

DESARROLLO DE UN MODELO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DE CALENTADORES SOLARES DE PET

García Vargas Karla (1), Alfaro Ayala Jorge Arturo (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | [karla.garciavargas@ugto.mx]

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

Resumen

En este proyecto se presenta un modelo teórico para el diseño particular de calentadores solares de PET, para calentamiento de agua de consumo doméstico. El diseño matemático y la selección de los parámetros empleados, se hicieron con base a datos experimentales obtenidos para un día de verano del presente año y hora en específico por lo que el modelo se planteó en estado estacionario. Los resultados obtenidos en el modelo teórico (temperatura del agua a la salida del calentador) fueron comparados con los datos experimentales. Por último se llevó a cabo un análisis de este modelo para conocer su factibilidad en la vida diaria y proponer nuevas alternativas en el uso de las energías renovables (energía solar) y sustituir en dado momento la quema de combustibles fósiles, e incrementar la reutilización de botellas de PET que hoy en día son un fuerte problema ambiental.

Abstract

This project presents a theoretical model for the particular design of solar PET heaters, for the heating of water for domestic consumption. The mathematical design and employee selection parameters were made with experimental data obtained for a summer day of this year and specific time so the model was raised in the steady state. The results obtained in the theoretical model (water temperature at the heater outlet) were compared with the experimental data. Finally, an analysis of this model was carried out to know its feasibility in daily life and to propose new alternatives in the use of renewable energies (solar energy) and to substitute in a given moment the burning of fossil fuels, and increase the reuse of PET bottles that today are a strong environmental problem.

Palabras Clave

Calentador; Radiación; Convección; eficiencia; energía renovable

INTRODUCCIÓN

México produce 90% de su energía utilizando combustibles fósiles, como el carbón, gas y petróleo, lo que provoca un deterioro en la calidad del aire, contaminación de ríos, mares, suelos, etc.

La implementación de calentadores solares es una solución para aquellos procesos que requieren agua caliente, sin embargo, los elevados precios hacen que esta tecnología sea poco accesible para los diferentes sectores sociales.

Por su ubicación geográfica, México cuenta con excelentes recursos de energía solar, con un promedio de radiación de 5.5 KW/m² día, lo que significa que en un m² y con un equipo de eficiencia de 50% se reciba diariamente el equivalente a la energía contenida en un metro cúbico de gas natural.

En nuestro país el uso de las energías renovables sigue situándose por debajo de las demás fuentes de energía. Por otro lado, poco a poco se está impulsando al uso de estas energías renovables, aunque no es suficiente para contrarrestar el uso de energías convencionales.

Según la PROFECO (Procuraduría Federal del Consumidor), calcula que en México cada habitante desecha 6.5 Kg de PET al año. El 21.5% se recicla, 0.5% se dispersa en el aire y el 78% se mantiene en rellenos sanitarios. Es por esto la razón de la reutilización de las botellas de PET.

Calentadores Solares

Un calentador solar de agua (CSA), es un sistema fototérmico capaz de utilizar la energía térmica del sol para el calentamiento de agua sin usar ningún tipo de combustible. Se compone de: un colector plano, donde se captura la energía del sol y se transfiere agua; un termotanque, donde se almacena el agua caliente; y un sistema de tuberías por donde circula el agua. En la imagen 1 se muestra los componentes de un calentador solar. [1]

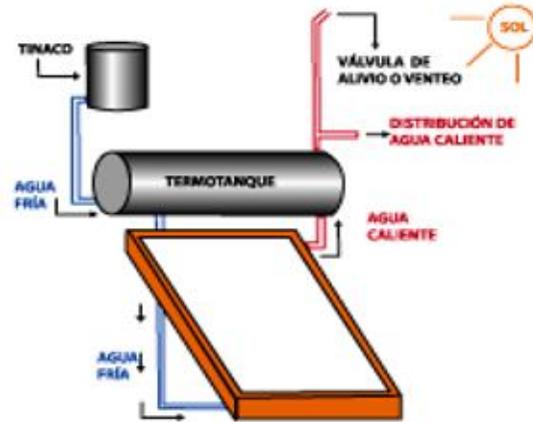


IMAGEN 1: Componentes de un calentador solar

Los calentadores solares se dividen en tres clases:

1) *De baja temperatura.*

Generan temperaturas menores a 65°C. Son ideales para calentar piscinas, uso doméstico de agua y actividades industriales en las que el calor del proceso no sea mayor a 60°C. Ejemplo: colector solar plano y panel de tubos de vacío.

2) *De temperatura media.*

Generan temperaturas de entre 100 y 300°C.

3) *De alta temperatura.*

Generan temperaturas mayores a 500°C, la cual se puede utilizar para generar electricidad. Ejemplo: concentradores parabólicos y concentradores cilíndricos. [2]

El objetivo de este trabajo fue obtener un modelo teórico que permitiera el diseño particular de calentadores solares de PET, así como la reutilización de botellas de PET que actualmente son un gran problema ambiental y lograr la reducción en la acumulación de emisiones contaminantes, debido al reemplazo de la quema de combustibles fósiles por energía solar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se condiseró el diseño para calentadores de baja temperatura (colectores de placa plana).

El diseño del modelo teórico se realizó en el software Mathcad 14.0, a partir de datos experimentales realizados en un prototipo del calentador solar.

Se decidió tomar como base botellas de PET de 355 ml. Los parámetros y dimensiones utilizados en la geometría base se presentan en la tabla 1. [3]

Tabla 1: Parámetros y dimensiones de la geometría base

Parámetros	Dimensión
Longitud de la botella	21 cm
Diámetro promedio de la botella	6 cm
Diámetro del tanque	12.5 cm
Longitud del tanque	15 cm
Número de botellas	2

En la imagen 2 se muestra el prototipo del calentador solar.

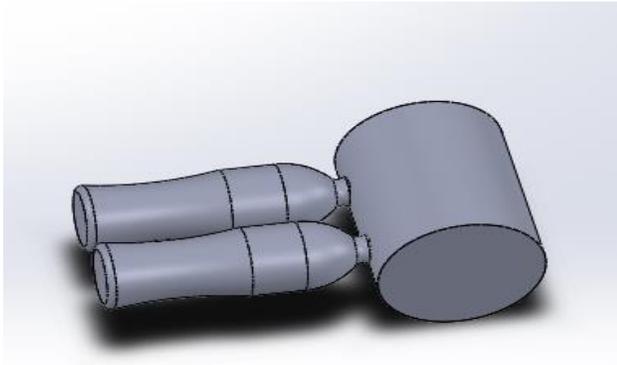


IMAGEN 2: Prototipo del calentador solar de PET

El diseño teórico del calentador solar se realizó en estado estacionario. Se tomaron en cuenta los datos experimentales obtenidos para un día de verano. La prueba se realizó el 3 de mayo del presente año. Mostró una temperatura ambiente máxima de 306.23K (33°C). La temperatura máxima registrada por el calentador solar fue 315.73 K (43°C), para el caso de la radiación, la máxima fue de 994 W/m². Estos datos se obtuvieron a las 15:50 hrs para un ángulo de inclinación de 45°.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance de energía del calentador solar

$$E_{ent} - E_{sal} = 0 \quad (1)$$

$$Q_{rad} - Q_{perd} = 0 \quad (2)$$

De otra manera:

$$q * A_c * (\alpha\tau) - U * A_c * (T_f - T_a) = 0 \quad (3)$$

Donde:

q=994 W/m²día (radiación solar incidente)

τ=0,8 (transmitividad del PET)

α=0,1 (absortividad del PET)

Ac=0.0197 m² (Área del calentador solar)

Ta=306.23 K (Temperatura ambiente)

U es el coeficiente total de transferencia de calor

Tf es la temperatura de salida del agua

Calculo de la conductancia en la parte inferior

La conductancia en la parte inferior se evalúa conociendo la resistencia térmica conductiva R1 y la resistencia térmica convectiva R2.

R1 está dada por la conductividad térmica del aislante ka, y el espesor del mismo L; R2 está dado por el coeficiente convectivo de transferencia de calor entre la paca de absorción y el ambiente, el cual en calentadores bien aislados es despreciable.

Si R2<<R1 entonces R2 se desprecia; por lo que la conductancia en la parte inferior sería:

Ka=0.06 W/mK (conductividad del aislante, poliuretano)

L=0.05 m (espesor del aislante)

$$R1 = \frac{L}{Ka} = 0.8333 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (4)$$

Por lo tanto, la conductancia en la parte inferior es:

$$U_{f_o} = \frac{1}{R1} = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (5)$$

Cálculo de la conductancia en la parte superior

Esta conductancia se evalúa determinando las resistencias térmicas R3, R4 y R5. El proceso de cálculo de estas resistencias es iterativo, además requiere de datos como las temperaturas de las cubiertas t los coeficientes convectivos de transferencia de calor, que por lo general, son difíciles de evaluar, por lo que el cálculo de estas resistencias es complicado.

Hottel y Wertz propusieron una ecuación para el cálculo de esta conductancia, que simplifica lo mencionado anteriormente. Esta ecuación se utiliza para temperaturas de la placa de absorción entre 25 y 225°C. [4]

$vv = 5 \text{ m/s}$ (velocidad del viento)

el coeficiente de transferencia de calor por convección entre el aire y el calentador es:

$$h_v = 5,7 + 3,8 * vv = 24,7 \quad (6)$$

$N=2$ (número de cubiertas)

$T_p=323,15 \text{ K}$ (temperatura promedio de la placa de absorción)

$\epsilon_c = 0,4$ (emitancia de las cubiertas en el infrarrojo)

$\epsilon_p = 0,92$ (emitancia de la placa absorbadora)

$\theta = 45^\circ$ (ángulo de inclinación del calentador)

$\sigma = 0.00000056703 \text{ W/m}^2\text{K}$ (constante de Boltzmann)

$$f = (1 - 0,04^{h_v} + 0,0005^{h_v^2}) * (1 + 0,058 * N) \quad (7)$$

$$f = 1,116$$

Para $0 < \theta < 70^\circ$:

$$C = 520(1 - 0,000051 * \theta^2) = 466,297 \quad (8)$$

$$\epsilon = 0,43 \left(1 - \frac{100}{T_p}\right) = 0,558 \quad (9)$$

La conductancia en la parte superior es:

$$U_{sup} = \left[\frac{N}{\left(\frac{C}{T_p}\right) \left(\frac{T_p - T_a}{N + f}\right)^\epsilon + \frac{1}{h_v}} \right]^{-1} \quad (10)$$

$$+ \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0,00591 * N * h_v)^{-1} + \left(\frac{2 * N + f - 1}{\epsilon_c}\right) - N}$$

$$U_{sup} = 2,502 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Cálculo de la conductancia en la parte lateral

$P=0,188 \text{ m}$ (perímetro del calentador)

$L1=0,025 \text{ m}$ (espesor del aislante en los laterales)

$$U_{iat} = \frac{ka * h * P}{L1 * Ac} \quad (11)$$

$$U_{iat} = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Finalmente, la evaluación del coeficiente total de transferencia de calor para todo el calentador está representada por la sumatoria de las tres conductancias. [5]

$$U = U_{f_o} + U_{sup} + U_{iat} \quad (12)$$

$$U = 6,102 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Evaluando el valor del coeficiente total de transferencia de calor (U) en la ecuación (3), obtenemos el valor de la temperatura del agua a la salida del calentador:

$$T_f = 319,26 \text{ K} (46^\circ\text{C})$$

En la tabla 2, se puede apreciar un resumen de los los resultados obtenidos en el diseño del modelo teórico del calentador solar de PET para el día 3 de mayo de 2017 a las 15:50hrs.

Tabla 2: Resultados obtenidos para el modelo teórico

Parámetros	Símbolo	Valor
Ángulo de inclinación del calentador	θ	45°
Radiación solar incidente	q	$994 \text{ W/m}^2\text{día}$
Área del calentador solar	A_c	$0,0197 \text{ m}^2$
Temperatura ambiente	T_a	$306,23 \text{ K}$ (33°C)
Conductancia en la parte inferior	U_{f_o}	$1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Conductancia en la parte superior	U_{sup}	2,502 W/m ² K
Conductancia en la parte lateral	U_{lat}	2,4 W/m ² K
Coefficiente total de transferencia de calor	U	6,102 W/m ² K
Temperatura del agua a la salida	T _f	319,26 K (46°C)
Eficiencia del calentador	η_c	40%

En la tabla 2 podemos observar que para el día 3 de mayo del 2017 a las 15:50 hrs, la temperatura ambiente considerada fue de 33°C, para una inclinación del calentador solar de 45°, la radiación solar incidente fue de 994 W/m² día. Por otro lado, con este modelo teórico la temperatura del agua a la salida del calentador fue 46°C, 3°C arriba de la temperatura reportada en los datos experimentales que fue de 43°C, resultando una eficiencia del calentador solar de 40%.

CONCLUSIONES

- 1) Se logró la obtención del modelo teórico que permitiera el diseño particular de calentadores solares de PET, así como la reutilización de basura (botellas de PET) que hoy en día en todos los países son un gran problema ambiental.
- 2) El modelo teórico planteado resultó ser favorable, ya que, al hacer una comparación con los resultados obtenidos de manera experimental, estos fueron muy similares.
- 3) Con este modelo, se puede seguir avanzando en el uso de las energías renovables, para lograr en este caso el calentamiento de agua a través de energía solar, y a su vez permita la reducción en la acumulación de emisiones contaminantes y en un futuro poder reemplazar la quema de combustibles fósiles (gas natural y gas LP) por energía solar.

REFERENCIAS

- [1] Rincón Mejía E. (1997). Las Fuentes Renovables de Energía Como Base Del Desarrollo Sostenible en México. 15 de junio 2017, de Anes (Asociación Mexicana De Energía Solar)
- [2] Ordoñez Gutierrez J.L. (2010). Reutilización de botellas de PET mediante la aplicación de energía solar térmica de baja temperatura en un nuevo colector solar plano de 500W; 21 de junio 2017, de Escuela Politécnica del ejército.
- [3] Lorenzini Gutiérrez D., Rangel Hernández V., Hernández Guerrero A. (2012). Desarrollo de un Software Académico para el diseño y caracterización de colectores solares de placas planas. 23 junio 2017, de Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato.
- [4] Conejo Hernández F.J. (2012). Sistema de almacenamiento térmico con cambio de fase, aprovechando energías alternas, arreglo placa-canal, uso industrial. 15 junio 2017, de División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.
- [5] Burbano J.C., Restrepo Hernández Álvaro., Sabogal O.J. (2006). Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón. 30 junio 2017, de Scientia et Technica.