede variar el tiempo de operación, el flujo y la temperatura de entrada. Para responder a los desafíos planteados se requiere el desarrollo de un modelo matemático que evalúe la temperatura de salida del colector solar en función del tiempo y poder garantizar el suministro de la carga térmica y el nivel de temperatura maximizando el tiempo de operación y la temperatura de salida.

Hasta el momento se han propuesto diversos modelos para predecir el comportamiento térmico de los colectores solares planos, tanto en estado estacionario como en estado transitorio. En 1974, Klein y Duffie propusieron un modelo multi-nodo para predecir el desempeño térmico de los colectores solares, el cual considera el efecto de la capacitancia térmica del fluido a lo largo del tiempo [2]. Este modelo presenta una desventaja frente a otros más modernos, debido a que necesita resolver un conjunto de ecuaciones diferenciales simultáneas de manera numérica. Wijeyundera desarrolló en 1978 un modelo en estado transitorio basándose en el modelo de Klein considerando la capacitancia térmica del fluido despreciable en comparación con la capacitancia de la placa absorbidora [3]. Amer en 1999, propuso un modelo dinámico, el cual toma en cuenta las pérdidas de calor como una función de la temperatura de salida y la temperatura ambiente, además considera condiciones ambientales variables [4]. Amrizal presentó en 2012 un modelo que se basa en el concepto de flujo pistón y presenta una ecuación algebraica simple para determinar la temperatura de salida del colector, esta ecuación requiere del cálculo de parámetros característicos del colector a través de mediciones en estado estacionario [5]. Picón-Núñez et al., en 2013 propuso un modelo térmico sencillo en estado estacionario para predecir la temperatura de salida de colectores solares planos con una muy buena concordancia entre lo teórico y lo experimental [6]. En el presente trabajo se muestra un nuevo modelo en estado transitorio para la caracterización térmica del colector y la predicción de la temperatura de salida en función del tiempo. La propuesta difiere del resto de los modelos porque considera el coeficiente global de pérdidas de calor y la temperatura media de placa variables con el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recursos materiales necesarios para la realización del proyecto:

- Equipo de cómputo y uso de software Matlab.
- Acceso a medios digitales: bibliográficos y base de datos.

El método de trabajo se llevó a cabo en dos etapas:

- a) Desarrollo del modelo matemático. Para esto se llevó a cabo una revisión del estado arte del tema, con la finalidad de resaltar la contribución del trabajo. La programación del modelo resulta fundamental para dar solución al mismo y facilitar la simulación de diferentes condiciones de operación y la obtención de resultados.

- b) Validación del modelo propuesto. Es necesario confirmar los resultados teóricos comparándolos con datos experimentales.

Desarrollo del modelo matemático

El modelo propuesto parte del balance de energía en un colector solar plano. En dicho balance el calor útil está en función de la cantidad de energía reciba y la cantidad de energía que se pierde al ambiente. El balance de energía se presenta en la siguiente ecuación.

$$\dot{m}C_p(T_o - T_i) = A_s[G_s\tau\alpha - U_T(T_{pm} - T_a)] \quad (1)$$

Donde \dot{m} es el flujo másico en kg/s, el C_p es el calor específico en KJ/Kg °C, T_o es la temperatura de salida del fluido del colector en °C, T_i es la temperatura de entrada del fluido al colector en °C, A_s es el área de la superficie absorbadora en m², G_s es la radiación solar instantánea en W/m², τ es la transmitancia de la cubierta de vidrio y α es la absorbancia de la capa selectiva, U_T representa el coeficiente global de pérdidas de calor en W/m² °C, T_{pm} es la temperatura media de placa en °C y T_a la temperatura ambiente en °C.

Se considera que las temperaturas, la irradiancia y el coeficiente global de transferencia de calor, cambian con el tiempo, el resto de las variables en este modelo se considera que se mantienen constante con el tiempo. A partir de las consideraciones ya citadas se llega a la ecuación (2). Reacomodando algebraicamente la ecuación se llega a la ecuación (3), la cual es una ecuación diferencial ordinaria que nos indica la variación de la temperatura de salida con respecto al tiempo en función de las características físicas del colector y las condiciones ambientales.

$$\dot{m}C_p \frac{dT_o}{dt} = A_s\{\tau\alpha \frac{dG_s}{dT} - [(T_{pm} - T_a) \frac{dU_T}{dt} + U_T \frac{dT_{pm}}{dt}]\} \quad (2)$$

$$\frac{dT_o}{dt} = \frac{A_s\{\tau\alpha \frac{dG_s}{dT} - [(T_{pm} - T_a) \frac{dU_T}{dt} + U_T \frac{dT_{pm}}{dt}]\}}{\dot{m}C_p} \quad (3)$$

El modelo representado por la ecuación (3) se programó en el software matemático Matlab. La resolución de esta ecuación diferencial se llevó a cabo utilizando la herramienta ode15 de Matlab. En la imagen 1 se muestra un diagrama de bloques simplificado que muestra de manera general la lógica del programa.

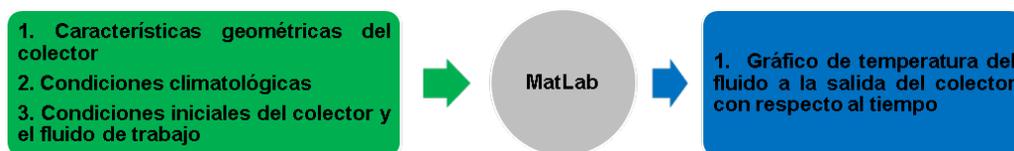


IMAGEN 1: Diagrama general del funcionamiento del programa.

Validación experimental

El modelo se validó con datos experimentales de un colector solar plano que se comercializa en el mercado internacional. Las características geométricas y las propiedades de los materiales del colector se presentan en la Tabla 1. Los datos experimentales fueron proporcionados por el Laboratorio del Banco de Pruebas Solares de la Universidad de Guanajuato (Latitud 21.3669° N, Longitud 101.27° O). La frecuencia de muestreo utilizada es de 1 dato cada 5 minutos.

Los datos experimentales utilizados corresponden a las estaciones del año de verano e invierno, que son los casos extremos en cuanto a condiciones ambientales se refiere, por un lado verano con los más altos niveles de irradiancia y por el otro, invierno con los más bajos niveles.

Tabla 1. Características geométricas y ópticas del colector solar.

Característica	Medida
Área de captación	1.7955 m ²
Tipo de Aislante	Lana Mineral
Trasmitancia de la cubierta	0.96
Capa Selectiva	Dióxido de Titanio
Absorbancia de la Capa Selectiva	0.96

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados generados por el programa en Matlab del modelo térmico transitorio para el invierno se presentan en la imagen 2, en ella se muestra la curva teórica comparada con la curva correspondiente a las mediciones experimentales. Como se puede observar el modelo teórico predice ligeramente por arriba la temperatura de salida en comparación con la temperatura de salida experimental. El % de error entre la temperatura de salida teórica y la temperatura de salida experimental es de 3.03%.

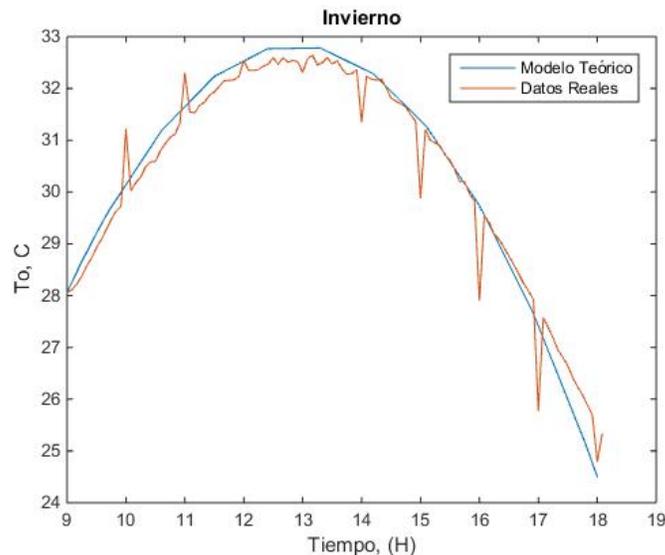


IMAGEN 2: Gráfico de temperatura del agua de salida del colector para un día de invierno.

En la imagen 3 se presentan los resultados para un día típico de la estación de verano. De la misma manera que para el periodo invernal, la concordancia entre la temperatura de salida teórica y la experimental es muy buena con un % de error de 2.77%.

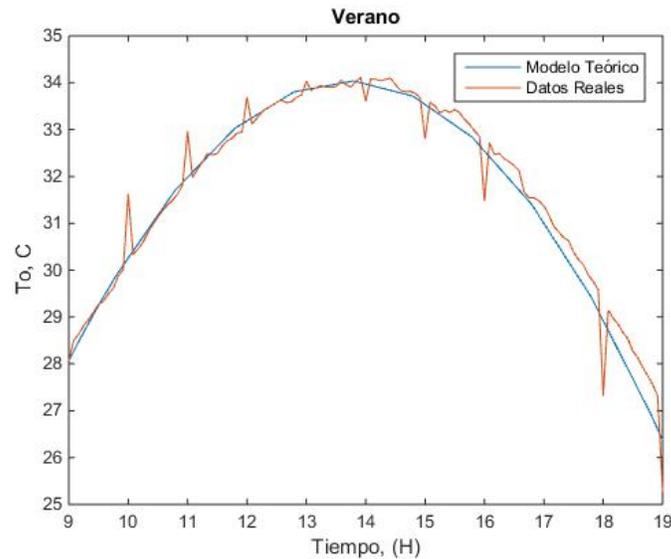


IMAGEN 3: Gráfico de temperatura del agua de salida del colector para un día de verano.

CONCLUSIONES

El modelo dinámico para un colector solar plano, es capaz de predecir con bastante exactitud la temperatura de salida del colector según los resultados obtenidos. El modelo fue programado en Matlab y validado con datos experimentales. El % de error entre la temperatura de salida teórica y experimental para los dos casos de estudio fue alrededor del 3%.

El resto de las variables que se consideraron constantes con el tiempo no impactan de manera significativa en la temperatura de salida según los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi alma mater la Universidad de Guanajuato por todo el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Tybout, R. A., and L6f, G. O. G., (1970), "Solar House Heating", Natural Resources Journal, Vol. 10, pp. 268 Recuperado de <http://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3493&context=nrg>
- [2] Klein, S. A., J. A. Duffie, and W. A. Beckman, (1974), "Transient Considerations of Flat-Plate Solar Collectors", J. Eng. Power, 96A, pp. 109
- [3] Wijeyesundera, N. E., (1978), "Comparison of Transient Heat Transfer Models for Flat-Plate Collectors.", Solar Energy, Vol. 21 pp. 517 - 521
- [4] Amer E.H., Nayak J.K., Sharma G.K., (1999), "A new dynamic method for testing solar flat-plate collectors under variable weather", Energy Conversion & Management, Vol 40, pp. 803 - 823.
- [5] Amrizal N., Chemisana D., Rosell J. I., Barrau J., (2012), "A dynamic model based on the piston flow concept for the thermal characterization of solar collectors", Applied Energy, Vol 94, pp. 244 - 250.
- [6] Picón-Núñez M., Martínez-Rodríguez G., Fuentes-Silva A. L., (2013), "Thermo-hydraulic design of solar collector networks for industrial applications", Chemical Engineering Transactions, Vol 35, pp. 457-462.