

Evaluación de un calentador solar de agua fabricado con tubería PVC en serie y envases pet translucidos

Evaluation of a solar hot water made with PVC pipe in series and translucent pet packaging

GERMÁN ARTURO LÓPEZ MARTÍNEZ

Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería Mecánica. Profesor asociado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C., Colombia.

Contacto: galopezm@udistrital.edu.co

JUAN ALBERTO MANTILLA LÓPEZ

Estudiante de Tecnología Mecánica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C., Colombia. Contacto: jamantillal@correo.udistrital.edu.co

BRYAN HAMIR POVEDA SUAREZ

Estudiante de Tecnología Mecánica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C., Colombia. Contacto: bhpovedas@correo.udistrital.edu.co

Fecha de recepción: 14 de Julio de 2012

Clasificación del artículo: Investigación

Fecha de aceptación: 1 de Octubre de 2012

Grupo de Investigación: GIEAUD

Palabras clave: : *Calentador solar de agua, envases pet, materiales reciclados, termosifón.*

Key Works: *Solar water heater, pet bottles, recycled materials, thermosyphon*

RESUMEN

Este artículo describe el proceso de evaluación preliminar realizado a un calentador solar de Agua Caliente Sanitaria (ACS), fabricado con materiales económicos no convencionales, como son envases pet translúcidos, tubos en PVC en serie, tanques plásticos, y papel o cartón usados como aislante térmico. Para realizar la evaluación, se sigue el método ASHRAE. También, se hace una comparación de la temperatura del agua de salida del calentador en estudio, con la temperatura de salida de un calentador solar de placa plana convencional fabricado con materiales como placa metálica, tubos de cobre distribuidos en paralelo, vidrio templado, y tanque de almacenamiento en acero inoxidable,

con aislamiento en fibra de vidrio. Los dos calentadores fueron construidos por el Grupo de Investigación en Energías Alternativas de la Universidad Distrital, GIEAUD, para fines investigativos, y el último, también es usado para suministrar ACS a las duchas del gimnasio de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital ubicado en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia. Para el desarrollo de la evaluación, los dos calentadores se instalaron uno al lado del otro con el fin de garantizar iguales condiciones ambientales de operación. De los resultados obtenidos hasta ahora se puede afirmar que, aunque el rendimiento general del calentador sometido a la evaluación es inferior al de un calentador de placa plana convencional y las temperaturas de salida están por debajo de los 40°C, es fac-

tible su utilización haciendo algunos cambios en el diseño que permitan mejorar su rendimiento, esto es tema de la segunda etapa de esta investigación.

ABSTRACT

This paper describes the assessment process undertaken to a solar domestic hot water (DHW), made with cheap materials unconventional, such as translucent PET, PVC tubes in series, plastic tanks, and paper and paperboard used as insulation thermal. To perform the evaluation, ASHRAE method is followed, in addition to a comparison of the temperature of the water heater outlet under study, with the outlet temperature of a flat plate solar heater conventional manufactured from materials such

as sheet metal, pipes distributed parallel copper, tempered glass, and storage tank in stainless steel, fiberglass insulation, the two heaters were built by the Energy Research Group at the University District alternatives GIEAUD for research purposes, and the last, is also used to provide ACS gym showers School District University of Technology located in the city of Bogotá D.C., Colombia. For the development of the evaluation, two heaters are installed next to each other, to ensure equal ambient operating conditions. From the results so far it can be stated that although the overall performance of the heater being evaluated is lower than a conventional plan heater plate, and outlet temperatures are below 40°C, making feasible their use some design changes to improve its performance, this is subject of the second stage of this research.

* * *

1. INTRODUCCIÓN.

El uso de la energía solar, como fuente calórica, en una ciudad como Bogotá es una aplicación poco explotada o prácticamente nula. Se estima que menos del 0,5% de los hogares de la ciudad cuentan con este servicio (principalmente para ACS), debido a la falta de políticas y estímulos que incentiven su uso. La principal fuente de calor, utilizada actualmente, es el gas natural, servicio energético que se difundió por toda la ciudad (y el país), en la década de los años 90 del siglo pasado, atendiendo a una política energética de disminuir, por un lado, el consumo de una la fuente extremadamente costosa como lo es la energía eléctrica, en los hogares de clase media y alta, y sustituir el *COCINOL*, una especie de gasolina, en los hogares de clase baja, combustible que generó múltiples accidentes caseros (quemaduras, etc.), por su inapropiada y riesgosa manipulación.

El uso masivo del gas natural como fuente energética en los hogares (e industria), de la ciudad de Bogotá, generó un ahorro a las finanzas públicas y redujo sustancialmente las estadísticas de personas quemadas por accidentes caseros con la manipula-

ción del *COCINOL*. Por otro lado, se aumentó la emisión de gases como el CO₂, el CO y, esporádicamente, el CH₄, cuando se escapa el gas natural a la atmósfera sin ser quemado. Esto generó dos tipos de problemas diferentes: la contaminación ambiental y la aparición de otro tipo de accidentes caseros como las muertes por inhalación de este tipo de gases, en las viviendas donde las instalaciones se realizan de manera deficiente o clandestina, o por la falta de mantenimiento apropiado a las instalaciones y a aparatos que funcionan con gas.

En el caso de ciudades como Bogotá y demás sitios en donde la temperatura del agua potable se encuentre por debajo de los 20°C, es recomendable el uso de calentadores de ACS, ya que se puede mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Si se quisiera impulsar el uso de calentadores solares convencionales para este propósito, se encuentra que la inversión inicial de este tipo de sistema, es varias veces mayor a los sistemas de calefacción con gas (de 3 a 10 veces), o los sistemas eléctricos (de 4 a 20 veces), lo que hace poco atractiva su inversión, a pesar del ahorro energético que se pueda alcanzar posteriormente. Esta situación obligó al grupo de investigación en energías alternativas de

la Universidad distrital (GIEAUD) a trabajar en el diseño de un calentador solar de ACS de bajo costo para intentar competir con los calentadores a gas y eléctricos que se encuentran en el mercado, mientras el estado colombiano se decide a promover el uso de calentadores solares de ACS convencionales.

Para su diseño se estableció que los materiales a usar debían ser de fácil consecución, bajo costo y de preferencia reciclados. Es así como se escoge, preliminarmente, tubería PVC, envases PET reciclados, tanques de plástico y de papel periódico o cartón como aislante térmico. En cuanto a la capacidad volumétrica del calentador se estableció un valor de mínimo 100 L ya que con este valor se puede abastecer un hogar de 3 a 4 personas [1].

La reutilización de envases PET (Polietilentereftalato) ayuda a la conservación del medio ambiente. Cada día, sus desechos se incrementan de manera constante, lo que produce muchos problemas ambientales, principalmente porque es un material que tiene una lenta degradabilidad, (varias docenas de años), además que durante este proceso se genera metano que es un gas de efecto invernadero más nocivo que el dióxido de carbono [2]. El envase PET, en el calentador solar, tiene como función acumular calor proveniente de la radiación solar, mediante el efecto invernadero que se genera al interior del mismo y este es transmitido a la tubería en PVC que se encuentra dentro del envase. En este caso concreto los envases PET reemplazan al vidrio y a la placa captadora, en un colector solar de placa plana.

La tubería en PVC se escoge básicamente por su bajo costo en comparación con los tubos de cobre (menor al 10%), que son los que se emplean en un calentador solar de placa plana. Esta selección se hace a pesar del bajo coeficiente de conductividad térmica del PVC (0,1 W/m K), en comparación con la del cobre (401 W/m K) [3], lo que haría pensar en una baja eficiencia. Sin embargo, con un valor bajo de conductividad permite comportarse como un aislante térmico, lo que podría ser beneficioso

una vez se calienta el agua dentro del tubo, situación que se quiere probar con el funcionamiento del calentador.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1 Viabilidad del proyecto.

Antes de la construcción de los calentadores fue necesario establecer la viabilidad de instalar calentadores solares en la ciudad de Bogotá.

Este aspecto se estimó siguiendo el procedimiento sugerido por la empresa CENSOLAR donde se determina la favorabilidad de la instalación del sistema de calentamiento solar mediante el cálculo del índice solar (IS), que indica si una zona determinada es favorable o no para su instalación. En este caso se considera desfavorable si su IS no llega a 5. Si por el contrario dicho índice es igual o superior a 10, la zona es excepcionalmente favorable. Con valores intermedios, la zona presenta favorabilidad para su implementación. [5] Para establecer el valor del IS se suman cuatro calificaciones diferentes que tienen que ver con aspectos climáticos y específicos de la zona a evaluar. Estos son: tipo de viento, soleamiento, temperatura ambiente y temperatura del agua en la red. Estos valores propuestos para el cálculo del IS se aprecian en las tablas 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1. Valor numérico según tipo de viento [5].

Tipo de viento predominante.	Fuerte	Moderado	Flojo	Despreciable o nulo
Valor parcial	0	0.5	1	1.5

Tabla 2. Valor numérico según soleamiento anual medio [5].

Soleamiento anual medio	Muy escaso (nubosidad permanente)	Mucha nubosidad	Nubosidad media	Escasez de nubes	Cielos despejados
Valor parcial	0	2	4	7	12

Tabla 3. Valor numérico según la temperatura ambiente media [5].

Temperatura ambiente media	Muy fría	Fría	Templada	Calurosa	Muy calurosa
Valor parcial	0	1	1.5	2	3

Tabla 4. Valor numérico según la temperatura media del agua de la red general [5].

Temperatura media del agua de la red general	Fría	Normal	Templada
Valor parcial	0	1	2

A partir de estos valores se procede a estimar el IS para la ciudad de Bogotá que se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Determinación del Índice Solar (IS) para la ciudad de Bogotá.

	Valor	
Tipo de viento	Moderado	0,5
Soleamiento	Medio	5
Temperatura ambiente	Templada	1,5
Temperatura del agua de la red	Normal	1
Índice total	8	

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que se obtuvo un IS de 8 para la ciudad de Bogotá se concluye que sí es viable la implementación de un sistema solar de suministro de ACS.

La localización de los calentadores es 4,39° de latitud norte, 74,3° de longitud Oeste y 2600 metros sobre el nivel del mar. Por otro lado, la zona presenta un clima variable (días soleados, nublados y lluviosos de manera alterna a lo largo del año). Debido a la cercanía con la línea ecuatorial, la duración promedio de los días a lo largo de un año es de 12 horas. En realidad ésta fluctúa entre 11h y 42min en el solsticio de invierno (22 de diciembre) y 12h y 19min, en el solsticio de verano (21 de junio).

2.2 Proceso constructivo

El grupo GIEAUD tiene proyectado diseñar y construir varios tipos de calentadores solares de ACS, con materiales reciclados, con el fin de encontrar el mejor diseño. Entre ellos se encuentra la distribución de los tubos, la cual puede ser en serie

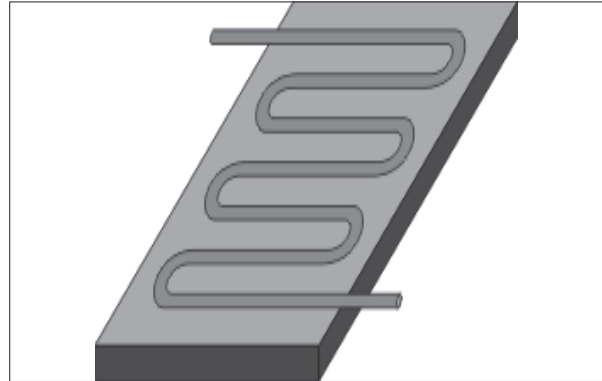


Figura 1. Colector solar de placa plana con tubos en serie. Fuente: Elaboración propia.

o en paralelo, para un calentador de placa plana, tal como se muestran las figuras 1 y 2 respectivamente. Estos montajes también se pueden aplicar a los envases tipo PET.

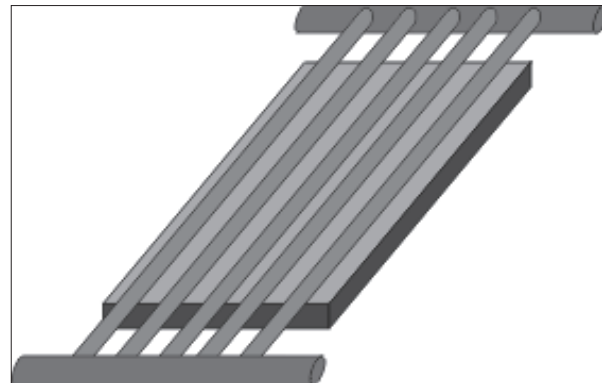


Figura 2. Colector solar de placa plana con tubos en paralelo. Fuente: Elaboración propia.

En este caso la distribución se hizo con tubos en serie tal como se muestra en la figura 3.

El sistema de almacenamiento de ACS se cons-



Figura 3. Fotografía del colector solar con envases PET y tubería PVC en serie.

Fuente: Elaboración propia.

truyó con dos depósitos de igual capacidad (114 L cada uno). Se ubicó uno en la parte más alta usado como tanque aliviador de presión (ver figura 4), el cual cuenta con una válvula controladora de nivel, conformada por un brazo y una boya flotante. El segundo tanque se aisló empleando papel periódico arrugado manualmente, para lograrlo, se usó un tercer tanque utilizado como contenedor de almacenamiento y debido a que se forma un espacio entre los dos tanques de aproximadamente 50mm se rellenó con papel periódico.

Para poder montar los diferentes componentes se



Figura 4. Fotografía de los dos tanques del calentador solar.
Fuente: Elaboración propia

construyó una estructura en ángulo de acero estructural de 25,4mm x 25,4mm x 3,2mm soldada con electrodos eléctricos. Ver figura 6.

2.3 Procedimiento de toma de datos

Se instalaron los dos calentadores uno al lado del

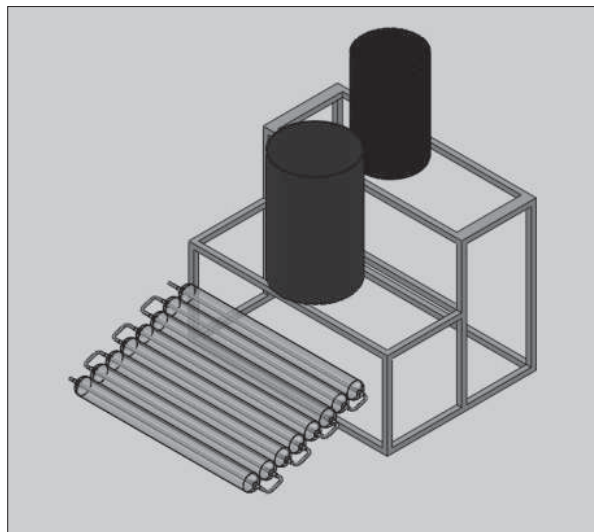


Figura 6. Dibujo del calentador solar.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Fotografía de los dos calentadores a prueba. En primer plano el calentador con envases PET, al fondo el calentador solar de placa plana. Fotografía tomada a las 2:30 pm del día de instalación, donde se aprecia que no hay proyección de sombras.

Fuente: Elaboración propia

otro con el fin de someterlos a las mismas condiciones ambientales y de radiación solar. Para un adecuado procedimiento en la toma de los datos estos se ubicaron de tal forma que no se proyectasen sombras entre ellos, tal como se aprecia en la figura 7.

Adicionalmente todos los días (en total 6), al medio día, tal como lo recomienda el método ASHRAE [4], se realizó el siguiente procedimiento: se sacó del tanque de almacenamiento del ACS, en cada calentador, 5 litros de agua en un balde calibrado, el cual se llenó en 31s, lo que dio un flujo de masa de 0,16 kg/s. Se procedió a tomar el valor de la temperatura del agua tan pronto se sacaban las muestras. Luego se registró el valor de la temperatura de entrada al calentador y la temperatura ambiente. Debido a que no se contó con un piranómetro, se calculó la radiación diaria para los diferentes días de la prueba, se tuvo en cuenta las condiciones climáticas según la clasificación asignada por los autores basados en la experiencia, para lo cual se calcula la radiación media para un día despejado y se multiplica este valor por un factor de corrección (fc), estimado para la ciudad de Bogotá [6], tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Estimación del factor de multiplicación de la radiación solar media en función de la clasificación de la nubosidad de un día específico, para la ciudad de Bogotá, Colombia [6].

Calificación nubosidad	Factor de corrección (fc)	Descripción
1	0,50	Cielo nublado entre el 100% y el 80% (o día lluvioso)
2	0,66	Cielo nublado entre el 80% y el 60%
3	0,78	Cielo nublado entre el 60% y el 40%
4	0,93	Cielo nublado entre el 40% y el 20%
5	1,00	Cielo nublado entre el 20% y el 0% (día despejado)

2.4 Rendimiento del calentador

Para establecer el rendimiento del calentador se re-

quirió primero determinar la cantidad de flujo de calor al agua mediante la ecuación (1).

$$Q_u = m C_f (T_{fo} - T_{fi}) \quad (1)$$

Donde:

Q_u = Al flujo de calor al agua [kW]

m = Al flujo de masa de agua en el calentador [0,17 kg/s]

C_f = Al calor específico del agua [4,18 kJ/kg °C]

T_{fo} = A la temperatura del agua de salida del calentador [°C]

T_{fi} = A la temperatura del agua de entrada al calentador [°C]

A continuación, en la tabla 7, se presentan los datos de temperaturas de entrada y salida registrados en los dos calentadores durante los seis (6) días hábiles que se sometieron a pruebas (entre el 27 de junio y el 4 de julio de 2012).

Tabla 7. Valores de temperatura de entrada y salida de agua, medidos al medio día durante seis días de pruebas.

Día y hora	CALENTADOR PET		CALENTADOR Placa PI		Nubosidad
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	
Día 1					
12:00 m.	16 °C	25 °C	16 °C	40 °C	2
Día 2					
12:00 m.	16 °C	28 °C	16 °C	48 °C	2
Día 3					
12:00 m.	22 °C	26 °C	22 °C	44 °C	3
Día 4					
12:00 m.	18 °C	32 °C	18 °C	56 °C	4
Día 5					
12:00 m.	20 °C	36 °C	20 °C	60 °C	4
Día 6					
12:00 m.	20 °C	30 °C	20 °C	52 °C	3

Con estos datos, se calculan los valores de flujos de calor transferidos al agua en el calentador de envases PET, aplicando la ecuación (1), y se obtienen valores que varían desde 4,7kW a 8,4 kW, que corresponden al primer día (menor flujo de calor), y quinto día, (mayor flujo de calor).

Ahora para calcular el rendimiento del calentador

con envases PET, se aplica la ecuación (2).

$$\eta_i = \frac{Q_u}{(A_c I(t))} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

η_i = Al rendimiento del calentador [%]

A_c = Al área del colector solar [m²]

$I(t)$ = A la radiación incidente en el colector [kW/m²]

El área del colector de envase PET es 1,6 m².

La radiación solar media (se establece mediante ecuación (3).

$$I_{o(medida)} = 1230 e^{\frac{-1}{3.2 \cos(\theta_s - 16)}} \quad (3)$$

Donde:

θ_s = Angulo cenital solar (°).

El ángulo cenital solar (que es el que forma la radiación directa al sol y la vertical del lugar se calcula con la ecuación (4) [7].

$$\cos \theta_s = \sin \delta \sin \lambda + \cos \delta \cos \lambda \cos \tau \quad (4)$$

Donde:

δ =Declinación solar (°).

τ =Angulo horario (°).

λ = Latitud del lugar (°).

Ahora, la declinación solar (δ), que representa la posición angular del Sol al mediodía, respecto al plano del Ecuador terrestre, se calcula mediante la ecuación (5) [8].

$$\delta = 23.75^\circ \sin(360 \frac{284+Z}{365}) \quad (5)$$

Donde:

Z representa el número del día a evaluar [adimensional].

3. RESULTADOS

A continuación, en la tabla 8, se muestran los ángulos de declinación solar obtenidos para los seis días

de la prueba, con sus respectivos Z (día del año) y la latitud del lugar.

Tabla 8. Declinación solar, número del día en el año (Z) y Latitud de Bogotá durante los 6 días de la prueba.

Día	Z		Latitud λ
27 de Junio de 2012	178	+ 23.63°	4,39°
28 de Junio de 2012	179	+ 23.6°	4,39°
29 de Junio de 2012	180	+ 23.54°	4,39°
30 de Junio de 2012	181	+ 23.49°	4,39°
3 de Julio de 2012	184	+ 23.26°	4,39°
4 de Julio de 2012	185	+ 23.18°	4,39°

Por otro lado, el ángulo horario (τ) es el desplazamiento angular del sol, respecto al medio día, este se halla aplicando la ecuación (6).

$$\tau = 180 - 15(\text{hora militar}) \quad (6)$$

A continuación se observa en la tabla 9 el valor de la radiación media para cada uno de los seis días de la prueba en tres horas diferentes, a las 7, 12 y 17 horas.

Tabla 9. Radiación media, ángulo cenital y ángulo horario de los días de prueba.

Día	Hora			(w/)
27 de Junio de 2012	07:00 a.m.	+ 75°	74.6	498.4
	12:00 a.m.	0°	19.6	932.6
	05:00 p.m.	-75°	74.5	502.6
28 de Junio de 2012	07:00 a.m.	+ 75°	74.6	498.4
	12:00 a.m.	0°	19.6	932.6
	05:00 p.m.	-75°	74.5	502.6
29 de Junio de 2012	07:00 a.m.	+ 75°	74.6	498.4
	12:00 a.m.	0°	19.5	932.7
	05:00 p.m.	-75°	74.5	502.6
30 de Junio de 2012	07:00 a.m.	+ 75°	74.6	498.4
	12:00 a.m.	0°	19.4	932.8
	05:00 p.m.	-75°	74.5	502.6
3 de Julio de 2012	07:00 a.m.	+75°	74.6	498.4
	12:00 a.m.	0°	19.2	933.1
	05:00 p.m.	-75°	74.4	502.8
4 de Julio de 2012	07:00 a.m.	+ 75°	74.6	498.4
	12:00 a.m.	0°	19.1	933.2
	05:00 p.m.	-75°	74.4	502.8

3.1 Radiación total sobre el calentador

Con los anteriores datos, y sumando todos los valores de radiación media para cada una de las otras horas del respectivo día (no mostrados en la tabla 9), se puede calcular la radiación total para cada día, tal como se aprecia en la tabla 10, al igual que la radiación efectiva sobre el calentador.

Tabla 10. Radiación total sobre los calentadores en los días de la prueba, según la clasificación de la nubosidad presente.

Día	No Día	I (kW/m ²)	Nubosidad	fc	I efectiva (kW/m ²)
27 de Junio de 2012	1	7,72	2	0,66	5,10
28 de Junio de 2012	2	7,71	2	0,66	5,09
29 de Junio de 2012	3	7,71	3	0,78	6,01
30 de Junio de 2012	4	7,70	4	0,93	7,16
3 de Julio de 2012	5	7,66	4	0,93	7,13
4 de Julio de 2012	6	7,66	3	0,78	5,97

3.2 Rendimiento del calentador

Aplicando la ecuación (2) es posible calcular el rendimiento máximo y mínimo del calentador con envases PET, que corresponde a los días primero y quinto de la prueba. En la tabla 11 se muestran los valores usados y su respectivo rendimiento.

Tabla 11. Rendimiento máximo y mínimo del calentador con envases PET.

Día	(kW)	Ac (m ²)	I efect (kW/m ²)	(%)
1	4,7	1,6	5,10	57,6
5	8,4	1,6	7,13	73,6

Los valores de rendimientos alcanzados hacen pensar en que se debe seguir investigando sobre otros diseños del calentador, con el fin de mejorar

los valores alcanzados, ya que éstos están por debajo de los rendimientos medios de un calentador convencional de placa plana comercial.

3.3 Análisis de las temperaturas de salida

Al revisar los valores de las temperaturas de salida del calentador se aprecia que el valor máximo alcanzado, en los seis días de pruebas, fue de 36°C, correspondiente al quinto día, donde se contó con una radiación máxima total de 7,13 kW/m², y ese mismo día se alcanzó una temperatura de salida de 60°C (24°C más), con el calentador de placa plana. El menor valor de temperatura de salida fue de 25°C, correspondiente al primer día, que a su vez corresponde con el día de menor radiación (5,10 kW/m²), pero con el calentador de placa plana se alcanzó una temperatura de 40°C (15° más). Con los valores alcanzados, no es posible garantizar ACS con condiciones mínimas de operación, ya que al menos se debería esperar valores de 40°C o más, para considerar la categoría de ACS. Esta situación obliga a seguir indagando sobre otras variables en el diseño de este calentador de bajo costo que permita alcanzar el valor mínimo de temperatura esperado, para poder afirmar que se cuenta con un calentador solar de ACS de bajo costo y un adecuado rendimiento.

4. CONCLUSIONES

El calentador de envases PET analizado, no cumple con las características mínimas para considerarlo como un calentador solar de ACS, ya que no es posible lograr una temperatura de salida de 40°C o más, de manera constante, sin importar las condiciones climáticas adversas.

Con los resultados hasta ahora alcanzados (rendimiento máximo del calentador 76,3% y temperatura máxima de salida de 36°C), se puede pensar en seguir investigando sobre los materiales empleados y el diseño realizado. Por ejemplo, se podría pensar en aumentar el área de captación solar para

tratar de mejorar su rendimiento y por lo tanto alcanzar temperaturas de salida superiores.

El método de cálculo utilizado deberá ser convalidado con pruebas con un piranómetro que permita evaluar el valor de la radiación solar directa sobre el calentador, para llegar a valores de rendimientos más exactos que los aquí alcanzados.

5. TRABAJO FUTURO.

Se deben desarrollar al menos tres investigaciones adicionales como son: una con un calentador de envases PET y tubos en PVC con una mayor área captadora, con lo cual se debería alcanzar valores de temperaturas de salidas iguales o superiores a

los 40°C. La otra investigación a realizar es utilizando un piranómetro acoplado al calentador para poder establecer con mayor precisión el cálculo del rendimiento del calentador. Y una tercera investigación debe estar centrada en evaluar un arreglo de envases PET y tubos de PVC en paralelo.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores y demás miembros del grupo de investigación GIEAUD expresan su agradecimiento al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico, (CIDC), de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá, por su apoyo económico para llevar adelante la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1]. M, Ortega, Rodríguez. “*Energías Renovables Energía Solar Térmica*”, p. 328. Madrid: Paraninfo. 2000
- [2]. M, Sánchez, A, Rosales, H, Maldonado. “*Estudio de catalizadores en la degradación del PET reciclado*” REDALYC Vol XIV, num 1, pp 39-45 Universidad Autónoma de Nuevo León. Mexico Enero-Marzo 2011
- [3]. Y. Cengel. “Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico”. Mc Graw Hill. Mexico 2007
- [4]. G.N, Tiwari. “Solar Energy. Fundamentals, Desing, Modelling and Applications”. Narosa Publishing House. New Delhi. 2009
- [5]. Centro de estudios de la energía solar CENSOLAR. “*La energía solar. Aplicaciones prácticas*”. Progensa. Sevilla. 1999
- [6]. G, López. “*Energías Renovables. Notas de clase*”. Universidad Distrital Bogotá, 2012.
- [7]. J, Molina. “Energías renovables. La mejor apuesta del siglo XXI”. Madrid 2011.
- [8]. J, Schallenberg; G, Piernavieja; C, Hernández. “*Energías renovables y eficiencia energética*”. Instituto Tecnológico de Candelarias. 2008