

CALEFÓN SOLAR ECONÓMICO CON ABSORBEDOR EN CAÑOS DE TERMOFUSIÓN. ENSAYOS PRELIMINARES

C. Martínez, M. Condorí, G. Durán
Instituto de Investigación en Energías no Convencionales (INENCO)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Nacional de Salta (UNSa)
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.
Te: 54-387-4255424, Fax: 54-387-4255489, mail: martinec@unsa.edu.ar

Recibido: 15/08/12; Aceptado: 05/10/12

RESUMEN: Se presenta la construcción y primeros ensayos con un calentador solar de agua por convección forzada de bajo costo. El sistema, del tipo placa plana, tiene la particularidad de utilizar chapa ondulada y caños de termofusión como absorbedor. Se presentan los resultados del seguimiento de las variaciones de temperaturas del agua dentro del tanque de almacenamiento durante cinco días del mes de agosto, detalles constructivos y los resultados preliminares de su funcionamiento. Los resultados muestran un buen comportamiento con temperatura por encima de los 41 °C y una eficiencia térmica del sistema del 61 % para días soleados en un lapso de tiempo de 4 horas. Respecto a los antecedentes equivalentes que utilizan caño de riego negro, se tiene una importante mejora en la agilidad de construcción con disminución en la mano de obra utilizada y mejora en la vida útil del colector.

Palabras clave: energía solar, calefón solar, calentamiento de agua, termofusión

INTRODUCCIÓN

El proceso de calentamiento convencional de agua para uso doméstico entre 40 a 60 °C en general se realiza mediante calentadores eléctricos, termo tanques o calefones a gas. Dado que las temperaturas finales requeridas no son muy elevadas resulta atractiva la opción de utilizar calefones solares (Burrano *et al*, 2006). En consecuencia, desde hace varios años las tecnologías del calentamiento solar de agua junto con la de producción eléctrica mediante paneles fotovoltaicos son las de mayor penetración en el mercado local. Desde el punto de vista de ahorro energético es una opción muy favorable dado que puede llegar a cubrir hasta el 75 % de la energía convencional que actualmente se utiliza (Albizzati y Arese, 2011). Además, el mayor uso de este tipo de sistema en la matriz energética mundial ayudará a la mitigación de las consecuencias medioambientales por emisión de gases efecto invernadero (GEI) debido al uso actual de los combustibles fósiles.

Algunos estudios recientes de mercado indican que la mayor penetración de los sistemas de calentamiento solar de agua en el mercado argentino requiere, por parte del gobierno, la eliminación de la desventaja competitiva, generada por los altos subsidios a la electricidad y al gas natural, como así también otros incentivos adicionales como créditos blandos. Para las empresas, es esencial introducir mejoras en la calidad del producto, resultando para los fabricantes locales, la competencia china a un muy bajo costo, un desafío adicional (Nienborg y Nadal, 2010). Dado que el costo inicial de estos equipos todavía es elevado para muchos países de Latinoamérica, es de fundamental importancia desarrollar prototipos que sean de costos accesibles a estas poblaciones, en particular el sector la rural donde tiene el nicho más importante de penetración, y que se puedan construir con materiales y mano de obra de local. El consumo del agua caliente se ha convertido en el segundo uso energético doméstico en importancia a nivel mundial después de la calefacción y refrigeración. Se calcula que en el presente alrededor de 180GWth están instalados en todo el mundo (REN21, 2010).

Existen muchos ejemplos de calefones de bajo costo, la mayoría de ellos de baja eficiencia y corta vida útil debido a los materiales utilizados. Uno de los más difundidos es un colector plano donde el absorbedor está constituido por mangueras de riego de color negro, unidas con acoples y espigas, formando una parrilla. (Ovejero y Condorí, 2007; Garzón *et al*, 2010)

En el presente trabajo se propone fundamentalmente el uso de cañería de termofusión con mejoras significativas en cuanto a la resistencia y la vida útil. Este material presenta una elevada resistencia a agentes químicos, siendo apto para conducir agua potable, ya que son totalmente atóxicos, y cumple con las normas vigentes nacionales. Presentan alta resistencia al impacto comparándolos con otros materiales rígidos, los tubos son livianos y la técnica de fusión es sencilla de aplicar. También presentan muy baja pérdida de presión por fricción y no permiten la incrustación de sarro. El fabricante asegura una excelente resistencia a bajas temperaturas. La vida útil de la cañería de termofusión es de 50 años con agua a 80°C, soportando presiones de hasta 25 kg/cm², con coeficiente de conducción térmica 0,28 W/mK y coeficiente de dilatación térmica de 23 a 100°C 0,00015 °C⁻¹.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción y detalles constructivos

Los principales componentes del calentador solar de agua se muestran en la Fig. 1 y se detallan a continuación:

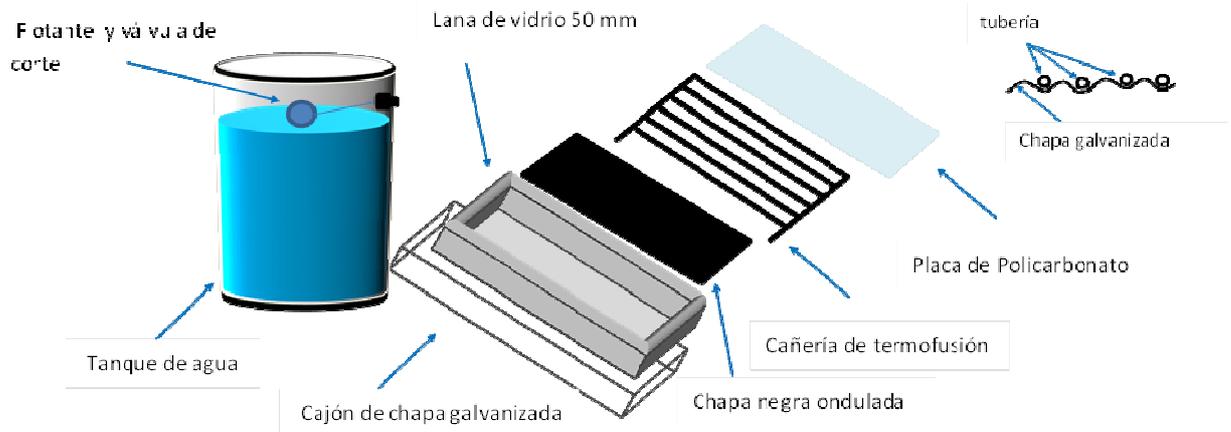


Figura 1: Detalle de los componentes del calefón calentador de agua solar

El absorbedor está conformado por una placa y una parrilla construida con caños de termofusión. Como placa absorbadora se utilizó chapa galvanizada ondulada, calibre 30, pintada de negro mate. La parrilla se construyó con tubería de termo fusión pintada de negro mate, ya que el color original es verde. La parrilla fue compuesta de 8 tubos de 20 mm de diámetro exterior, 13 mm de diámetro interior y 2 m de largo. Cada tubo fue separado de forma tal que quedó ubicado en la parte ondulada de la placa absorbadora, fijándose a la misma con grampas metálicas.

Como cubierta superior se utilizó una placa de policarbonato alveolar transparente de 4mm de espesor, que se ubicó como tapa del colector, a una distancia aproximada de 25 mm de la parrilla. Se utilizó policarbonato ya que cumple con la condición de tener una buena transmitancia para el espectro solar y corta la mayor parte del infrarrojo. No se han encontrado diferencias apreciables entre la placa de 4 mm y la de 6 mm, respecto a la transmitancia, por lo que se prefirió la primera por razones económicas. También posee un bajo índice de absorción, es un material relativamente muy liviano y resistente a las inclemencias climáticas.

Tanque de almacenamiento: el tanque de agua utilizado es de plástico, de 140 litros de capacidad, con un orificio en su parte superior donde se colocó un flotante con válvula de corte para permitir el ingreso de agua de la red. Considerando el flotante, la capacidad del tanque se reduce a 120 litros. Al tanque se le practicó otro orificio a 1 cm por arriba de la superficie libre del agua, por el que ingresa el agua proveniente del colector. Cabe aclarar que este tipo de conexión se realiza para impedir la circulación inversa, por lo que el funcionamiento del sistema no es por termosifón, sino que se requiere la ayuda de una bomba. Se le realizó un tercer orificio al que se le conectó un caño por el que se suministra agua caliente a la red para el consumo. En la parte inferior se conecta otro caño que conduce agua al colector (Fig. 2). Todas las conexiones antes mencionadas se realizaron con bridas y acoples para caños de 20 mm.

La placa y la parrilla están contenidas dentro de un cajón construido en chapa galvanizada calibre 27. Se utilizó una sola chapa de 2,44 m por 1,22 m que fue plegada en sus laterales de forma tal que el ancho del colector fue de 0,94 m. Cabe destacar que el cierre entre el cajón y la cubierta superior fue completamente sellado con pegamento siliconado y colocando ángulos de chapa galvanizada fijadas con tornillos como terminación (Fig. 3). El interior del cajón fue cubierto primero con la aislación térmica del tipo lana de vidrio de 50 mm de espesor con una cara aluminizada, que queda mirando hacia arriba. También el tanque se aisló térmicamente mediante dos capas de espuma de poliuretano con una de sus caras aluminizada, de 10 mm de espesor (Fig 2).



Figura 2. Fotografía del tanque con 120 litros



Figura 3. Fotografía del colector con la cubierta de policarbonato

Descripción del Funcionamiento

Como se mencionó anteriormente, en este trabajo se considera el funcionamiento de este calentador solar de agua como un sistema de circulación forzada. Para lo cual se requiere de una bomba para hacer circular el agua, para tal fin, se utilizó una bomba de agua para lavarropas, que tiene un consumo de 30W y soporta altas temperaturas, hasta 90°C de acuerdo al fabricante. La conexión de la bomba al colector se realizó como se indica en la figura 4. Se registró durante el funcionamiento de la misma un caudal de 12 litros/min.

La bomba fue controlada mediante un temporizador programado para que el funcionamiento se inicie desde las 10 a.m. hasta las 6 p.m., con intervalos de 15 min de funcionamiento y 15 de reposo. Si bien la circulación de la bomba fue de forma convencional, se toma de la base del tanque y retorna a la parte alta del mismo, cabe aclarar que dado el caudal que suministra la bomba, toda el agua del tanque pasa por el colector en el orden de los 10 min. Este es el mínimo paso que permitió el temporizador, por lo que en otros trabajos se probará con otro tipo de caudales y funcionamiento, incluido el termosifón. Lo que aquí se presenta son los primeros ensayos con el sistema.

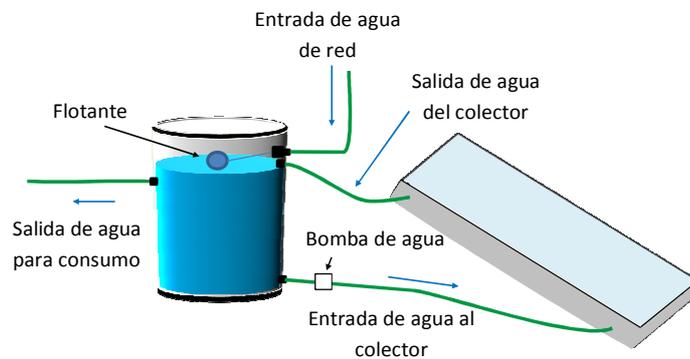


Figura 4. Ubicación de la bomba de agua y las respectivas conexiones

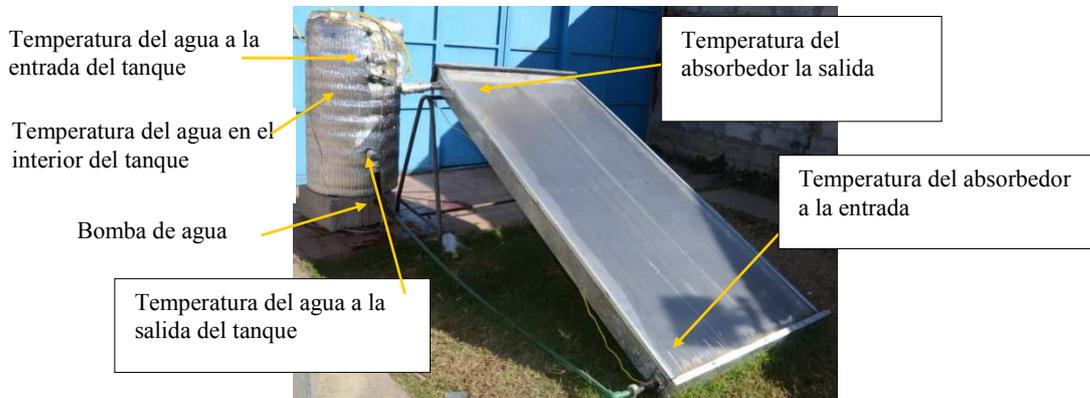


Figura 5. Fotografía donde se muestra el sistema completo colector y el tanque de almacenamiento, también se indican la posición de las termocuplas.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Se realizaron ensayos del colector durante un lapso de seis días, del 3 a 8 de agosto de 2012, con objeto de determinar la eficiencia térmica del colector. A tal fin se midieron las variables ambientales temperatura ambiente, humedad relativa ambiente, velocidad de viento y radiación solar global sobre plano horizontal. Sobre el colector, en sus extremos de entrada y salida, se midieron valores de temperatura de flujo de agua, y temperatura de absorbedor, y se tomaron valores de temperatura de agua dentro del tanque de almacenamiento. A partir de las medidas de radiación se infirió la radiación sobre el colector multiplicando por el coseno del ángulo de incidencia.

Las medidas de las variables ambientales se realizaron mediante una estación meteorológica Davis Vantage Pro2, con rango de medida de temperatura de $-20,0$ a $80,0$ °C, velocidad de viento de $0,0$ a $50,0$ m/s, humedad relativa ambiente de 0 a 98% , y radiación solar con error de 1 W/m². La adquisición de medidas fue cada diez minutos, almacenándose los valores instantáneos obtenidos.

En el colector, las medidas de temperatura de flujo y placa absorbedora, y las medidas en el tanque de agua, se realizaron mediante termocuplas de tipo K, calibradas, con error máximo de $0,5$ °C. En la adquisición de estos datos se utilizó un datalogger Campbell Scientific CR1000, programado para adquisición cada 180 segundos.

Medidas de variables ambientales

A continuación se detallaran los resultados de las medidas de variables ambientales: temperatura ambiente, humedad relativa ambiente, radiación solar global sobre plano horizontal, y velocidad de viento, correspondientes al periodo ensayado.

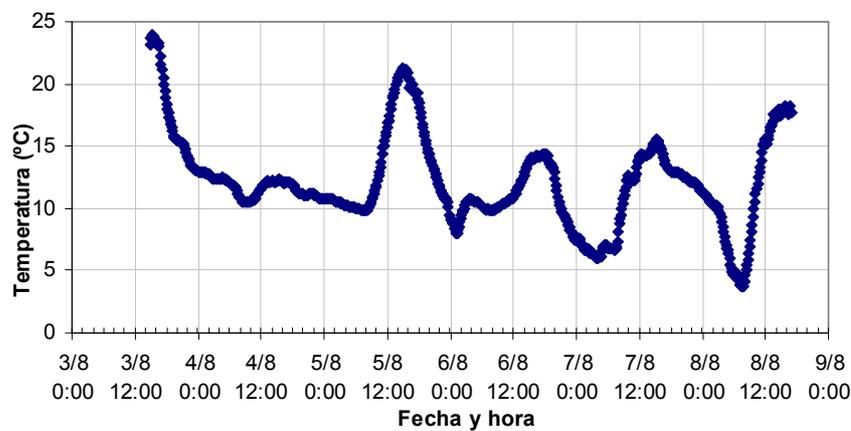


Figura 6: Temperatura ambiente en periodo de ensayo.

La figura 6 muestra los resultados de temperatura ambiente obtenidos. Se observan valores máximos cercanos a 25 °C, durante la hora 14:00 del primer día de ensayo, 3 de agosto, y mínimos aproximados a 4 °C, presentes durante la mañana del 8 de agosto, último día del ensayo. Estos valores son adecuados, considerando la zona de prueba, y la época del año. También la dispersión de 10 °C respecto a los máximos permite inferir sobre el comportamiento con diferentes pérdidas térmicas.

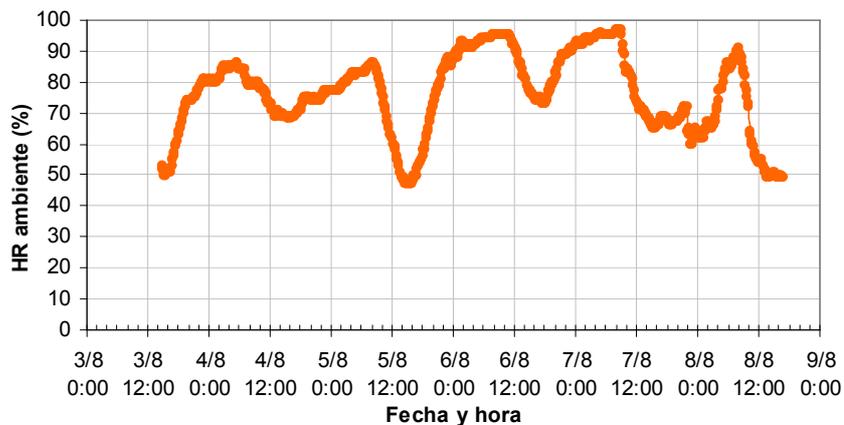


Figura 7: Humedad relativa ambiente.

Los resultados de humedad relativa ambiente, presentados en la figura 7, muestran valores comprendidos en el rango de 40 a 95 %, con valores máximos presentes durante las primeras horas de la mañana, decreciendo durante el mediodía, observándose mínimos relativos de humedad durante la hora posterior al mediodía solar. Si bien la humedad relativa no afecta directamente al funcionamiento del colector, los resultados muestran las condiciones ambientales en que se realizaron

los ensayos. De acuerdo a los datos proporcionados por las figuras 6 y 7, el día 5 puede considerarse como el mejor y el 6 como el peor en cuanto al contenido de humedad y temperatura ambiente.

La figura 8 describe los resultados de medidas de radiación solar global, sobre plano horizontal, para el período ensayado. De ella se observa que en el período de ensayo se presentaron tres días claros: el tres, cinco y ocho de agosto, y cielo nublado durante los días restantes. Durante los días de sol, la radiación máxima observada en mediodía solar está comprendida en el intervalo de 600 a 800 W/m², en tanto que los valores máximos en mediodía solar presentes en los días nublados están en el orden de 100 a 200 W/m².

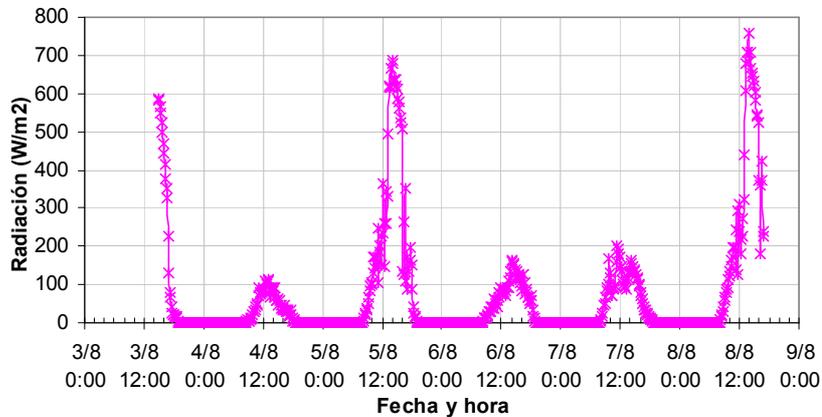


Figura 8: Radiación global sobre plano horizontal.

En la figura 9 se muestran las medidas de velocidad de viento, que arrojaron resultados erráticos. En ella se presentan ráfagas intermitentes, durante horas de la tarde, registrándose valores máximos de 3 a 4 m/s, y mínimos de 1 m/s. En particular el día 5 a la tarde es uno de los días de mayor viento, mientras que el 6 uno de los de menor. Esto afecta también a las pérdidas térmicas del colector.

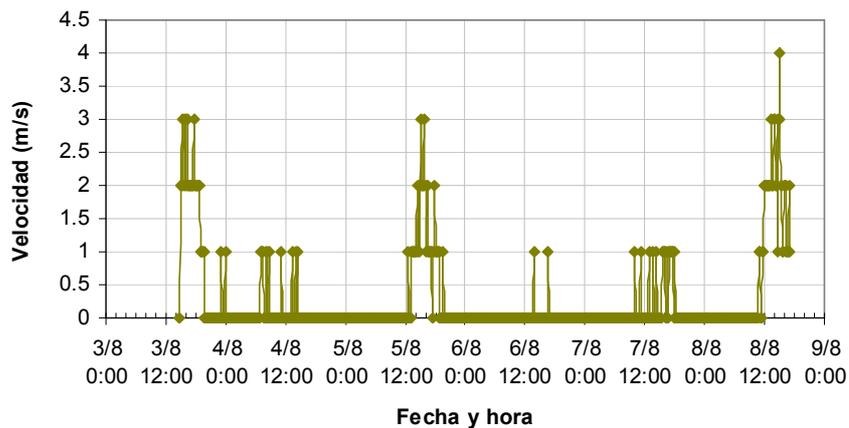


Figura 9: Velocidad de viento.

Ensayo del colector solar

A continuación se describen los resultados de los ensayos realizados sobre el colector solar. El mismo fue colocado mirando al norte con una pendiente de 20 grados respecto del suelo.

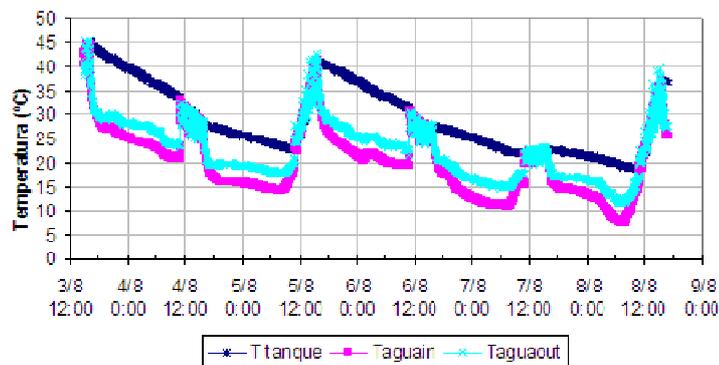


Figura 10: Temperatura de agua en el tanque, y a la entrada y salida del colector.

En la Fig. 10 se observan los valores de temperatura de agua obtenidos en la entrada y a la salida del colector, además de la temperatura de agua en el tanque de reserva. Los resultados obtenidos muestran máximos de temperatura de 40 a 45 °C, durante horas de la tarde en los días soleados, 3, 5 y 8 de agosto; y máximos cercanos a 30 °C en las mismas horas, pero en días nublados. Durante horas de la noche se puede observar separación en las curvas de temperatura a la entrada y salida del colector, registrándose diferencias en valores de 5 °C, estas diferencias se originan por la pérdida de calor donde la principal fuente es por emisión radiativa a cielo abierto del colector.

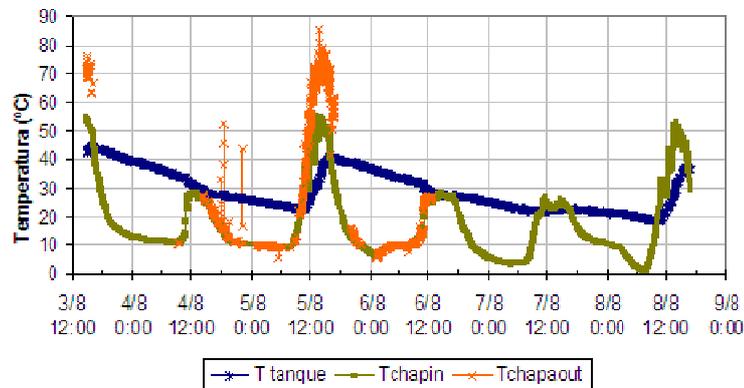


Figura 11: Temperatura de absorbedor a la entrada y salida del colector. Como referencia, se muestra la temperatura de agua en el tanque de almacenamiento.

Los resultados de temperatura de absorbedor en la entrada y salida del colector, referidos en la figura 11, muestran valores comprendidos en el intervalo de 55 a 75 °C, y 55 a 80 °C, para los días soleados, y diferencias mínimas en días de escasa radiación.

Para analizar el comportamiento del colector con un poco más de detalle, se presentan las siguientes figuras, que resumen los resultados de ensayo durante el 5 de agosto. En la primera de ellas, figura 12, se indican los valores de temperatura de agua en el colector y en el tanque. Como se puede apreciar, el uso de la bomba no permite distinguir diferencias entre los valores de temperatura en la entrada y salida. La bomba, con un caudal medio de 120 litros por hora, opera de manera intermitente cada 15 minutos. Debido al alto caudal, el tanque sufre ciclos de carga y descarga completos por cada intervalo de 15 minutos. Esto origina una marcada uniformidad en los valores de temperatura de flujo.

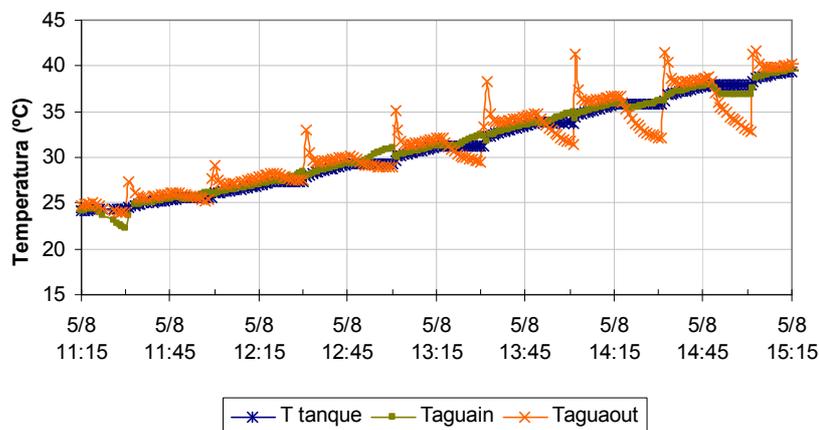


Figura 12: Temperatura de flujo en el tanque, y a la entrada y salida del colector, para el día 5 de agosto.

La figura 13 muestra resultados de temperatura de absorbedor, para el día de estudio. El comportamiento de las curvas es el esperado, registrándose diferencias entre entrada y salida de hasta 40 °C en mediodía solar. Como se observa, el alto caudal presente hace que la temperatura del absorbedor en la entrada del colector sea similar a la temperatura del agua del tanque. Además, los resultados de temperatura del absorbedor a la salida del colector son del orden de los 70 °C.

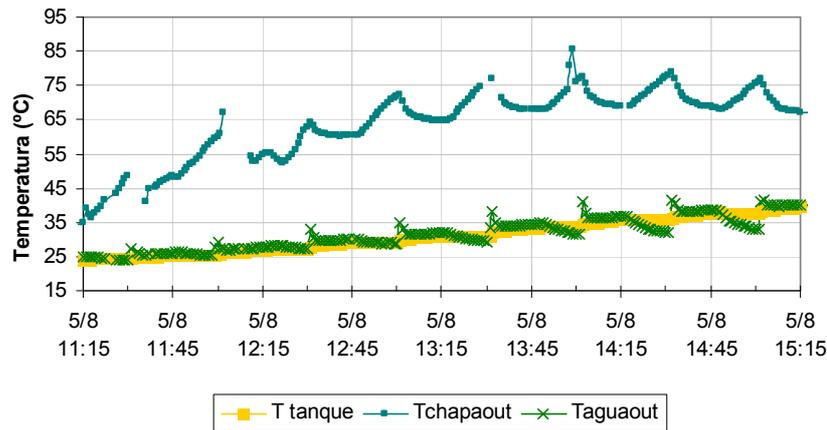


Figura 13: Temperatura de absorbedor en los extremos del colector, y como referencia, temperatura del agua en el tanque.

Se realizó un cálculo de eficiencia media del sistema, en base a los resultados obtenidos para el día 5 de agosto. Para ello, y debido a la naturaleza intermitente del funcionamiento de la bomba, se decidió utilizar como tiempo de cálculo un intervalo simétrico de cuatro horas de 11:15, a 15:15, centrado en el mediodía solar, a hora 13:15. Como el caudal se encuentra regulado por la bomba de funcionamiento intermitente con tiempo operación de quince minutos, puede considerarse que al caudal real como la cuarta parte del caudal que otorga la bomba en funcionamiento continuo, siendo este último equivalente a 120 litros por hora.

De esta forma, el cálculo de eficiencia media, es igual a:

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{A_c I} = 0.53$$

Donde c_p es la capacidad calorífica del agua, igual a 4186 J/kg K , A_c simboliza el área de colección, equivalente a 2 m^2 , I representa la radiación solar global horizontal promediada en el lapso de tiempo, de valor 470 W/m^2 , y ΔT es la diferencia entre los valores iniciales y finales de temperatura de agua equivalente a $(41,25-25,65) \text{ }^\circ\text{C}$. Además, se considera una inclinación del plano de colección igual a 30° .

CONCLUSIONES

Se han presentado los detalles constructivos y los primeros ensayos de un calentador solar de agua del tipo placa plana. Su principal característica distintiva consistió en el uso de caños de termofusión, combinado con una chapa ondulada para conformar el absorbedor del colector. Todo esto en la búsqueda de desarrollar un prototipo de bajo costo.

De los ensayos preliminares realizados, se puede afirmar que este calefón solar alcanza las condiciones de temperatura que se requieren para ser utilizadas en casa de familia, a pesar de la baja conductividad de la cañería de termo fusión. En particular para uno de los días ensayados se alcanzó temperatura máxima de $41,25 \text{ }^\circ\text{C}$ en el tanque al medio día solar, con temperatura ambiente de $22 \text{ }^\circ\text{C}$, 49% de humedad relativa, 695 de radiación solar total sobre plano horizontal y 739 W/m^2 sobre el plano del colector. El colector fue colocado mirando al norte con una pendiente de 20 grados respecto del suelo. Para este día, también se determinó una eficiencia térmica media del 61% para un lapso de funcionamiento de 4 horas alrededor del medio día solar. En datos recientes que no se presentan en el trabajo se han obtenido temperaturas de salida superiores a los $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Respecto al sistema en su conjunto, se ha podido determinar la necesidad de mejorar la aislación térmica del tanque, ya que las medidas puede haber sido afectadas, dado que se está utilizando la temperatura del tanque para el cálculo de la eficiencia del colector. También se hace necesario hacer otros ensayos con velocidad de circulación del agua más baja.

Por otro lado, desde el punto de vista constructivo y de costos, el colector tiene importantes ventajas. Primero pudo ser construido con tecnología sencilla y mano de obra local. Se trata de una construcción robusta y liviana donde la vida útil está dada principalmente por el policarbonato. Segundo, si se lo compara con los equivalentes nacionales donde el absorbedor es de acero inoxidable, los costos se reducen notablemente. Respecto a la utilización de cañería de termo fusión, se puede decir que agiliza el trabajo de construcción del calefón y una vez bien terminada, es muy difícil que presente pérdidas. Si bien no se ha ensayado el colector en climas extremos de temperatura, el material utilizado puede presentar ventajas frente al congelamiento.

REFERENCIAS

1.- Burrano J, Restrepo A, y Sabogal O. 2006. Diseño y construcción de un calentador Solar de Agua operando por Termosifón. Scientia et Technica Año XII ,UTP .

- 2.- Albizzati, E., Arese. (2011) Impacto energético y ambiental de energías no convencionales: caso del calentamiento de agua con energía solar. Averma
- 3.-Nienborg, B. y Nadal G. (2010) CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO ARGENTINO PARA CALENTADORES SOLARES DE AGUA MEDIANTE UNA ENCUESTA ENTRE EMPRESAS. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 14,. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- 4.-REN21. Renewables -2010 – Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century,
- 5.- Ovejero, M y Condorí, M. (2007) Laboratorios sencillos para la enseñanza de las energías renovables en el nivel universitario básico. Avances en Energías Renovables y Medio ambiente, vol. 11, (10), pp. 39-46, ASADES, Argentina. (issn 0329-5184).
- 6.- Garzón, B.1, Fernández Abregú, L.2, Cejas, F, Almirón Font, S. 3, Amín, A. L.4; Calazza, G.(2010) ADOPCIÓN, CONSTRUCCIÓN PARTICIPATIVA Y TRANSFERENCIA DE UN SISTEMA PARA EL CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA EN ESCUELA RURAL DE TUCUMÁN. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 14,. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

INEXPANSIVE WATER SOLAR HEATER WITH THERMOFUSION PIPES AS ABSORBER. PRELIMINARY TESTS

Abstract: The construction and first tests with a water solar collector by forced convection and lower cost is presented. The system is the flat plate type and has the particularity of using corrugated iron plate and thermo fusion pipes as absorber. The results of monitoring changes in water temperatures inside the storage tank for five days of August, construction details and preliminary results of its operation are presented. The results show a good behavior with temperature above 41 ° C and a system thermal efficiency of 61% in sunny days for a time of 4 hours. Regarding the equivalent collector using black irrigation pipe, there was a significant improvement in the speed of construction with decrease in labor input and improvement in the useful life of the collector.

Keywords: solar energy, water solar heating, solar heater, thermofusion