

BANCO DE ENSAYOS Y CERTIFICACIÓN DE COLECTORES SOLARES PLANOS Y EQUIPOS INTEGRADOS: PRIMEROS ENSAYOS BAJO NORMAS ISO 9459-2 ADAPTADAS.

C. Navntoft⁽¹⁾, F. Garreta⁽¹⁾⁽²⁾, P. Sanni⁽¹⁾

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires – Secretaría de Ciencia y Tecnología

Departamento de Ingeniería Civil - Laboratorio de Estudios sobre Energía Solar (LESES)

Centro de Investigación de Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (CIHE)

(UTN-FRBA-LESES), Mozart 2300, (1407) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina

Tel.: (+5411) 4601-8112 (int. 7139) / Web: www.leses.webs.com / E-mail: utnsolar@gmail.com

RESUMEN

En 2006, el Laboratorio de Estudios sobre Energía Solar de la Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, comenzó a trabajar en investigación, desarrollo e innovación tecnológica en energía solar térmica. El proyecto “Banco de Ensayos y Certificación de Colectores Solares”, recientemente concluido, sintetiza el espíritu y objetivos trazados. Para establecer parámetros comparativos entre distintas tecnologías, el proyecto original se expandió hasta la certificación de equipos integrados (colector y tanque). En esta nueva etapa, se han obtenido los primeros resultados en pruebas realizadas a un equipo de tubos evacuados. Debido a que no existe una normativa local para evaluar estos equipos, se utilizó como referencia la norma ISO 9459-2 “Solar heating – Domestic water heating systems – Part 2: Outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems”. Se presentan resultados obtenidos de un equipo de tubos evacuados y experiencias recogidas.

Palabras clave: energía solar térmica, colectores solares, ensayos, certificación

INTRODUCCIÓN

Frente al aumento sostenido de la demanda de petróleo y la reducción de reservas, Argentina cuenta con una matriz energética con fuerte dependencia de recursos energéticos de origen fósil. Esta situación se ve agravada por el costo de la energía que pagan los usuarios, con importantes subsidios para mantener los precios del gas y la electricidad por debajo del promedio regional, y más aún, el internacional. En este marco, a huellas del comienzo del sinceramiento de las tarifas energéticas, la energía solar térmica suma competitividad y un protagonismo inédito en el ámbito local con la presencia de empresas de origen europeo, importadores de equipamiento de origen chino y fabricantes locales.

El proyecto “Banco de Ensayos y Certificación de Colectores Solares” ha culminado habiendo alcanzado su principal objetivo, dejar habilitada una herramienta de múltiples aplicaciones. El mismo fue ejecutado apuntando a la certificación de colectores solares, sin embargo, el crecimiento del mercado ha permitido que el mismo se expanda a la certificación de equipos integrados. Para ello, fue necesario adquirir instrumental e infraestructura adicional. De esta manera, el proyecto finalizado ha sido actualizado a “Banco de Ensayos y Certificación de Colectores Solares y Equipos Integrados”. El mismo fue financiado en parte por la UTN-FRBA y en parte con aportes del proyecto E655/07PET26 del Fondo de Innovación Tecnológica Sector Energía (FITSE), Dirección Nacional de Estudios de la Subsecretaría de Estudios y Prospectiva, Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

El instrumental con el que cuenta el banco de ensayos ha sido descrito en trabajos previos [Garreta *et al.*, 2007; Navntoft *et al.*, 2008]. La adaptación del banco a la evaluación de sistemas integrados, requirió de la adquisición del siguiente instrumental adicional:

1 Caudalímetro de alta temperatura marca “ODIN SA”, Argentina, modelo TPT-1300

4 Termoresistencias pt100 con cabezal DIN y vaina de inoxidable 3/16

2 Handys marca “Motorola” para comunicar la plataforma de ensayos con el operador de PC

1 Temporizador programable para encendido automático de la bomba de recirculación

1 Bomba de recirculación marca “ROWA”, Argentina, modelo “10/2” de velocidad variable, para recirculación del agua en el sistema.

Los resultados que se presentan en este trabajo son el producto de ensayos realizados a un sistema de 200 litros compuesto por tubos evacuados y el tanque de acumulación. El sistema no posee interconexiones, el agua fluye dentro de la doble ampolla. Estos equipos son conocidos en el mercado internacional como sistemas “all glass”.

Todos los ensayos fueron realizados siguiendo los procedimientos establecidos en la norma ISO 9459-2. Sin embargo, algunos de ellos no pudieron realizarse siguiendo las especificaciones de forma “estricta”. Puntualmente esto sucedió en la determinación del coeficiente de pérdidas como se explicará más adelante. Por otro lado, los ensayos fueron realizados sin extracción de agua del sistema. Este inconveniente técnico fue resuelto y actualmente los ensayos se están realizando con extracciones. Sin embargo, al momento de presentar este trabajo, por cuestiones climáticas no se pudieron realizar mediciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Montaje

⁽¹⁾ Investigador, LESES – FRBA - UTN

⁽²⁾ Docente e investigador, Centro de Investigación, Hábitat y Energía, FADU – UBA

Para realizar los ensayos, el equipo solar integrado de 20 tubos evacuados, fue instalado con 35° de inclinación y orientado hacia el norte (acimut 0°). La plataforma de ensayos se muestra en la figura 1 y el colector instalado se muestra en la figura 2.



Figura 1. Plataforma de ensayos del LESES

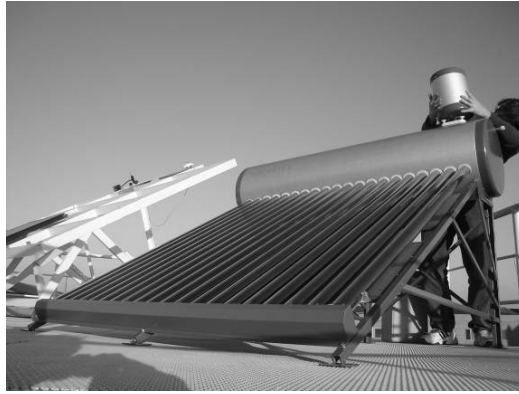


Figura 2. Colector de tubos evacuados instalado en la plataforma de ensayos del LESES.

Por debajo del tanque reductor de presión y llenado, se colocó una cruz que permitió instalar la termoresistencia y la válvula de entrada del líquido recirculado. De esta manera, la carga del sistema se realiza a través del tanque sin desconectar el mismo a través de la entrada regulada por la válvula. La misma configuración se utilizó para medir la temperatura a la salida del sistema.

Determinación del volumen del sistema

La medición del volumen se realizó mediante varios métodos para evitar errores en la determinación del mismo. El volumen del tanque se determinó mediante un caudalímetro y además por pesada de masa de agua extraída a una temperatura conocida.

Ensayo de determinación del coeficiente de pérdidas

El ensayo para la determinación del coeficiente de pérdidas se realizó según los procedimientos establecidos en la norma ISO 9459-2. El mismo consistió en homogeneizar la temperatura del sistema a una temperatura mayor a 60°C a través del calentamiento diurno, una resistencia de apoyo y una bomba de recirculación. El sistema ganó calor durante el día y luego se hizo recircular el fluido agregando calor al sistema por medio de una resistencia eléctrica sumergible. Luego, se recirculó el agua del sistema hasta que la diferencia entre la temperatura de entrada y de salida presentaron una diferencia menor a 1°C durante 15 min. Este fue el período de homogeneización inicial (PHI). Luego se detuvo la recirculación, y se dejó enfriar el sistema hasta el otro día, antes de que salga el sol, momento en el cual se repitió el procedimiento de homogeneización mencionado (PHF). La norma exige que el caudal de recirculación sea de 5 veces el volumen del tanque por hora. Por razones de potencia de la bomba, el caudal de recirculación utilizado fue de aproximadamente 600 l/h. Sin embargo, se logró la homogeneización de la temperatura del sistema según las exigencias mencionadas. Este problema ya fue solucionado y la nueva bomba permite llegar a estos caudales.

El valor del coeficiente de pérdidas del sistema, U_s (W/K), fue determinado según la norma ISO 9459-2, mediante la ecuación (1), donde V_s (Litros) es el volumen total del sistema, T_{INI} (°C), es la temperatura del agua del sistema durante el período de homogeneización inicial, T_{AMB} (°C), es la temperatura ambiente promedio durante el ensayo, T_{FIN} (°C) es la temperatura del agua del sistema durante el período de homogeneización final y Δt (segundos) es el período de tiempo durante el cual se deja enfriar el sistema.

$$U_s = \frac{4180 \cdot V_s}{\Delta t} \cdot \ln \left(\frac{T_{INI} - T_{AMB}}{T_{FIN} - T_{AMB}} \right) \quad (1)$$

Se realizaron dos ensayos de pérdidas térmicas, para corroborar la validez de los resultados obtenidos.

Ensayos de eficiencia diaria

El procedimiento de ensayo según la norma consiste en homogeneizar el agua al inicio del ensayo recirculando el agua hasta que la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del sistema sea menor a 1°C durante 15 minutos. Luego se detiene la circulación de agua y se deja el sistema expuesto a luz solar. Al ponerse el sol, se repite el mismo procedimiento que al inicio. El inicio y el final del ensayo, se realizan antes y después de la salida del sol respectivamente. Luego de cada día de ensayo, se debe realizar la extracción del agua del sistema a un caudal de 600 l/h, hasta que la temperatura de salida del agua sea igual o con una diferencia menor a 1°C a la temperatura de entrada del agua.

En este trabajo, la determinación del calor útil ganado por el sistema y en consecuencia, la eficiencia diaria, se determinó sin extracción. Al momento de elaborar este trabajo, las instalaciones e infraestructura para realizar los ensayos con extracción estaban en pleno ajuste. Actualmente, ya se efectúan.

Se realizaron ocho ensayos bajo distintas condiciones ambientales según exige la norma. Las mismas están definidas por la diferencia $T_{AMB}-T_{INI}$. Los distintos ensayos realizados se describen en la sección de resultados.

El calor útil Q (MJ) que brindó el sistema en cada ensayo fue calculado mediante la ecuación (2), donde V_s es el volumen del sistema, C_p es la capacidad calorífica del agua (4180 J/Kg K) y ΔT es la diferencia entre la temperatura del sistema al inicio (T_{INI}) y al final (T_{FIN}) del ensayo.

$$Q = V_s \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot 0,000001 \quad (2)$$

La eficiencia diaria del sistema fue calculada con la ecuación (3), siendo H (MJ), la irradiación diaria sobre el plano del colector y A (m²), es el área de apertura del sistema.

$$E = \frac{Q}{H \cdot A} \quad (3)$$

De acuerdo con la norma, el área de apertura del colector, es “el área a través de la cual entra la radiación sin concentrar al colector”. El área de apertura está dada por la ecuación (4), donde L es el largo expuesto del tubo, D es el diámetro externo de cada tubo evacuado y N es el número de tubos del sistema.

$$A = L \cdot \frac{D}{2} \cdot N \quad (4)$$

De esta manera, el área de apertura del sistema de tubos evacuados es de 1,914 m², constituida por 20 tubos de 58 mm de diámetro externo y 1650 mm de longitud expuesta.

RESULTADOS

Los volúmenes determinados fueron los siguientes:

Volumen de agua en cada tubo lleno: **2,7 Litros**
 Volumen de agua extraído por vaciado del sistema: **193 Litros**

Cuando se vacía el sistema, cada tubo pierde un volumen de 45 mL o 0,045 L, debido a la inclinación de 35° en la que se encuentran.

Dado que el sistema posee 20 tubos, el volumen total del sistema asciende a

$$V = 2,655 \cdot 20 + 193 = 246 \text{ Litros.}$$

En las figuras 3 y 4, se muestra la evolución temporal de las variables medidas durante el *ensayo de pérdidas térmicas* realizado entre el día 14/07/2009 y 15/07/2009.

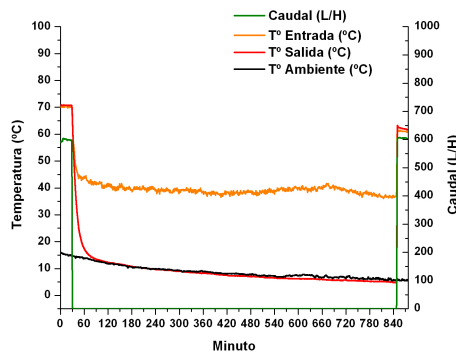


Figura 3. Evolución temporal de la temperatura de entrada (TE), salida (TS), ambiente (Tamb) y caudal. PHI: período de homogeneización inicial. PHF: período de homogeneización final.

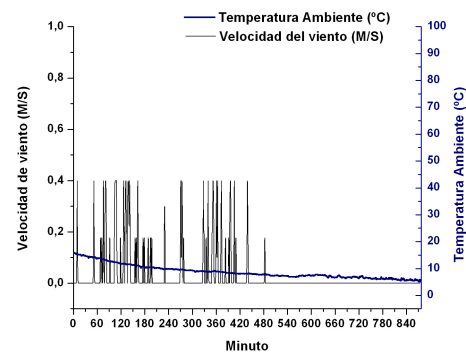


Figura 4. Evolución temporal de la temperatura ambiente y velocidad de viento. PHI: período de homogeneización inicial. PHF: período de homogeneización final.

En la tabla 1 se muestran las variables medidas durante el ensayo y los valores calculados con los datos obtenidos.

Parámetro	Valor
Fecha inicio del ensayo	7/07/2009
Hora inicio del ensayo	18:00 (Minuto 0)
Fecha fin del ensayo	8/07/2009
Hora fin del ensayo	08:35 (Minuto 876)
Tiempo de mezcla inicial (Minutos)	30
Tiempo de mezcla final (Minutos)	27
Tiempo de enfriamiento (Minutos)	819
Caudal de mezcla inicial (L/h)	590,18 ± 0,77
Caudal de mezcla final (L/h)	590,48 ± 1,95
T_{ini} (°C)	70,57 ± 0,17
T_{fin} (°C)	61,60 ± 0,31
T_{amb} (°C)	8,83 ± 2,51
ΔT (seg)	49140
Volumen total (Litros)	246
U (W/°K)	3,12

Tabla 1. Valores de variables pertinentes al ensayo: mediciones y cálculos.

La tabla 2 muestra la temperatura del agua del sistema esperada luego de una noche de enfriamiento de 12 horas, en función de la temperatura del sistema al inicio del enfriamiento (T_{INI}) y la temperatura ambiente promedio durante el mismo (T_{AMB}). Esta tabla está en concordancia con las que exige el informe de la ISO 9459-2, inciso A.3.1. Los valores de la misma se calculan utilizando el coeficiente de pérdidas determinado.

\overline{T}_{INI} (°C)	\overline{T}_{AMB} (°C)					
	0	5	10	15	20	25
80	70,18	70,79	71,41	72,02	72,63	73,25
70	61,41	62,02	62,63	63,25	63,86	64,48
60	52,63	53,25	53,86	54,48	55,09	55,70
50	43,86	44,48	45,09	45,70	46,32	46,93
40	35,09	35,70	36,32	36,93	37,54	38,16
30	26,32	26,93	27,54	28,16	28,77	29,39

Tabla 2. Temperatura esperada del sistema luego de 12 horas de enfriamiento nocturno, en función de la temperatura inicial y la temperatura ambiente.

En las figuras 5 y 6, a modo de ejemplo, se muestra la evolución temporal de las variables medidas durante un *ensayo de eficiencia diaria* realizado el día 14/07/2009. El resto de las curvas no se muestra por razones de espacio.

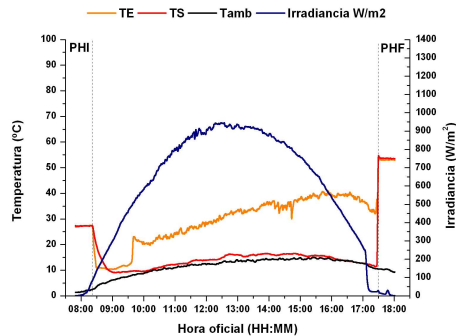


Figura 5. Evolución temporal de la temperatura de entrada (TE), salida (TS), ambiente (T_{amb}) e irradiancia solar. PHI: período de homogeneización inicial. PHF: período de homogeneización final.

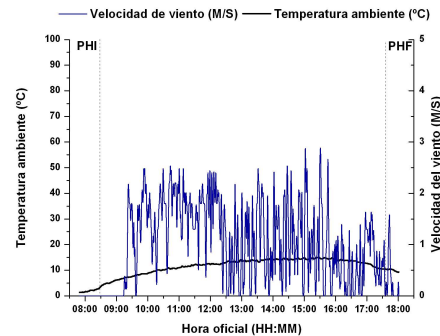


Figura 6. Evolución temporal de la temperatura ambiente y velocidad de viento. PHI: período de homogeneización inicial. PHF: período de homogeneización final.

En la tabla 3 se muestran las variables medidas durante el ensayo mencionado y los valores calculados con los datos obtenidos.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Fecha inicio del ensayo	14/07/2009
Hora inicio del ensayo	07:48
Fecha fin del ensayo	14/07/2009
Hora fin del ensayo	18:01
Tiempo de mezcla inicial (Minutos)	35
Tiempo de mezcla final (Minutos)	34
Caudal de mezcla inicial (L/h)	615,43 ± 2,58
Caudal de mezcla final (L/h)	615,34 ± 3,96
Tini (°C)	27,27 ± 0,13
Tfin (°C)	53,37 ± 0,18
Tamb (°C)	11,78 ± 2,93
ΔT (seg)	32760
Volumen total (Litros)	246
Area (m ²)	1,91
H (MJ/m ²)	21,23
E (%)	66,04

Tabla 3. Variables medidas y calculadas con los datos obtenidos del ensayo de eficiencia diaria.

Se realizaron 8 ensayos en total , cuyas características se describen en la tabla 4.

Ensayo	H (MJ/m ²)	HxA (MJ)	Tamb (°C)	Tini (°C)	Tfinal (°C)	Tamb-Tini (°K)	Q (MJ)
14-Jul	21,23	40,64	11,78	27,27	53,37	-15,49	26,84
28-Jul	16,84	32,22	9,84	18,61	41,02	-8,77	23,04
06-Ago	24,84	47,55	12,06	23,29	54,63	-11,23	32,23
12-Ago	22,93	43,88	18,71	14,95	46,75	3,76	32,69
13-Ago	11,01	21,08	16,54	21,81	35,53	-5,27	14,10
14-Ago	17,35	33,21	22,90	32,11	52,33	-9,21	20,79
25-Ago	24,57	47,02	21,96	18,14	52,92	3,82	35,76
26-Ago	22,00	42,11	24,92	24,82	54,30	0,10	30,31

Tabla 4. Ensayos de eficiencia diaria realizados para la determinación de la curva del sistema.

La norma ISO establece que con los datos obtenidos, se debe realizar una regresión por cuadrados mínimos que brinde una ecuación de la forma expresada por la ecuación (5):

$$Q = a_1 \cdot H + a_2 \cdot (T_{AMB} - T_{INI}) + a_3 \quad (5)$$

De esta manera, con los datos medidos se obtuvo la correlación expresada en la ecuación (6):

$$Q = 1,417(\pm 0,082) \cdot H + 0,206(\pm 0,054) \cdot (T_{AMB} - T_{INI}) - 0,408(\pm 1,780) \text{ con } R^2 = 0,981 \quad (6)$$

Además, la norma exige que en el mismo gráfico se deben representar los datos medidos y los datos estimados con la ecuación para distintos valores de Tamb-Tini. Estos valores son: -10K, 0K, 10K y 20K. En la figura 7 se presentan los gráficos exigidos por la misma según el inciso A.2.4.

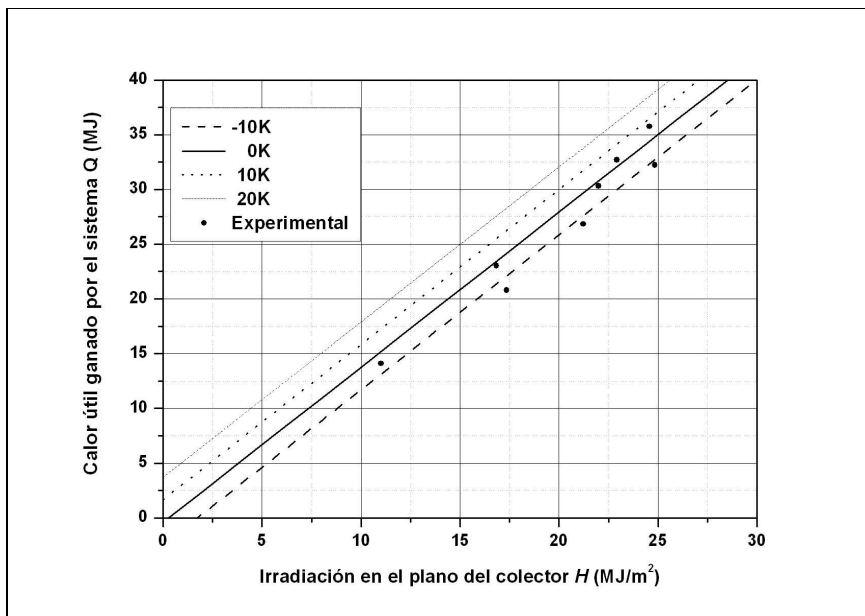


Figura 7. Grafico de puntos experimentales y estimados por la ecuacion (6) para distintas situaciones de $(T_{AMB}-T_{INI})$.

CONCLUSIONES

Se ha ensayado el primer equipo solar térmico integrado bajo procedimiento de la norma ISO 9459-2 adaptados. Los ensayos fueron realizados sin extracción de agua del sistema debido a que el banco no estaba originalmente diseñado para evaluar sistemas integrados. Actualmente, el banco de ensayos ya tiene la infraestructura necesaria para certificar tanto colectores como equipos integrados. La versatilidad del equipamiento permite que el mismo sea una herramienta importante para apoyar el desarrollo del mercado local y permitir el avance de nuevas investigaciones a través de la evaluación de prototipos solares térmicos de diversas escalas y tecnologías. Las facilidades del banco de ensayos se encuentran abiertas tanto al mercado como a la comunidad científica y educativa.

En cuanto al sistema evaluado, las ecuaciones obtenidas, presentan una buena correlación y los valores de los coeficientes de la curva de calor útil se encuentran en el rango de los que presentan equipos similares de otras marcas que se comercializan a nivel internacional. Resta evaluar el comportamiento del sistema realizando extracciones de agua del mismo bajo las distintas condiciones de Tamb-Tini, para poder obtener la expresión definitiva de la curva de calor útil y poder así realizar la evaluación del sistema estrictamente bajo procedimientos ISO. Sin embargo, no se esperan grandes cambios en los valores de los coeficientes obtenidos.

REFERENCIAS

- [1] Norma ISO 9459-2
- [2] Norma UNE-EN-12976-2
- [3] Garreta F., Navntoft C., Marusic J., 2007. "Banco de ensayos y certificación de colectores solares planos: ajustes para la puesta a punto de su funcionamiento", Actas ASADES 2007, San Luis, Argentina.
- [4] Navntoft C., Garreta F., Salinas R., Moure E., 2008. "Evaluación de eficiencia de colectores solares planos y sistemas térmicos integrados: construcción de banco de ensayos bajo normas". Actas ASADES 2008, Mendoza, Argentina.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional

ABSTRACT

In the middle of 2006, the Laboratory of Studies on Solar Energy of the Regional Faculty of Buenos Aires, National Technological University, began with activities oriented towards research, innovation and development in solar thermal energy. The project "Testing facilities and certification of solar collectors", recently concluded, and synthesized the spirit and the goals of the group in the solar energy field. With the aim to establish comparative parameters between the different technologies, the project was expanded to certify solar thermal integrated systems (collector + tank). In this new stage, the first results of the evaluation of an integral evacuated tubes system has been obtained. Since there is no local regulation in this subject, the ISO standards were used as reference, particularly ISO 9459-2 "Solar heating – Domestic water heating systems – Part 2: Outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems".

Keywords: Solar thermal energy, solar collectors, tests, certification