

ENSAYOS Y PRUEBAS DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA OPERANDO POR TERMOSIFÓN

RESUMEN

En este artículo se presentan los diferentes ensayos y pruebas hechos a un colector solar para calentamiento de agua de consumo doméstico, operando por termosifón. Los ensayos se hacen con base en la norma técnica colombiana NTC 4368. Se presentan además los resultados de las pruebas y las conclusiones a las mismas.

PALABRAS CLAVES: Colector solar, Termosifón

ABSTRACT

In this paper, the different tests, made on a solar collector for heating of domestic use water operating by thermosifon is presented. The tests are made taking in account Colombian Technical Standards NTC 4368. The results and conclusions are presented in this work.

KEYWORDS: Solar collector, Thermosifón.

1. INTRODUCCIÓN

Una vez se tiene construido un colector solar de calentamiento de agua para consumo doméstico, este debe ser sometido a una serie de ensayos y pruebas, para determinar su funcionamiento y eficiencia. Estos ensayos para este tipo de equipos, están regulados por normas técnicas, que para el caso de Colombia, quien las fija es el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), quien a través de las normas NTC 4368 y NTC 2461, establece qué ensayos y cómo se deben hacer, para así valorar el colector construido.

Los ensayos que establecen las normas son: Inspección inicial, ensayo de presión, medición integral del rendimiento del sistema, ensayo para determinar el mezclado de agua en el tanque de almacenamiento durante la extracción de agua caliente, ensayo para determinar las pérdidas de calor durante la noche, ensayo de choque térmico y la inspección final.

Los ensayos anteriores fueron aplicados a un colector solar construido que aparece en la figura 1 y tanto la descripción de los ensayos, como los resultados obtenidos se presentan a continuación.



Figura 1. Fotografía panorámica del sistema de calentamiento

JUAN CARLOS BURBANO J.

Ingeniero Mecánico, M.Sc.

Profesor Asociado

Universidad Tecnológica de Pereira

jburbano@utp.edu.co

ÁLVARO HERNÁN RESTREPO

Ingeniero Mecánico, M.Sc.

Profesor Auxiliar

Universidad Tecnológica de Pereira

arestrep@utp.edu.co

OSCAR JULIAN SABOGAL F.

Ingeniero Mecánico

Universidad Tecnológica de Pereira

jhaq@ohm.utp.edu.co

2. ENSAYOS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

Los ensayos que se realizan al sistema se desarrollan de acuerdo a la norma NTC 4368, que normaliza los sistemas de calentamiento de agua con energía solar y sus componentes.

2.1 Inspección Inicial

El objetivo del ensayo es observar el estado inicial del sistema antes de ser sometido a los distintos ensayos, con el fin de establecer los cambios en el mismo debido a los esfuerzos a los cuales se somete durante los procedimientos.

Debe revisarse minuciosamente, en especial los puntos en los cuales pueden presentarse fallas, como son: soldaduras, uniones, empaques, vidrio, aislante. Todos los datos deben registrarse para luego ser comparados con los obtenidos en la inspección final del sistema.

2.2 Ensayo de Presión

Un sistema cerrado (presurizable), como es el caso de este diseño, durante este ensayo se debe someter a una presión de 1,5 veces la presión de diseño o en cualquier caso no inferior a 5 bar (75 psi), durante un periodo mínimo de 15 minutos.

Durante el ensayo se ubicó el manómetro en dos puntos distintos del sistema, en la entrada del tanque y en la entrada del colector, trabajando con dos fluidos distintos, en primera instancia con agua utilizando directamente como fuente de presión la red del acueducto y en segunda se utilizó aire usando como fuente de presión un compresor.

Las figuras 2 y 3 muestran fotografías del ensayo de presión.



Figura 2. Fotografía ensayo de presión, manómetro ubicado en la entrada del colector, fuente de presión red de acueducto



Figura 3. Fotografía ensayo de presión, detalle de manómetro ubicado en la entrada del tanque.

2.3 Medición Integral del Rendimiento del Sistema

El objetivo del ensayo es determinar el rendimiento térmico del sistema, estableciendo una relación entre la energía en forma de calor contenida en el agua (energía salida), la energía solar incidente (energía entrante) y la diferencia de temperaturas ambiente y del agua fría entrante, luego de un día de operación.

Para la realización del ensayo se debe realizar un montaje como el que se observa en la figura 4.

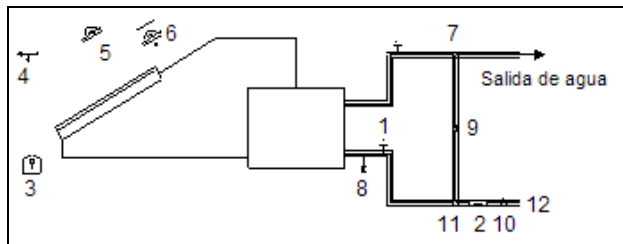


Figura 4. Circuito hidráulico para el ensayo de rendimiento del sistema. [3]

En la figura 4 se tienen los siguientes elementos: 1. Sensor de temperatura, 2. Medidor de flujo, 3. Sensor de temperatura ambiente, 4. Sensor de velocidad, 5. Piranómetro, 6. Piranómetro radiación difusa, 7. Aislamiento, 8. Desagüe, 9. Bomba de mezclado del tanque, 10. Válvula de regulación de flujo, 11. Válvula de tres vías y 12. Controlador de flujo.

Con el fin de acondicionar el sistema para el ensayo, se debe hacer limpieza de la cubierta del colector y luego se hace circular agua a una temperatura constante (T_e) con un caudal de 600 l/h hasta que todo el sistema alcance una temperatura constante, la cual se alcanza en el momento que la diferencia de la temperatura de entrada y salida sea menor a 2°C durante un periodo de cinco minutos.

Se realiza el ensayo 4 días diferentes con aproximadamente los mismos valores de ($T_{ap}-T_e$) y valores de energía solar diaria distribuidos entre 8 MJ/m^2 y 25 MJ/m^2 , y durante 2 días en los cuales el valor de ($T_{ap} - T_e$) sea de 10°C por debajo o por encima del valor registrado en los días anteriores. El sistema debe operar 12 h cada día, 6 h antes del medio día y 6 horas después. Durante los días en los cuales se realiza el ensayo se debe realizar un diagrama de entrada/salida, midiendo los valores de energía entrante (solar incidente) y energía de salida (contenida en el agua caliente extraída del tanque).

Luego de las 12 horas de operación se comienza a extraer agua del tanque con un caudal de 600 l/h, para ser reemplazada por agua a una temperatura (T_e) igual a la temperatura inicial, la temperatura debe ser medida por lo menos cada 15 s y se registra un valor promedio para cada 0,1 del volumen de tanque extraído, el volumen que se debe extraer es igual a 3 veces el volumen del tanque y la temperatura de entrada del agua no debe variar mas de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ en la figura 5 se muestran varios perfiles de descarga del tanque.

Se deben realizar también las siguientes mediciones: Irradiación solar global incidente sobre el colector (valores promedio por cada hora), Irradiación solar difusa incidente sobre el colector (valores promedio por cada hora), Temperatura ambiente (valores promedio por cada hora), Velocidad del viento (valores promedio por cada hora)

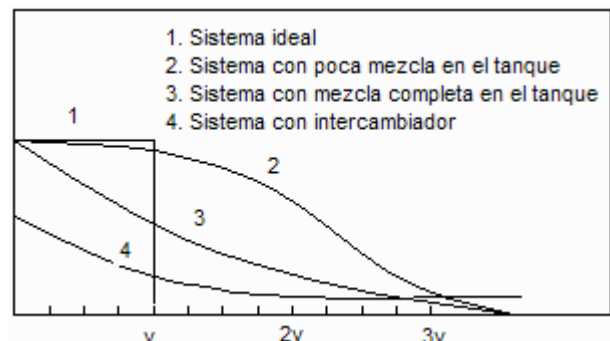


Figura 5. Perfiles típicos de vaciado del tanque [3]

El ensayo es realizado durante cinco días, durante las horas en las que no se presentaban lluvias o en las cuales se presentaba un mínimo de radiación directa, en promedio se presentaron 4 horas diarias, el sistema fue montado de acuerdo a las especificaciones de la norma y

previamente a cada ensayo, se preconditionaba siguiendo las especificaciones de la norma NTC 4368. Las mediciones de radiación tanto difusa como total y de velocidad del viento, no se realizaron en razón a la falta de la instrumentación para las mismas, la toma de temperaturas de entrada, salida y ambiente se realizaron con el multímetro digital Datalogger de Extech Instruments mediante el uso de tres termocuplas tipo K ubicadas en los distintos puntos indicados por la norma, y el caudal fue medido por volumen con el contador Véga Sappel clase C., las pruebas de vaciado fueron difíciles de realizar por las condiciones climáticas cambiantes. Las figuras 6 y 7 muestran detalles del ensayo

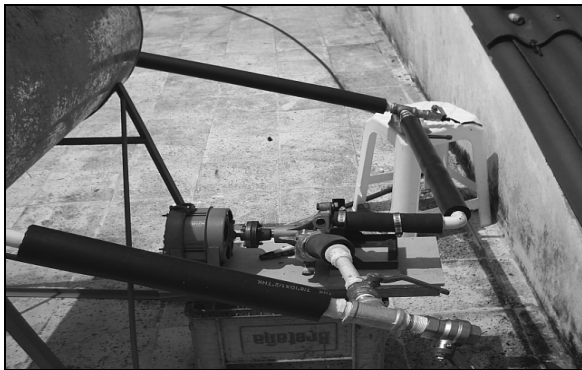


Figura 6. Fotografía ensayo de eficiencia térmica, montaje bomba de recirculación.



Figura 7. Fotografía ensayo de eficiencia térmica, montaje instrumentación (contador y multímetro)

2.4 Ensayo Para Determinar El Mezclado de Agua en el Tanque de Almacenamiento durante la Extracción de Agua Caliente

El objetivo del ensayo es determinar el grado de mezclado en el tanque, entre el agua caliente y el agua fría entrante al tanque, durante un proceso de extracción continua del agua.

El tanque se acondiciona previamente llenándolo de agua caliente a 60°C , luego se recircula el agua del tanque con una pequeña bomba hasta que se obtiene la misma condición del ensayo anterior, es decir, la diferencia de temperaturas de entrada y salida del tanque es menor a

1°C , luego se cierran las válvulas y se apaga la bomba de recirculación.

Después del pre-acondicionamiento se comienza un proceso de vaciado con un caudal constante de 600 l/h, y el agua entrante debe estar a una temperatura constante con fluctuaciones no mayores a $0,5^{\circ}\text{C}$ la temperatura debe medirse por lo menos cada 15 s, registrando un promedio cada 0,1 del volumen extraído.

Debe extraerse 3 veces el volumen del tanque, y si la diferencia de temperatura del agua a la entrada y a la salida es mayor a 1°C después de extraer estos 3 volúmenes, se continúa el proceso hasta alcanzar esta condición. Con los datos tomados se construye una gráfica como la de la figura 8.

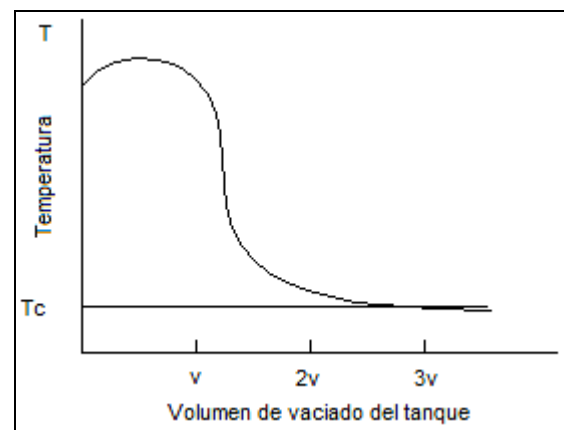


Figura 8. Perfil de mezcla en el vaciado del tanque

El ensayo es realizado durante dos días, el agua es vaciada dentro del tanque, el caudal de vaciado se trata de mantener constante durante la prueba pero al igual que la temperatura de entrada fluctúa de acuerdo al sistema de abastecimiento de la casa, la instrumentación usada es la misma del ensayo de eficiencia al igual que su ubicación.

2.5 Ensayo para determinar las pérdidas de calor del sistema durante la noche

El ensayo puede ser realizado en el interior o en la intemperie, se debe acondicionar el tanque como en el ensayo anterior y el agua caliente debe recircularse por lo menos 15 minutos con un caudal de 500 l/h tomando la temperatura promedio durante ese tiempo como la temperatura inicial del ensayo, luego se deja el tanque libre por un periodo de entre 12 y 24 h, durante el cual debe circular viento sobre el sistema libremente, igualmente se deben tomar mediciones de la temperatura ambiente y registrar promedios horarios.

Para los ensayos en intemperie se debe realizar durante la noche y durante el día debe estar cubierto el colector, al final del periodo de ensayo, se debe recircular el agua del tanque hasta alcanzar una diferencia menor a un grado por un periodo de 5 minutos entre la entrada y la salida, y

esta temperatura se considera como la temperatura final del ensayo.

El ensayo se realizó durante dos días y el periodo de prueba fue de 12 horas y como medio de calentamiento auxiliar se utilizó una estufa.

2.6 Ensayo de Choque Térmico

El objetivo del ensayo es determinar la capacidad del sistema y los colectores para soportar cambios debidos a la expansión o contracción térmica, sin que se afecte la totalidad del sistema.

Para su realización solo es necesaria una manguera, con la cual al mediodía cuando el sistema ha alcanzado altas temperaturas exteriores, se rocía agua a la temperatura de la red (*Tred*) sobre el colector y el tanque exteriormente, repitiendo el procedimiento durante tres días, observando cualquier cambio producido debido a la expansión o contracción durante el ensayo.

La figura 9 muestra un aspecto del ensayo de choque térmico.

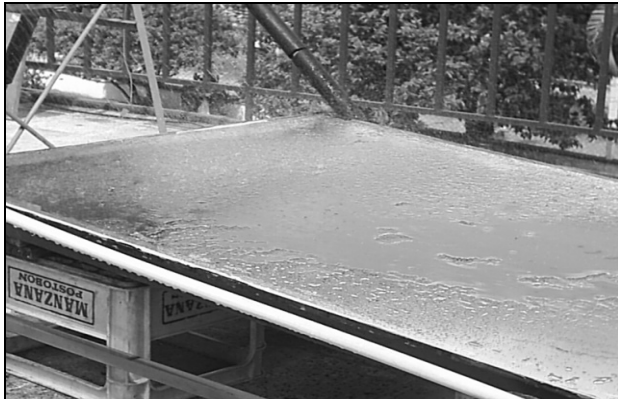


Figura 9. Fotografía ensayo de choque térmico

2.7 Inspección Final

El objetivo del ensayo es observar el estado final del sistema luego de ser sometido a los distintos ensayos, con el fin de establecer los cambios en el mismo debido a los esfuerzos a los cuales se sometió durante los procedimientos.

Debe revisarse minuciosamente, en especial los puntos en los cuales pudo presentarse fallas. Todos los datos deben registrarse y compararse con los obtenidos en la inspección inicial del sistema.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez descritos los ensayos, a continuación se presentan los resultados y el análisis que se hace de cada ensayo.

3.1 Inspección inicial

Los puntos en los que posiblemente se puedan presentar problemas son las uniones de la placa de absorción y el sistema de conductos las uniones de la tubería en especial la entrada y salida del colector, así como la unión del

vidrio con la caja por las posibles contracciones y dilataciones que se presentan durante la operación, en las figuras 10 y 11 se muestran algunos puntos débiles del sistema.

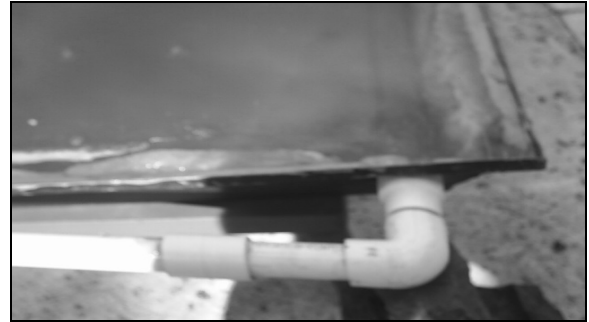


Figura 10. Detalle de la entrada al colector y unión del vidrio.

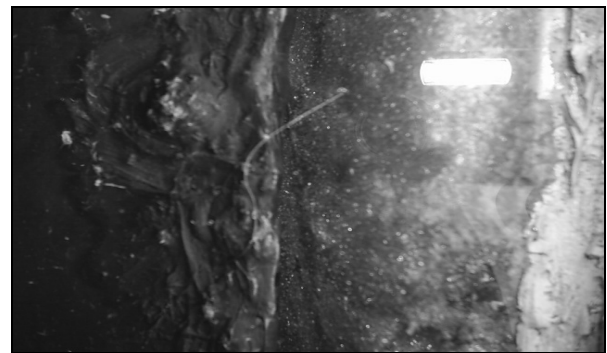


Figura 11. Detalle del sellamiento de la placa de absorción y sistemas de conductos.

3.2 Ensayo de Presión

El ensayo se realizó en primera instancia ubicando el manómetro en la entrada del colector, y se usó como fuente de presión el agua proveniente de la red de acueducto, entonces el sistema fue llenado con el fluido procurando hacer una purga del aire contenido del sistema, luego se continuo inyectando agua procurando conseguir la presión dada por la norma, pero durante el ensayo se presentaron varios fenómenos, primero el sistema de placas del colector se deformó debido a la presión, y a su vez las mismas elevaron el vidrio de su nivel y como consecuencia final de la deformación se presentaron fugas por la unión del tubo a las placas, durante el periodo de ensayo la presión registrada fue mínima. En la figura 12 se puede observar una deformación producida durante el ensayo de presión del sistema de placa y conductos.

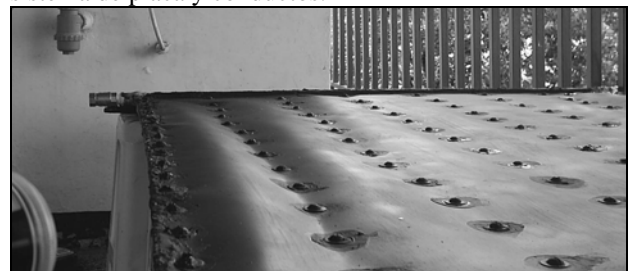


Figura 12. Deformación producida durante el ensayo de presión

3.3 Medición Integral del Rendimiento del Sistema

Durante la realización del ensayo las condiciones climáticas del lugar no fueron favorables para la realización del mismo, por lo cual la duración diaria del mismo fue variable, al no contarse con la instrumentación necesaria para la medición de la radiación global, se realizó una estimación matemática de la misma, la prueba fue realizada durante cinco días y los datos obtenidos se muestran en las figuras 13 a 17, donde T_e es temperatura de entrada, T_s temperatura de salida y T_a es temperatura ambiente.

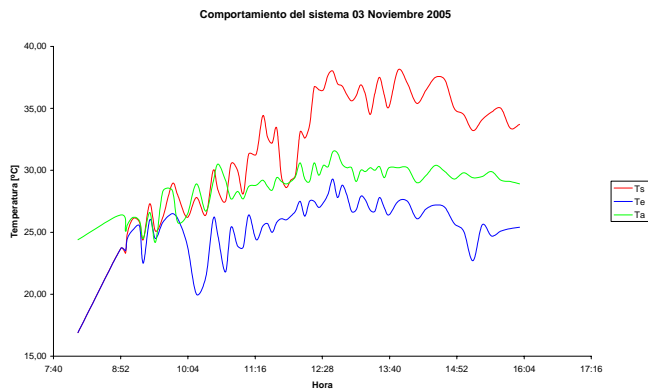


Figura 13. Comportamiento de las temperaturas en el sistema. Día 1 de ensayos

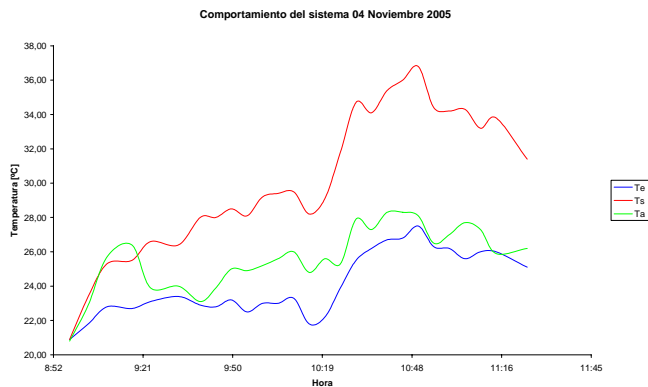


Figura 14. Comportamiento de las temperaturas en el sistema. Día 2 de ensayos

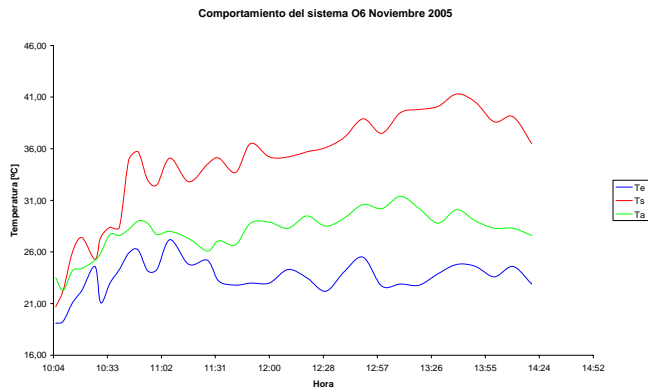


Figura 15. Comportamiento de las temperaturas en el sistema. Día 3 de ensayos

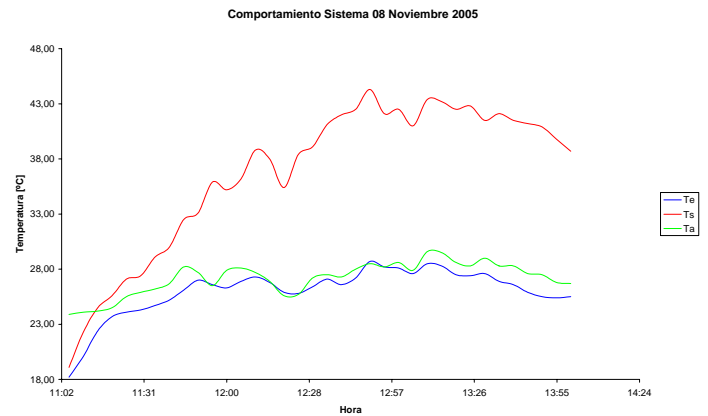


Figura 16. Comportamiento de las temperaturas en el sistema. Día 4 de ensayos

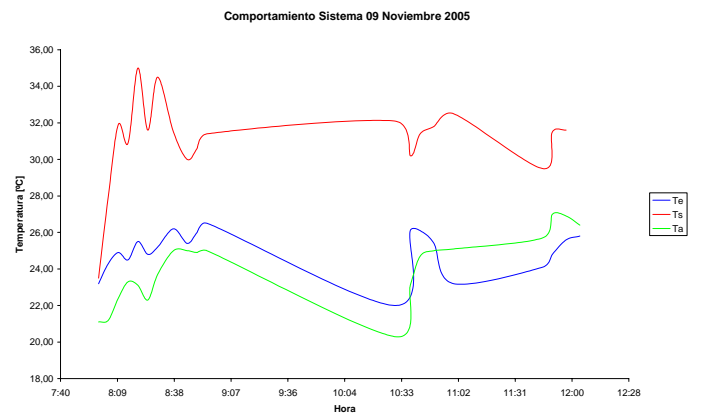


Figura 17. Comportamiento de las temperaturas en el sistema. Día 5 de ensayos

Cabe destacar que para los tres últimos días de ensayos se disminuyó la distancia entre la parte baja del tanque y la parte alta del colector en 16,5 cm, igualmente se inclinó el colector 2,5°.

Se puede ver durante los distintos días como la temperatura a la salida del tanque se incrementa hasta alcanzar un nivel en el que se estabiliza, además se ve como los cambios realizados en el sistema mejoran los niveles de temperatura alcanzados.

En el cálculo de la eficiencia para cada día, se tomó el total de la radiación recibida por el sistema durante el periodo del ensayo, y el calor útil se asumió como el calor que absorbe el agua desde el instante cero del ensayo hasta que alcanza una temperatura mas o menos constante, suponiendo que la temperatura ha sido alcanzada por la totalidad del agua contenida en el tanque. También es de aclarar que para el cálculo de la radiación horaria global (I) y de la radiación difusa (I_d), necesarias para el cálculo de la eficiencia, se usó el procedimiento citado por Orozco [4].

$$\text{Así, la eficiencia queda determinada por: } \eta = \frac{Q_u}{A I} \quad (1)$$

Donde: Q_u es el calor útil, A es el área de la placa de absorción e I es la radiación total.

La tabla 1, muestra los resultados obtenidos de la eficiencia para los diferentes días, así como el promedio.

Ensayo	Eficiencia
Día 1	0,228
Día 2	0,468
Día 3	0,343
Día 4	0,578
Día 5	0,312
Promedio	0,386 (38,6%)

Tabla 1. Evaluación de la eficiencia promedio del sistema

3.4 Ensayo para determinar el mezclado de agua en el tanque de almacenamiento durante la extracción de agua caliente

El ensayo se realizó durante dos días, tomando medición de temperatura cada 5 litros y los datos obtenidos se registran en las figuras 18 y 19.

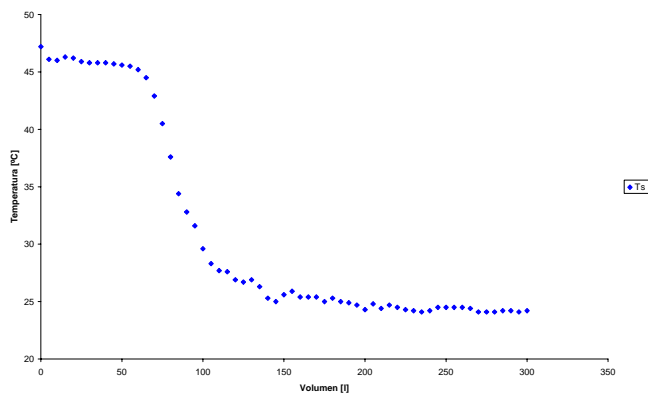


Figura 18. Comportamiento del sistema durante el mezclado. Día 1.

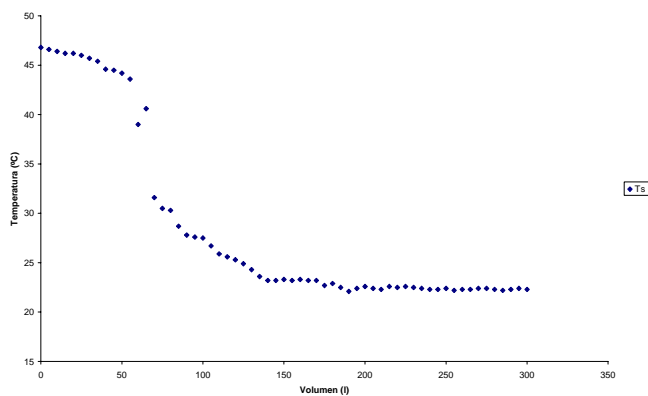


Figura 19. Comportamiento del sistema durante el mezclado. Día 2.

Durante ambos días se muestra el comportamiento durante el mezclado en el tanque, manteniéndose una temperatura alta hasta un 75 % de volumen del tanque vaciado, luego comenzando una disminución progresiva hasta cuando se completa aproximadamente el volumen del tanque, punto en el cual comienza a estabilizarse la temperatura.

3.5 Ensayo para determinar las pérdidas de calor del sistema durante la noche.

La Tabla 2 muestra el comportamiento del sistema.

Variable	Unidad	Día 1	Día 2
Volumen del tanque	l	100	100
Temp. Inicial prom. Del agua	°C	63,00	48,30
Temp. Final prom. Del agua	°C	58,50	45,50
Temp. Amb. Prom.	°C	21,04	20,01
Velocidad prom. Del viento	m/s	0	0
Duración del ensayo	s	43200	43200
Coefficiente de pérdidas de calor	W/°C	$1,098 \times 10^{-3}$	$1,008 \times 10^{-3}$

Tabla 2. Comportamiento del sistema durante el ensayo de pérdidas de calor

4. CONCLUSIONES

En el presente artículo, se presentaron los ensayos y pruebas para un colector solar para calentamiento de agua de consumo doméstico, operando por termosifón, de acuerdo con la norma ICONTEC NTC 4368.

Aunque los niveles de temperatura alcanzados a la salida del sistema durante los días del ensayo son menores a lo esperado, se puede observar como la disminución de la distancia entre colector y tanque aumenta la temperatura a la cual se estabiliza el tanque en un promedio de 4°C, con este pequeño incremento en la temperatura de salida se obtienen valores suficientes para que el agua pueda ser usada para el baño y las necesidades básicas de la casa.

La eficiencia promedio de todo el sistema calculada en 38,6%, se ve disminuida en comparación con la eficiencia del colector (50%), debido a la poca eficiencia del sistema de termosifón, por lo cual el colector utilizado puede ser mas importante en otro tipo de sistema como por ejemplo el sistema por gravedad, donde la circulación entre los dos elementos (tanque y colector) es mas sencilla.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] INTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Santa fé de Bogota D.C.: ICONTEC, 2002, 34p. (NTC 1486.)
- [2] INTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Colectores Solares de Placa Plana para Calentamiento de Agua de Consumo Doméstico. Santa fé de Bogota D.C.: ICONTEC, 2004, 23p. (NTC 2461.)
- [3] INTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar y Componentes. Santa fé de Bogota D.C.: ICONTEC, 2004, 64p. (NTC 4368.)
- [4] OROZCO HINCAPIE, Carlos A. "Elementos de Ingeniería Solar". Pereira, Colombia: Publicaciones U.T.P. 1993.