

UN MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN DE CALEFONES SOLARES

A. Fasulo¹, L. Odicino¹, J. Zizzias, J. Marchesi y F. Venier²

¹Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera
5700 San Luís Tel. 2652-424689 int 103. afasulo@unsl.edu.ar

²Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. N° 36 Km 601
5800 Río cuarto Tel. 0358-4676485. jmarchesi@ing.unrc.edu.ar

Recibido:19-04-12; Aceptado:02-05-12.

RESUMEN. - Se presenta un nuevo procedimiento para evaluar calefones solares para uso doméstico. Este es parcialmente similar al empleado para evaluar colectores solares planos. Resulta similar en que permite presentar curvas de eficiencia en función del mismo parámetro usado en la evaluación de los colectores. Se diferencia en que no requiere descargas del fluido contenido en el acumulador lo que simplifica la tarea. Tiene por desventaja que invade el interior del acumulador para instalar termocuplas. El procedimiento fue sistemáticamente experimentado en un colector solar mono – tanque de 580 litros de capacidad, con absorbedor selectivo y separado térmicamente del medio ambiente por dos cubiertas concéntricas de poli carbonato celular. El dispositivo fue operado durante el periodo invernal. Los resultados muestran que el procedimiento conduce a resultados compatibles con las experiencias previas de evaluación de dispositivos similares. Los resultados se presentan por medio de tablas y gráficos.

Palabras claves: Colector solar acumulador, evaluación, eficiencia.

A METHOD TO EVALUATE DOMESTIC SOLAR WATER HEATERS

ABSTRACT.- This work presents a new procedure to evaluate domestic solar water heaters. It is partially similar to the test used to evaluate flat plate collectors. It allows to present efficiency plots as a function of the same parameter used for flat plate collectors. The difference is that it does not require the discharge of the fluid contained in the storage, which simplifies the task. For the method to work it is necessary to install thermocouples inside the tank, invasive action considered as a disadvantage. The procedure was systematically tested in a monotank solar collector of 570 liters capacity, which has a selective absorber and is thermally separated from the ambient by two cellular polycarbonate concentric covers. The prototype was operated during winter period. The results showed that the procedure results in good agreement with previous experiments made on similar collectors. They are presented by means of tables and plots.

Keywords: Integral collector storage system, evaluation, efficiency

1. INTRODUCCION.

Durante los primeros años de la actividad solar en la Argentina uno de los temas dominantes fue el calentamiento de agua para uso domestico mediante el uso de colectores solares planos. Estos conectados a tanques acumuladores, térmicamente bien aislados, se llamaron calefones solares. La mayor parte de la actividad, en este tema, se centró en los colectores solares. Desde el sector comercial surgen numerosos dispositivos, caracterizados por la variedad en los diseños para su construcción, como restricciones en el uso de materiales, en todos los casos siguiendo desarrollos importados (Ducard J. 1977), (Fernandez R. 1977). Se propusieron procedimientos para evaluar colectores solares (Guerrero et al 1980), así como el calefón solar (Gaspar et al. 1977). Uno de los primeros procedimientos reglados por normas (ASHRAE 93-77) para evaluar calidad de colectores, envejecimiento y principalmente comparación entre distintos diseños y materiales, fue efectuado por la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (Rappallini et al. 1980, 1981).

Las restricciones en el uso de materiales, señaladas por las publicaciones que indicaban el uso de placas y tubos metálicos de alta conductividad, cobre o aluminio, fue abordada por el Laboratorio de Energía Solar en la Universidad Nacional de San Luís. Se mostró que empleando placas de hierro, de bajo costo, en el mercado local, se obtienen ventajas económicas que facilitan la difusión de estos dispositivos (Fasulo et al 1976). Debe destacarse que una de las pocas industrias, de las numerosas que se iniciaron en esa época en la producción de calefones solares y que en la actualidad permanece, inició la producción de colectores solares empleando placas de hierro soldadas a tubos aleación bronce con zinc. Posteriormente se mostró que la conductividad juega un rol secundario en la construcción de estos calentadores solares. Se encontró que estos se pueden construir hasta con materiales aislantes, dependiendo su eficiencia mas del diseño que de la conductividad del material: Colectores de polipropileno (Fasulo et al 1990), colectores solares de policarbonato celular (Gea et al 2005), colectores solares de material plástico (Figuerola et al 2006).

El sistema de evaluación de los colectores solares planos empleado consiste en determinar la relación de la eficiencia η con un parámetro ϕ . Donde: η es el cociente entre la energía solar transformada en térmica por el colector, sobre la radiación solar total que le llega. ϕ es una función de las temperaturas media del colector, la ambiente y la radiación solar incidente. Da cuenta de las limitaciones que posee el colector para transferir la energía térmica que captura al fluido que circula por su interior, debido a sus pérdidas térmicas. Duffie and Beckmann (1975) propone para este parámetro el cociente entre la diferencia de temperatura del fluido a la salida del colector, T_{out} ($^{\circ}$ C) con la entrada T_{in} ($^{\circ}$ C), sobre la radiación solar que incide sobre este, H (MJ/m^2). Sin embargo muchos autores reemplazan el numerador de la relación anterior por la diferencia entre la temperatura media del fluido dentro del colector, $\frac{1}{2}(T_{out} + T_{in})$ con la temperatura ambiente, T_a , por considerar que constituye una más apropiada representación del fenómeno (Guerrero et al 1980, Rappallini et al 1980). Estos autores hacen trabajar el colector con distintas temperaturas del agua de entrada. Se busca llevarlo a las distintas situaciones de funcionamiento en que se encontraría durante un día soleado. Para ello se hace circular agua por el colector a flujo y presión constante, determinando la cantidad de energía térmica capturada por el fluido, ΔT ($^{\circ}$ C), durante intervalos de tiempo pequeños, Δt (min.) en los cuales se mantiene aproximadamente constante la radiación solar, por estas características el procedimiento se denomina eficiencia instantánea. Tomando en sucesivas experiencias valores crecientes de la temperatura de entrada del fluido al colector, se obtienen valores decrecientes de eficiencias, consistentes con el incremento de las pérdidas térmicas del mismo. Estos valores se llevan a una representación gráfica, de η en función de ϕ , interpolándolos normalmente mediante una recta que resulta siempre de pendiente negativa. Una forma de evaluar la calidad de un colector está en el punto de corte de la recta con el eje ϕ . Esto es el valor de ϕ para la cual la ganancia del colector se iguala con sus pérdidas térmicas. (Rappallini et al, 1981) muestra resultados de un conjunto de colectores comerciales que presentan valores de corte en el eje ϕ de 0,073 para tubos de cobre con chapa de aluminio unidos a presión, de 0,92 para tubos de cobre, chapa de cobre unidos mediante soldadura y 0,11 para un colector importado caracterizado por una estructura tipo radiador de aluminio con tubos de cobre unidos a presión. Valores mas altos 0,12 se obtuvieron para colectores con doble cubierta de vidrio.

Los primeros en proponer a nivel nacional la evaluación de sistemas completos, calefón solar fue Gaspar et al (1977), aunque, al igual que en las experiencias de Rappallini, se limitaron a presentar curvas de calentamiento sin ofrecer procedimiento sistemático para la comparación entre dispositivos. Cuando se desarrolló el colector solar acumulador, CSA, (Fasulo et al 1997, 99, 2001) al no disponer de un método de evaluación sistemático y simple se opta por efectuar un seguimiento estadístico comparativo de la capacidad de producción del dispositivo. Este consiste en la extracción tres veces por día de 50 o 100 litros de agua, según fuese la dimensión del dispositivo, durante no menos de quince días seguidos, con la condición que incluyan días claros, seminublados y nublados. Esta secuencia de experiencias se repite durante tres periodos anuales, buscando cubrir las principales situaciones meteorológicas que se presentan en el año. El CSA es operado en simultaneo, comparándolo con un calefón solar comercial de similar capacidad de producción, constituido por colectores

solares planos acoplados a un acumulador con eficientes aislantes térmicos. Con el avance de las experiencias se debió recurrir a una ecuación para co-relacionar los diversos dispositivos experimentados (Fasulo et al 2002). En todos los casos el CSA estuvo constituido por un único tanque con pintura negro mate o selectiva con una a tres cubiertas de policarbonato celular, concéntricas, separadas entre si y del tanque por 0.02 m. Los resultados mostraron que el dispositivo posee capacidad para producir agua caliente por encima de los 40 $^{\circ}$ C durante seis meses del año en torno de diciembre.

Actualmente varios laboratorios nacionales están poniendo a punto instalaciones en base a los requerimientos de la norma ISO 9459, para evaluar calefones solares, (Nayntoft et al 2009), (Barral et al 2010). La principal característica de este procedimiento de evaluación está en que no invade el interior del dispositivo, se trabaja efectuando mediciones externas, sobre el flujo de fluido entrante y saliente y sobre variables del medio ambiente. Requiere instalaciones costosas y varias jornadas de operación del sistema. La experiencia de cada día concluye con varias extracciones y recargado de agua en el tanque de acumulación, con lo cual el procedimiento queda limitado a tanques acumuladores de dimensiones reducidas. Los datos son válidos para las condiciones atmosféricas imperantes en la estación del año en que se efectúan. No provee de valores de eficiencia del sistema.

En esta presentación mostramos que es posible aplicar a colectores solares acumuladores mototanque el procedimiento de evaluación empleado en los colectores solares planos. Esto es obtener valores de la eficiencia del sistema en función de la radiación solar, las temperaturas del dispositivo y del medio ambiente.

Aplicaremos el procedimiento a un CSA que posee un tanque de acumulación de 580 litros. El CSA es un dispositivo experimental, de características enteramente distintas a los calefones comerciales, no posee limitaciones para introducir en su interior termocuplas. El procedimiento es simple y facilita su aplicación por que no requiere extracción de agua. Podría ser empleado para evaluar los calefones solares comerciales que permiten acceder a su interior, para instalar las termocuplas, por los conductos de dilatación.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTADO

El colector solar acumulador, CSA, está constituido por un tanque cilíndrico de acero inoxidable de 0,78 m de diámetro y 1,19 m de alto que contiene 580 kg de agua. El tanque es colector solar por que su exterior está recubierto con una superficie absorbente selectiva para la radiación solar. Esta es una fina película autoadhesiva que posee una absorbancia de 0,95 para el espectro solar y una emitancia de 0,05 para el infrarrojo dominante, para la temperatura de trabajo del colector. El tanque está separado térmicamente del medio ambiente por dos cubiertas de policarbonato celular. de 0,004 m de espesor, separadas entre si y del acumulador por 0,02 m. El cilindro lleva adosado, en esta experiencia, en su extremo superior una bandeja del mismo material que le permite funcionar como batea de un destilador solar.

En esta experiencia la batea del destilador es parcialmente invadida mediante una cobertura plástica y una tapa de 0,1

m de espesor de poliestireno expandido, transformándolo en un acumulador. Una resistencia eléctrica de 1500 vatios de potencia está instalada a unos 0,2 m por debajo del borde superior. Su función es calentar el fluido y llevarlo a las temperaturas de trabajo en que se desee efectuar su operación.

Para distribuir el calor que es incorporado, a toda la masa de agua del CSA, se instala un conducto externo aislado térmicamente entre los tubos para conexiones externas que posee el tanque en la base y su extremo superior. Una bomba accionada eléctricamente permite recircular el fluido desde su extremo inferior al superior. Llevándolo así a la temperatura de operación deseada, se lo deja reposar hasta que adquiere estado estratificado, conforme a sus pérdidas térmicas. Para el control de la temperatura del fluido se disponen seis termocuplas a lo largo del eje del cilindro. Una estación meteorológica compuesta por medidores de temperatura, humedad presión y radiación solar permiten seguir la evolución de las variables ambientales. En la figura 1 se puede ver una fotografía del dispositivo.



Fig. 1: Imagen del destilador convertido en CSA con la cubierta superior reemplazada por una placa de poliestireno expandido. En el lateral izquierdo se puede ver el conducto de recirculación usado para acondicionar y operar el sistema a las temperaturas de trabajo deseadas.

3. EXPERIENCIAS y JUSTIFICACIÓN

Las experiencias consisten en el seguimiento del proceso de calentamiento del agua contenida en el CSA, para días soleados. Se requieren días con plena radiación sin vientos ni fluctuaciones térmicas bruscas, tales condiciones climáticas son frecuentes en el centro – oeste del País en otoño e invierno. A primera hora, antes de que salga el sol se toman las temperaturas en el interior del CSA, la temperatura ambiente. Las mediciones se repiten cada media hora hasta que se deja de observar cambios en la pendiente de la curva de calentamiento del CSA, luego se continúa cada hora. Igual procedimiento se sigue antes de la puesta del sol y en las horas siguientes. Durante todo el tiempo se

registran cada minuto las variables ambientales, temperatura, radiación solar global horizontal y normal directa. La eficiencia se determina al final de cada día aplicando la relación (Duffie and Beckman 1991).

$$\eta = (\sum Q_t \Delta t) / (\sum G_t \Delta t) \quad (1)$$

Donde la suma es sobre un período específico de tiempo con presencia de radiación solar, Q_t es la cantidad de energía térmica ganada por el CSA durante ese mismo periodo de tiempo y G_t la radiación solar que llega al dispositivo. En esta presentación ese período se extenderá a todo el día solar.

La justificación para aplicar la ecuación anterior a todo un día esta fundado en el comportamiento térmico que presenta el dispositivo, que posibilita la determinación de la energía ganada con solo determinar las temperaturas en el eje del cilindro acumulador. En la figura 2 podemos ver la evolución térmica del CSA medidas a lo largo de su eje. Vemos que la estratificación se mantiene y que en todas las posiciones las temperaturas crecen siguiendo una tendencia casi lineal.

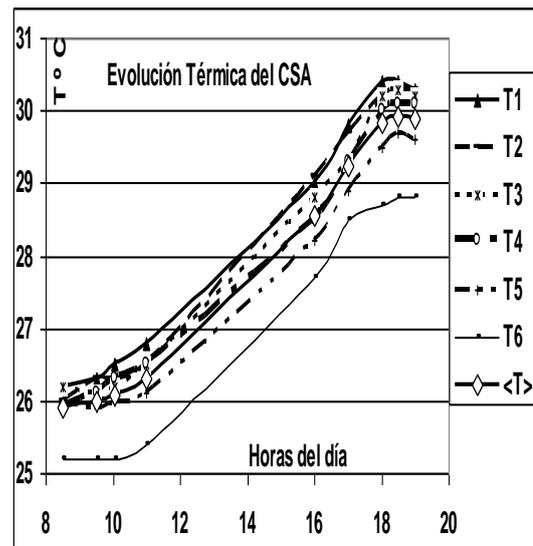


Fig. 2: Evolución térmica de la masa de agua del CSA en un día claro con $H(90^\circ)$ de 13.9 MJ. Donde se ha resaltado el valor medio, $\langle T \rangle$.

Esto es consistente con el hecho de que la radiación al llegar a la superficie metálica del acumulador y transformarse en calor, genera movimientos conductivos - convectivos en el fluido muy lentos, con características tales, que mantiene su estado de estratificación. La temperatura media $\langle T_h \rangle$, para cada determinación h, se la puede considerar representativa del estado térmico del agua contenida en el CSA, como para calcular a partir de estas la cantidad de calor ganada por el CSA.

Las experiencias se agrupan en dos partes: la primera se inicia con la temperatura del agua del CSA próxima a la ambiente. El primer día y los siguientes presentan imágenes similares a la mostrada en la figura 2. La temperatura media

diaria, $\langle T \rangle_d$, crece cada día y el $\Delta \langle T \rangle_d$ decrece cada día, siendo:

$$\langle T \rangle_d = \sum_{i=1}^n ((T_1+T_2+T_3+T_4+T_5)_i) / 5n \quad (2)$$

$$\Delta(\langle T \rangle)_d = \langle T \rangle_{fin} - \langle T \rangle_{ini} \quad (3)$$

Donde la suma en (2) va de $i = 1$ a $i = n$, esto es de la primera medida del día a la última. En (3) ini y fin indican respectivamente las temperaturas medias horarias, del CSA, inicial más baja y final más alta de la secuencia de mediciones diarias.

Con las operaciones indicadas se obtiene una serie de datos con valores de ϕ crecientes y valores de η decrecientes (calentamiento del CSA), hasta que las pérdidas térmicas y la ganancia diaria son similares, entonces, en los días siguientes, si las condiciones climáticas se repiten, estos valores se repiten.

Para obtener otros valores de ϕ (más altos) se trabaja el CSA en un proceso de enfriamiento. Para tal fin mediante el aporte de energía eléctrica y recirculación del fluido se lleva el agua contenida en el CSA a temperaturas por encima de los 70°C. Se cortan, la energía eléctrica y la recirculación, permitiendo el enfriamiento del CSA. Luego de una secuencia de días nublados en los cuales el enfriamiento es continuado se produce un día claro con una radiación solar en el plano vertical de 15,5 MJ/m², se obtiene la evolución térmica en el interior del CSA que se muestra en la figura 3. Se puede ver que para temperaturas que están entre 54°C y 57°C se tiene una figura de evolución y distribución térmica en el interior del CSA similar a la obtenida para bajas temperaturas. En este caso se observa mayor separación entre los valores que detectan cada termocupla, consistente con un nivel mayor de pérdidas térmicas, también se ve que la temperatura correspondiente a la termocupla inferior, T6, se encuentra algo más alejada de las otras y presentando un $\Delta T_6 = (T_{6fin} - T_{6ini})$ levemente más elevado.

Valen las mismas consideraciones efectuadas previamente para el proceso de calentamiento, estos es: al presentarse una secuencia de días soleados consecutivos parte de los datos necesarios para la evaluación del CSA se obtienen desde la operación del sistema en estos días, en los que ahora $\langle T \rangle_d$, decrece cada día y el $\Delta \langle T \rangle_d$ crece. Con estas dos secuencias de datos y los obtenidos para valores intermedios se puede representar la capacidad del dispositivo para transformar la radiación solar en térmica y acumularla, con la única restricción de operar el equipo en días claros.

Para obtener experiencias con $\langle T \rangle_d$ del colector en puntos intermedios de la escala procedemos de la siguiente forma: Ante la expectativa meteorológicas de disponer de un día claro, se prepara el CSA durante la tarde del día previo: Con energía eléctrica y recirculación se lleva la temperatura del agua a valores por encima de los que se pretende tener en el arranque del día claro, tan por encima de estos como las determinadas pérdidas térmicas nocturnas que se predicen. Durante la noche, dado que las pérdidas térmicas son mayores por el extremo inferior del cilindro por la mañana siguiente encontraremos la distribución de temperaturas, con el grado de estratificación, que se espera.

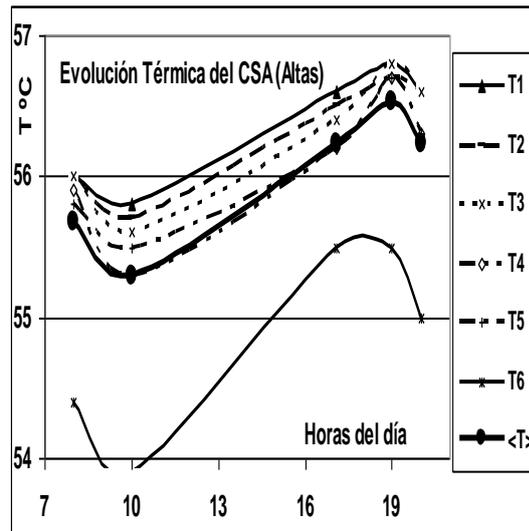


Fig. 3: Evolución térmica del CSA para temperaturas altas, en un día claro, $H(CSA)$ de 15,5 MJ. Donde se resalta la curva de $\langle T \rangle$.

Resumiendo: para cada un día claro se propone calcular la cantidad diaria ganada por el CSA, Q mediante la conocida relación:

$$Q = cM \Delta(\langle T \rangle)_d \quad (4)$$

Donde: $c = 4,19$ kJ/°Ckg es el calor específico del agua, M la masa de agua contenida en el CSA, 570 kg y $\Delta \langle T \rangle_d$ es el salto térmico del agua contenida en el CSA dada por la ecuación (3).

4. EXPERIENCIAS Y RESULTADOS

Las experiencias se efectúan en el periodo que va del 24 de mayo al 29 de julio, durante las cuales se obtienen 17 valores de η con los correspondientes valores de ϕ . Disponemos así de 17 puntos para construir la gráfica de eficiencia del CSA. Cada punto esta constituido por un día solar completo, se busco en todos los casos días de pleno sol.

Se calcula la eficiencia diaria del CSA mediante la relación:

$$\eta = (c M \Delta(\langle T \rangle)_d) / H(CSA) \quad (5)$$

Donde: c es el calor específico del agua, 4,19 kJ/kg °C., M es la masa de agua contenida en el CSA que en este caso es de 580 kg. $\Delta \langle T \rangle_d$ es la diferencia entre las temperaturas medias de la masa de agua contenida en el CSA al final del periodo de calentamiento con la temperatura media al inicio del calentamiento. $H(CSA)$ es la radiación que llega a la superficie del CSA:

$$H(CSA) = A H(90^\circ) + 0,5A'H_d \quad (6)$$

Siendo: A la sección transversal a $H(90^\circ)$ del CSA y A' la opuesta a esta que recibe solo radiación difusa. Cada una mide 1 m². Los valores diarios de la radiación que llega al CSA es determinada sistemáticamente en el laboratorio de la

UNSL todos los días del año, junto con otras correspondiente a direcciones en que se trabaja y a partir de I e In. En este caso mediante las relaciones (7) y (8).

$$H(90^\circ) = \Sigma (I_n \sin\theta_z + 0,5 I_d) \tag{7}$$

$$H_d = \Sigma I_d \tag{8}$$

I_n (MJ / m²) es la radiación solar horaria normal directa. I_d (MJ / m²) la radiación solar horaria difusa.

Σ es la suma sobre todas las horas con sol del día, θ_z el ángulo azimutal

Siguiendo el procedimiento empleado para colectores solares planos se compararan los datos de eficiencia con la función que relaciona la diferencia entre las temperaturas, medias del colector con la ambiente sobre la radiación solar que le llega, esto es:

$$\phi = (\langle T \rangle_d - \langle T_a \rangle_d) / \langle H(CSA) \rangle \tag{9}$$

Donde $\langle T_a \rangle_d$ es la temperatura ambiente, en ° C, del período del día con sol. Siguiendo la formulación empleada en colectores planos $H(CSA)$ se expresa en función $\langle H(CSA) \rangle$ en kilowatios. $[\phi] = (^\circ C m^2) / kw$.

Tabla 1 Datos experimentales del medio ambiente, del CSA y deducidos desde las ecuaciones de trabajo Eficiencia (η) y parámetro ϕ . Obtenidos en los días claros producidos entre 24/05 y 29/07.

Fecha	$\langle T \rangle_{ini}$ °C	$\langle T \rangle_{fin}$ °C	$\langle T_a \rangle_d$ °C	$\langle T \rangle_d$ °C	H(90°) MJ	H _d MJ	η %	ϕ (°Cm ²)/kw
24/05	24,9	28,2	13,6	26,7	14,1	4,7	49	0,022
25/05	25,9	29,9	15,1	27,7	13,9	4,3	60	0,022
30/05	21,2	24,7	13,5	22,9	14,5	4,3	59	0,016
31/05	22,9	26,8	15,8	24,6	13,7	4,6	58	0,015
02/06	27,2	28,9	13	28,1	8,6	5,4	35	0,037
04/06	27,5	30,8	16,6	29,1	13,2	4,5	53	0,023
05/06	29,2	32,7	18	30,9	14,2	4,3	52	0,022
06/06	31,7	34,7	17,5	33,0	14,1	4,2	45	0,026
24/06	26	29,1	15,3	27,6	12,4	4,5	51	0,023
12/07	26,2	28,6	7,5	28,0	14,5	4,3	35	0,033
13/07	31,3	33,8	9,9	32,5	13,3	4,6	37	0,040
19/07	29,2	31,6	9,7	30,2	13,9	4,6	36	0,035
20/07	33,4	35,6	11,8	34,3	14,1	4,6	32	0,038
21/07	36	37,2	8,9	36,6	14,4	4,6	16	0,046
26/07	29,5	32,8	15,8	31,0	14,7	4,7	48	0,025
27/07	36	38,3	16,6	37,0	14,9	4,7	33	0,032
29/07	32,6	35,2	16,2	33,8	13,4	5,1	40	0,031

Con estos datos construimos la tabla 1. Siguiendo las fechas y las $\langle T \rangle_{ini}$, primera y segunda columna de la tabla 1 se puede seguir la historia de la experiencia día a día: El 24/05 y 25/05 dos días claros consecutivos, H próxima a 14 MJ/m², inicio de la serie de experiencias con temperaturas medias en el acumulador bajas, 24,9°C para el primer día y 1°C mas para el segundo día. El tercer día, 26/05, se discontinúa por que se nubló. Luego de varios días nublados o seminublados se retoma el día 31/05 con $\langle T \rangle_{ini}$ de 22,9°C, $\langle T \rangle_{fin}$ de 26,8 resultando para un H(90) de 13,7 MJ una eficiencia de 58 % y un valor del parámetro ϕ de 0,015. Se tiene luego una serie de días claros seguidos en los que $\langle T \rangle_{ini}$ es creciente como consecuencia de que la capacidad de captura de calor es mayor que las pérdidas térmicas, con lo cual se completa la primera parte de la experiencia. Obsérvese los datos de η % y de ϕ , difieren lo suficiente para ser utilizados en la gráfica que se busca, η % Vs ϕ . El paso siguiente para completar la experiencia es obtener

valores altos de ϕ , para ello de debe preparar la noche anterior, calentando el agua del acumulador. Así se procede para obtener los resultados de los días 13/07 a 29/07. En particular podemos observar que el día 21/07 se inicia la experiencia con un $\langle T \rangle_{ini}$ de 36 °C, el salto térmico al final de día es de solo 1,2 °C, resultando la eficiencia mas baja de la serie, con el 16 % y el parámetro ϕ mas alto 0,046. En la figura 4 se puede ver el conjunto de datos η % Vs ϕ y una recta de interpolación, cuya ecuación (10) permite obtener valores intermedios y mediante extrapolación los datos buscados.

$$\eta = 79,99 - 1278,6 \phi \tag{10}$$

Expresión que permite determinar el punto de corte para eficiencia nula, da: $\phi = 0.063$ Se obtiene también el valor de la eficiencia máxima, esto es cuando el agua del CSA al

inicio de la experiencia se encuentra a la temperatura ambiente y es de 0,8 %.

Comparando con los datos correspondientes al estudio de los colectores solares planos, mencionados en la introducción vemos que éste se encuentra próximo a uno de estos.

Debe hacerse notar que este resultado obtenido en el periodo invernal es consistente con las experiencias anteriores que mostraron que el CSA solo permitía reemplazar a los calefones solares convencionales, produciendo agua caliente por encima de 40°C. durante unos seis meses en torno del periodo estival (Fasulo et al ya mencionados). El resto del año puede ser utilizado como pre calentador.

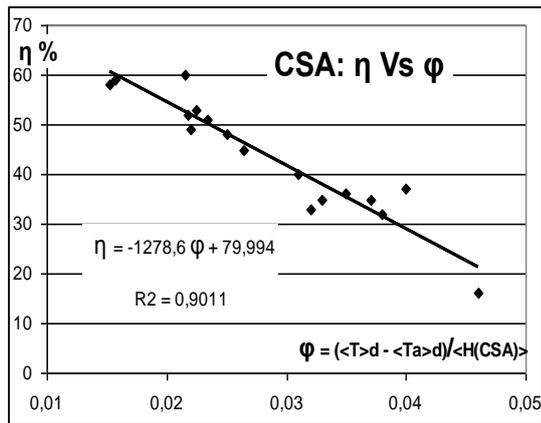


Fig. 4: Representación gráfica, de los valores de eficiencia porcentual en función del parámetro ϕ , del CSA. Para los 17 días, experimentados entre mayo y julio.

5. DISCUSIÓN

La aproximación del método propuesto esta en directa relación con la aproximación a los valores reales de las temperaturas extremas: mínimo al inicio del día y máximo a la puesta del sol. Para postular que son suficientemente aproximados para la descripción de los valores extremos se tiene en cuenta que: En el entorno temporal de esos periodos la pérdida térmica y la ganancia se encuentran en un estado de equilibrio. Que este intervalo de tiempo es lo suficientemente largo como para suponer que los valores de las temperaturas registradas por las termocuplas, ubicadas en el centro del cilindro, son representativas de un entorno horizontal lo suficientemente extenso como para descartar la existencia de valores muy distintos a los registrados. Una forma de verificar que la ganancia térmica es la correcta se podría experimentar efectuando una descarga completa del agua contenida en el CSA midiendo simultáneamente su temperatura. Esta verificación será correcta por que la energía térmica contenida en el metal del tanque y sus cubiertas de policarbonato es del orden del 1,5 % de la contenida en la masa de agua, inferior por lo tanto a los errores experimentales.

CONCLUSIONES

Se dispone de un nuevo procedimiento para evaluar el colector solar mototanque. El procedimiento es simple y no requiere extracción de agua. El procedimiento se ve facilitado si se lo opera siguiendo una secuencia de días

soleados durante las etapas del programa de evaluación, de calentamiento y de enfriamiento. El procedimiento da resultados que permiten determinar la eficiencia del dispositivo. El procedimiento puede ser aplicado también a los calefones solares comerciales que, por el tipo de construcción, permitan el acceso al acumulador con termocuplas. Del estudio efectuado se determinó que las mayores pérdidas térmicas de éste CSA se producen por la base.

REFERENCIAS

- Ducard J. (1977). El termosol de SMRT SAIC. Actas de la tercera Reunión de Trabajo de ASADES, pp.57 a 64.
- Duffie J and Beckman W. (1991). *Solar Energy Thermal Processes*. Wiley and Sons, New York.
- Fasulo A., Marcolini M. y O. Gomez (1976) Colección plana de energía solar. Actas de la 2da reunión de Trabajo de ASADES. Tomo 1, pp.39 a 46.
- Fasulo A., Perelló D. y Follari J. (1997) Un colector solar acumulador. AVERMA Vol. 1, pp. 1.93 a 96.
- Fasulo A., Follari J. y Barral J. (1999) Un colector solar acumulador. AVERMA Vol. 3, pp. 03- 45 a 48.
- Fasulo A., Follari J. y Barral J. (2001) Comparison between a simple solar collector accumulator and a conventional accumulator. *Solar Energy*, **71**, 6, 389 - 401.
- Fasulo A., Follari J. y Barral J. (2002). Un nuevo Colector Solar Acumulador. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **10**, 43-50.
- Fasulo A., Follari J. y Torres M. (1990). Un colector solar de polipropileno. Actas de la 14va Reunión de trabajo de ASADES, pp. 211 a 218.
- Fernandez R. (1977). Modelo numérico para el cálculo de superficies óptimas de colección solar plana. Actas de la 3ra Reunión de Trabajo de ASADES, pp.47 a 56.
- Figueroa G., Sánchez B., Mendoza P., Fernández C., Caso R., Gea M. y Saravia L. (2006). Calefones solares con placa colectora de material plástico. AVERMA Vol. 10 pp. 03-41 a 45.
- Gaspar R., Lara M. y Piacentini R. (1977). Ensayo, Modelización de un sistema colector-acumulador de agua a circulación natural. 3ra Reunión de Trabajo de ASADES, pp. 33 a 56.
- Gea M., Sánchez B., Mendoza P., Caso R. y Saravia L. (2005) "Colector solar plano de policarbonato alveolar". Comunicación en la reunión de XXIX Reunión de ASADES.
- Guerrero J., Heredia R., Heredia M. y Plos R. (1980). Ensayo de colectores solares. Actas de la 6ta Reunión de Trabajo de ASADES, pp. 117 a 133.
- Nantoft C., Garreta F. y Sanni P. (2009) Banco de ensayos y certificación de colectores solares planos y equipos integrados: primeros ensayos bajo normas ISO 9459-2 adaptadas. Comunicación al XXXII Congreso de ASADES pp. 08.13 a 18
- Rapallini A., Chiabrera M., Muñoz O., Pellegrini O., Bruno M. y Asis F. (1980) Ensayo de colectores solares en el banco de pruebas de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. Actas de la 6ta de ASADES, pp.97 a 115.
- Rapallini A., Chiabrera M., Asis F., Mandel B., Muñoz O. y Peralta M. (1981) Banco de prueba de colectores solares; resultados obtenidos en el periodo 1979 – 81. Actas de la 7ma Reunión de Trabajo de ASADES, pp.116 a 122.