

Construcción y Prueba de un Prototipo de Tubo de Calor de bajo costo para la aplicación en un colector de energía solar

Luis Santiago Paris Londoño

Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, lparis@eafit.edu.co

Carolina Mira Hernández

Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, cmiraher@eafit.edu.co

RESUMEN

Los tubos de calor son dispositivos de alta conductancia térmica equivalente, muy efectivos para el acoplamiento térmico entre zonas con diferentes temperaturas, permitiendo un buen transporte de energía térmica. De ahí su importancia de incorporarlo específicamente como componente en un colector de energía solar, pues permitiría bajar las caídas de presión y simplificar las redes de circulación de agua facilitando su montaje y mantenimiento. Como objetivo se planteó diseñar, construir y evaluar un prototipo de tubo de calor que permita, en la zona de evaporación, captar la energía solar y en la zona de condensación entregar a la corriente de agua la energía térmica correspondiente. Este reporte documenta el proceso de diseño y construcción del tubo de calor, empleando recursos locales. El tubo de calor se construyó con tubería de cobre de 12.7 mm de diámetro exterior, con una malla de aluminio y con metanol como fluido de trabajo. También presenta los resultados del comportamiento del prototipo construido de 1.285 m de longitud, con 1 m de zona de evaporación y 0.085 m de condensación, con un área de captación de 0.1 m² aproximadamente.

Palabras claves: Tubos de calor, Colector solar, energía solar.

ABSTRACT

Heat Pipes are devices with high equivalent thermal conductance. They are very effective for coupling zones with different temperatures, allowing very good thermal energy transport. Hence it is important and feasible to incorporate them specifically as components in solar collector, because the pressure drop is reduced, the water circuits are simplified and the maintenance is easier. The main objective is to design, construct and test a heat pipe prototype that allows to collect solar energy in the evaporative zone, and to deliver it in the condenser. This paper registers the processes of design and manufacturing of the heat pipe using local resources. The heat pipe was constructed with 12.7mm external diameter copper pipe, with an aluminum wick and with methanol as working fluid. Also the heat pipe prototype behavior results are shown, which was constructed with a 1.285m total length, 1m of evaporator, 0.085m of condenser and an area of collection of 0.1 m² approximately.

Keywords: Heat Pipes, Solar collector, solar energy.

1. INTRODUCCION

Los tubos de calor son dispositivos que permiten transferir de manera muy eficiente calor entre un depósito a alta temperatura y otro a baja temperatura, que pueden estar separados. Estas características en la operación de los tubos de calor hacen posible su uso en diversas aplicaciones en las que sea crucial la transferencia de calor como dispositivos electrónicos, intercambiadores y secadores. (Abreu y Colle, 2003).

Una interesante aplicación de los tubos de calor es su uso en calentadores solares. En estos sistemas el tubo de calor cumple el papel de elemento de acople entre el área de captación de calor y la zona para la transferencia de calor al agua. En un calentador solar de agua tradicional el agua se calienta al circular por un sistema de tuberías en la parte inferior de la placa colectora. Este mecanismo presenta inconvenientes porque se puede presentar obstrucción en la tubería. Con la implementación de los tubos de calor se separa el proceso de captación del calentamiento de agua. En este caso el agua puede circular por la superficie exterior de los tubos dentro de una coraza. En este tipo de aplicaciones los tubos de calor aportan beneficios como la reducción de requerimientos de mantenimiento y mayor flexibilidad en el diseño. (Mathioulakis y Belessiotis, 2002).

En el entorno mundial cada día es mayor la preocupación por el uso racional de la energía y la explotación de fuentes renovables y disponibles (Riffat y Zhao, 2004). Las aplicaciones con energía solar suponen algo natural por su alta disponibilidad. Sin embargo en su explotación la eficiencia está considerablemente limitada, más aún en los procesos de transformación en energía eléctrica que en su uso como energía térmica. Es decir, que el uso de la energía solar para calentamiento de agua es una perspectiva de investigación actual y factible.

En este artículo se presentan aspectos relevantes en el proceso de diseño y construcción de un prototipo de tubo de calor para aplicación en calentamiento solar.

2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La función del tubo de calor dentro del sistema de calentamiento solar de agua es transportar la energía térmica captada en una superficie absorción y entregarla al agua que se pretende calentar.

Las placas de colección en lugares cercanos a la línea del Ecuador (baja latitud) deben ubicarse en posición casi horizontal.

El tubo de calor propuesto es recto, por lo cual es necesario que este opere en posición casi horizontal. Esto implica la incorporación de una estructura capilar que distribuya el fluido a lo largo del evaporador.

El evaporador del tubo está acoplado con la placa de colección y el condensador está inmerso en el intercambiador de calor. Por lo anterior el evaporador del tubo es de mayor longitud que el condensador. Además, la transferencia de calor en el condensador está favorecida por la presencia del agua líquida con buenos coeficientes de transferencia de calor, lo que permite que el área del mismo puede ser menor. Se define que la longitud del evaporador sea 1m y que la longitud del condensador sea 0.1m.

Se utiliza tubería flexible de cobre 1/2" (12.7 mm de diámetro exterior), para sacar provecho de la buena conductividad térmica del cobre y su resistencia a la corrosión. Para la estructura capilar se selecciona una malla de aluminio trenzada en forma tubular obtenida del blindaje de cables coaxiales, para que se acomode a la geometría del contenedor y tenga propiedades térmicas favorables.

Como fluido de trabajo se utiliza metanol para garantizar compatibilidad electroquímica con los otros elementos del tubo y una rápida respuesta del dispositivo. Las características del tubo de calor construido se listan en la tabla 1.

Tabla 1. Datos básicos del Tubo de calor cargado con Metanol

Diámetro exterior del contenedor	12.7 mm
Diámetro interior del contenedor	11 mm
Longitud total	1285 mm
Longitud evaporador	1000 mm
Longitud zona adiabática	200 mm
Longitud condensador	85 mm
Material del contenedor	Cobre
Material estructura capilar	Aluminio
Tipo de estructura capilar	Tejido tubular
Fluido de trabajo	Metanol
Masa de fluido	28.5 g
Volumen de fluido a condiciones carga	36 ml
Razón de llenado (V_f/V_T)	0.29

El evaporador del tubo se acopla a una placa para la captación de calor. Esta placa es de aluminio, se pinta de negro mate y tiene un área de captación de 0.1m^2 .

Como aislamiento térmico se utiliza espuma de poliuretano en la parte inferior de la placa y como cubierta transparente en este prototipo se emplea una película de material plástico PET para evitar pérdidas por convección en la parte superior. (Ver figura 1)

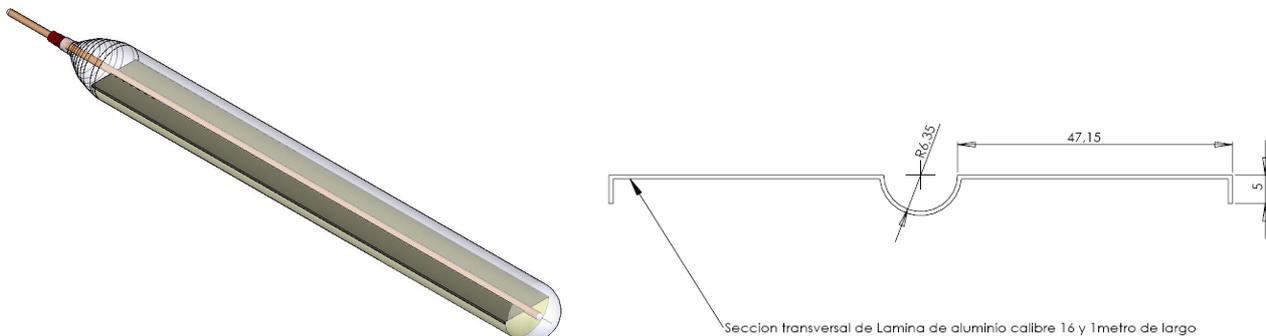


Figura 1 Esquema del dispositivo de captación de energía solar con tubo de calor.

3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y CARGA

La manufactura del tubo de calor, a pesar de su aparente simpleza, requiere cuidados especiales, ya que implica la utilización de vacío para la remoción del aire y de gases no condensables, y exige alta limpieza de los componentes. El proceso de manufactura comprende la limpieza, ensamble, cierre, soldadura, carga y sellado.

La limpieza es un procedimiento crucial en la fabricación de tubos de calor. Esta permite la eliminación de partículas extrañas óxidos y grasas, los cuales pueden afectar de manera negativa la capacidad operación y de transferencia de calor del dispositivo. Para el tubo de calor se hacen lavados con ácido clorhídrico al 12% e

hidróxido de sodio al 2%, con tiempos de permanencia de 15min y enjuagues intermedios con abundante agua limpia.

Una vez se lavan los componentes se procede al secado para remover restos de humedad. Luego se realiza el ensamble de componentes, el cual consiste en la introducción de la malla en el tubo. Para este proceso se hace uso de una varilla como guía la cual se extrae posteriormente.(ver figura 2)



Figura 2 Ensamble malla y tubo

Después del ensamble el tubo se cierra dejando en un extremo un orificio para la instalación del capilar de carga y en el otro extremo un orificio para la instalación de un termopozo. El cierre se hace mediante la formación en el torno con un dado, este proceso genera una cúpula semiesférica. (Figura 3)

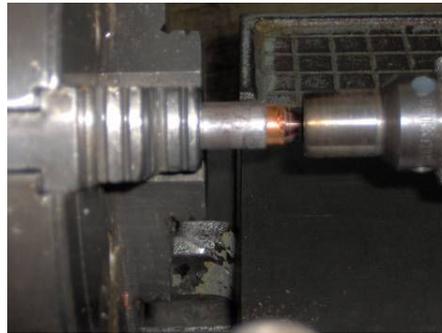


Figura 3 Cierre de los extremo del tubo

Luego del cierre se introduce el capilar y el termopozo en cada extremo. Estos elementos se fijan con soldadura con material de aporte de alta capilaridad.

En el capilar se instala una válvula de carga, esta se acopla a un sistema de carga de tubos de calor. En este sistema, primero se hace vacío y luego se ingresa el fluido de trabajo. Se hace verificación gravimétrica del contenido y una prueba para descartar la presencia de gases no condensables y si es del caso se hace una purga de estos gases. Finalmente el capilar de carga es estrangulado y cortado con un punto de soldadura con arco eléctrico. Luego se comprueba de nuevo el funcionamiento del tubo.

4. DESCRIPCION DEL ENSAYO DE COMPORTAMIENTO

El tubo de calor construido fue sometido a un ensayo de comportamiento con la finalidad de verificar la capacidad de captar energía solar y transportarla en forma térmica hasta un recipiente plástico lleno de agua colocado en un extremo.

Se registran las temperaturas en el tubo de calor mediante tres termocuplas tipo K colocadas en la sección del evaporador que esta expuesto a la radiación solar. La longitud de evaporador es de 1000 mm y el área expuesta a la radiación solar es de 0.1m²

También se registra la temperatura superficial del condensador y del agua contenida en el recipiente plástico (PVC). El condensador del tubo de calor tiene un longitud expuesta al agua de 85 mm. La cantidad de agua empleada fue de 156 g y la masa del contenedor de PVC fue de 547 g

Entre el evaporador y el condensador propiamente dicho hay una zona de transición de 200 mm de longitud que se considerara como la zona adiabática. En esta sección se localizó una termocupla. Así mismo se ubicó una termocupla para registrar la temperatura ambiente a manera de referencia.

El tubo de calor se expuso a la radiación solar orientado hacia el sur con una pequeña inclinación de 6° aproximadamente que corresponde a la latitud del lugar.

El ensayo se realizó en forma transiente observando la evolución de las temperaturas en los distintos puntos para lo cual se empleó un sistema de adquisición de datos.

En esta fase inicial la toma de datos se realizó por 2 horas aproximadamente entre la 10:00 am y las 12:00 en un día claro con buen brillo solar.

5. DATOS Y RESULTADOS. EVALUACIÓN.

Los datos y resultados obtenidos se sintetizan en las graficas que se presentan a continuación. La figura 4 muestra la evolución de las temperaturas en ciertos puntos del tubo de calor. La toma de datos se realizo entre las 10:42 am y las 11:50 am periodo en el cual permitió que la cantidad de agua (156g) se calentara desde 26 C hasta 64 C reasaltando que la rata de variación mas elevada al inicio que al final donde se aprecia una tendencia a la estabilidad. La temperatura en el tubo de calor se registra desde a partir del un instante en el que previamente el conjunto se había colocado en a la exposición solar, mostrando que en periodo de medición el tubo incremente la temperatura desde 78 C hasta aproximadamente 90 C en el lapso de tiempo en custion.

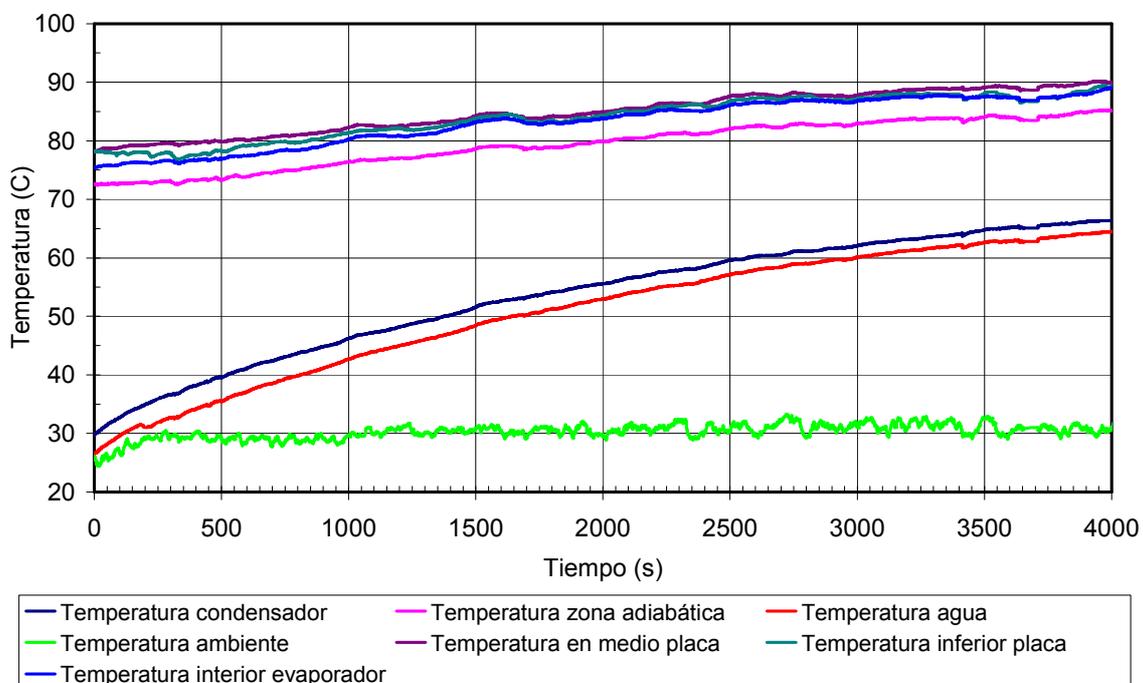


Figura 4 Datos de la evolución de la temperatura en diferentes posiciones en tubo de calor

La figura 5 muestra la distribución de temperatura a lo largo del tubo de calor, en distintos momentos. La placa de captación, correspondiente a la zona de vaporización, mantiene una temperatura elevada entre unos 78 al inicio de la medición y 88 C al final. Se presenta un salto térmico entre la zona de vaporización y el condensador que comienza con unos 46 C al inicio cuando el agua aun estaba sin calentar hasta un valor de 24 C al finalizar el periodo de medición.

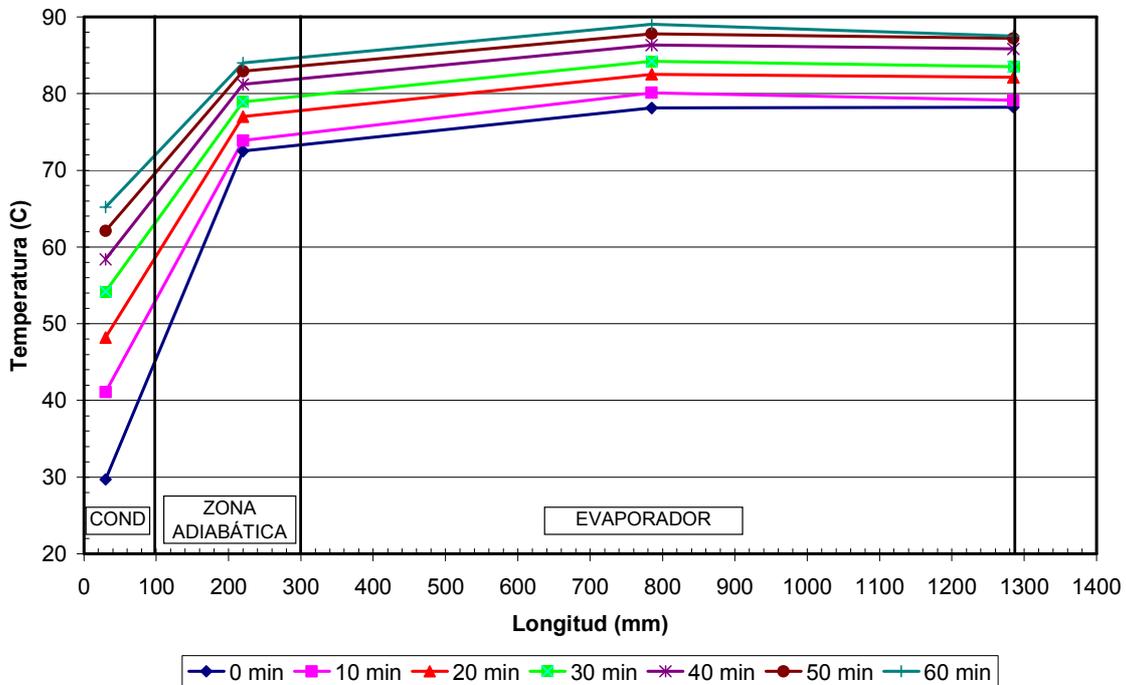


Figura 5 Distribución de la temperatura en e tubo de calor en diferentes instantes de tiempo.

La figura 6 ilustra aproximadamente la variación de intensidad de la radiación solar sobre una superficie horizontal durante el periodo de medición entre la 10:42 de la mañana, y la 11:42 a.m. del día 10 de mayo de 2008, como se aprecia la mañana estaba clara y con buena irradiación.

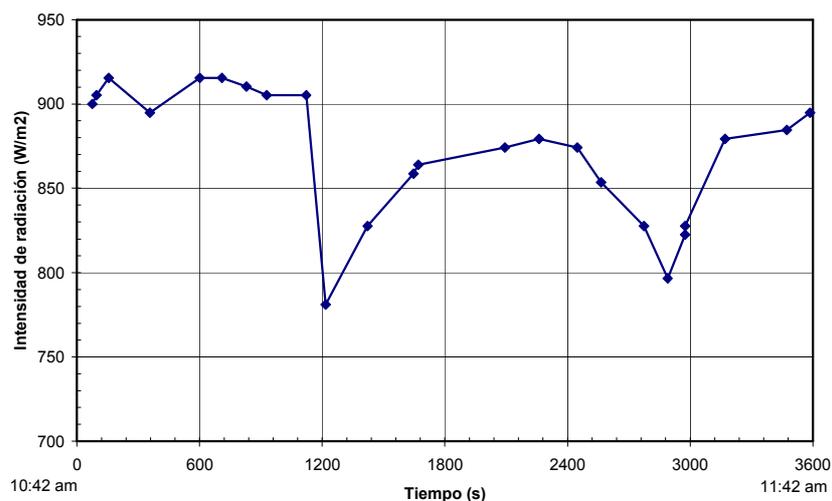


Figura 6 Variación de la intensidad de la radiación solar sobre una superficie horizontal durante el periodo de medición (10:42 a.m. a 11:42 a.m.)

La figura 7 ilustra la variación de la eficiencia tomada en periodos de 10 minutos expresada como la relación entre cantidad de energía absorbida por el agua y la cantidad de radiación total que incide sobre el área de captación en los 10 minutos, se manifiesta la tendencia a la disminución a medida que tanto el agua como la placa se calienta y por lo tanto las pérdidas se elevan.

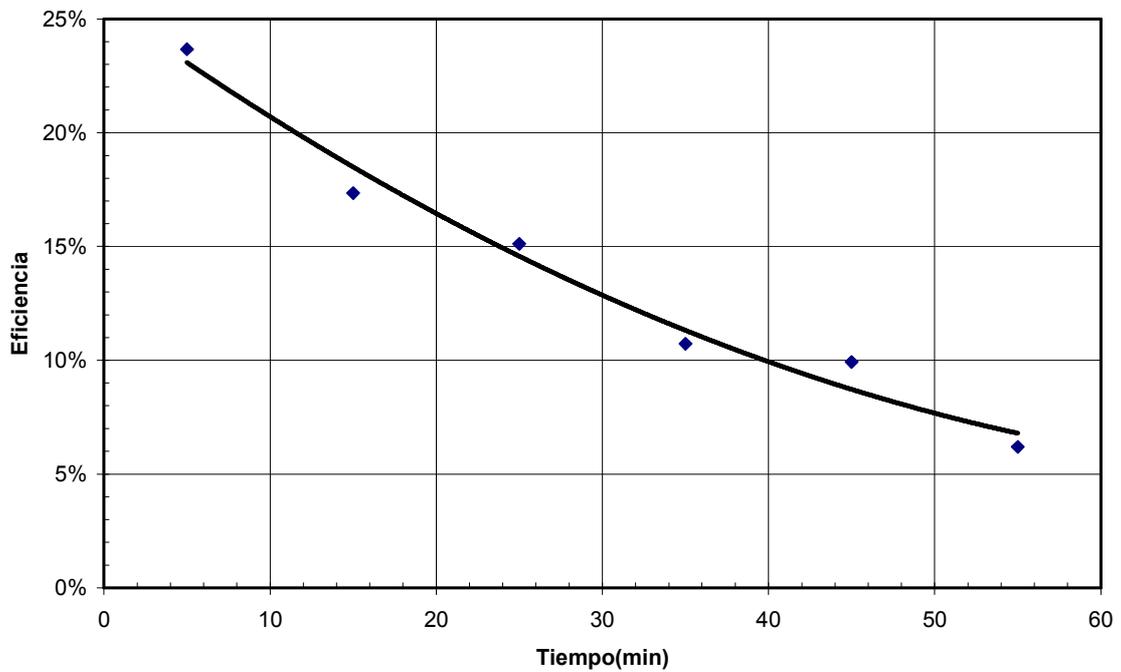


Figura 7 Variación en el tiempo de la eficiencia de captación de la energía solar del arreglo con el tubo de calor

En forma global, durante el periodo de evaluación de 1h se transfirieron al recipiente con agua un total de 43.66 KJ de energía térmica con una irradiación promedio de 878 W/m² lo que representa una eficiencia global de 12.9% aproximadamente.

La figura 8 muestra el montaje del dispositivo de prueba para la captación de la energía solar con el tubo de calor.

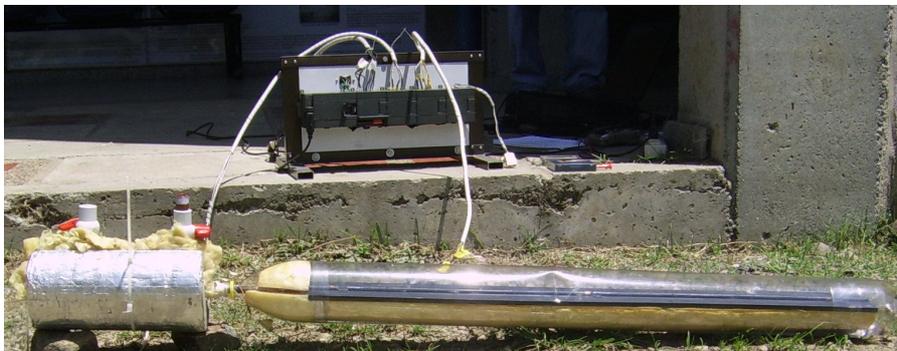


Figura 8 Montaje del tubo de calor para captar radiación sola.

6. CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo planteado de diseñar, construir y evaluar un prototipo de tubo de calor cargado con metanol de bajo costo, que capta energía solar en la zona de evaporación y la entrega en la zona de condensación al agua allí acumulada. Los resultados parciales permiten confirmar viabilidad de manufactura de estos dispositivos y la utilidad el proceso de captación y uso térmico de la energía solar.

En esta fase solo se centró la atención en la operación del tubo de calor, sin embargo en actividades futuras se consideraran los aspectos relacionadas con la placa, la cubierta, en manejo del agua, etc. Igualmente se plantea hacer evaluaciones en periodos de tiempo más largo y con condiciones ambientales diversas y con una evaluación más minuciosa de los factores de pérdidas energéticas para su control y así aumentar la eficiencia energética de captación.

Con relación al tubo de calor, hay que resaltar que aunque es un dispositivo simple conlleva fenómenos complejos y requiere ser estudiado con más detalle para deducir cuales serían los mejores componentes en aplicaciones solares, incluyendo las estructuras capilares, los fluidos de trabajo, los sistemas de llenado, el contenedor, etc.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimiento sincero a la Universidad EAFIT quien ha apoyado la realización de este tipo de iniciativas de exploración e investigación.

REFERENCIAS

ABREU, Samuel; COLLE Sergio. "An experimental study of two-phase closed thermosyphons for compact solar domestic hot-water systems". En: ISES Solar World Congress 2003. Florianópolis, Brasil, 2003.

MATHIOULAKIS, Emmanouil y BELESSIOTIS, Vassilis. "A new Heat Pipe Type Solar Domestic Hot Water System". En: Elsevier, Londres 2002. ISSN 0038-092X/02/S

RIFFAT, S.B. y ZHAO, X. "A novel hybrid heat pipe solar collector/CHP system—Part 1: System design and construction" En: Renewable Energy, Marzo 2004.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito