

## **ENSAYOS NORMALIZADOS DE COLECTORES SOLARES Y SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA EN ARGENTINA: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN, AVANCES Y DIFICULTADES**

**Javier H. Garnica, Juan M. Lucchini, Rodolfo G. Stoll y Jorge R. Barral**  
Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería - Departamento de Mecánica  
Ruta Nac. 36 Km. 601, 5800 Río Cuarto  
Tel./Fax: (0358) 4676246 - e-mail: jgarnica@ing.unrc.edu.ar

**RESUMEN:** Se analiza en este trabajo el estado en que se encuentra la utilización de normativas y estándares para ensayar sistemas de calentamiento de agua mediante energía solar y un componente principal de los mismos: el colector solar plano. Se analiza la situación de algunos países Iberoamericanos y Argentina. El objetivo central fue realizar un diagnóstico de la situación para fijar un punto de partida que permita plantear para Argentina un sistema organizativo que administre la certificación y homologación de equipos para garantizar cualidades mínimas de calidad. Del análisis de las normativas más utilizadas, se propone la utilización de normas para nuestro país. De la experiencia recogida por el Grupo de Energía Solar de la UNRC en la interacción con los fabricantes locales y en función a los resultados obtenidos en varios ensayos realizados, se proponen acciones a desarrollar en investigaciones futuras y actividades educativas y de entrenamiento.

**Palabras clave:** Calentamiento de agua, Colectores solares, Ensayos, normalización, Iberoamérica.

### **INTRODUCCIÓN**

Si bien el mercado mundial de sistemas de calentamiento de agua mediante energía solar se ha expandido significativamente en los últimos 20 años, esta expansión no se ha visto reflejada exitosamente en Argentina. Más allá de distintos factores que ocasionan esta situación (gubernamentales, tecnológicos, educativos, etc.), que es de esperar sean sobrellevados lo antes posible, es necesario que los distintos actores que se dedican a este tipo de aplicaciones (fabricantes, distribuidores, profesionales, investigadores, etc.) estén preparados lo mejor posible para dar respuesta a una demanda creciente de equipos e instalaciones. Uno de los factores fundamentales para lograr un desarrollo firme de estas aplicaciones es que los equipos que se ofrezcan en el mercado sean confiables. Dicha confiabilidad es obtenible mediante la realización de ensayos normalizados que permitan establecer en que grado un equipo reúne ciertas cualidades. Es muy importante la venta de equipos certificados.

Hay muchos ensayos a realizar a colectores y sistemas completos, algunos de los cuales pueden ser determinantes (choque térmico, materiales defectuosos, daño por granizo, etc.), pero los ensayos de comportamiento térmico son los que primero surgen como necesarios, ante la duda central que asalta tanto a un fabricante como a un potencial usuario: ¿cuán bien calienta el agua este equipo? Pregunta ésta que ha dado lugar a malas interpretaciones, falta de comprensión de conceptos, extrapolación de metodologías de otras áreas, etc. Es por lo tanto necesario dejar en claro para estos ensayos térmicos qué se debe medir, qué significan y cómo se interpretan los resultados de las mediciones y los datos procesados.

Los ensayos deben ser uniformes y con resultados comparables. En distintos estudios de equipos solares térmicos los investigadores, tecnólogos y fabricantes realizan sus análisis y definen parámetros para interpretar sus resultados; muchas veces uno de ellos suele ser alguna "eficiencia" ó "rendimiento térmico", que no todos la definen de la misma manera. Las definiciones se prestan a distintas interpretaciones y muchas veces no son comparables, midiéndose distintas variables en cada caso, y siendo un caso típico el uso de eficiencias o rendimientos de todo tipo: instantáneos, diarios, diurnos, medios, etc. Este tipo de mediciones y ensayos arrojan resultados que no son traducibles en forma comercial ni son comparables. Los equipos se pueden analizar internamente, analíticamente, desarmándolos, realizando balances térmicos, análisis de pérdidas, y hasta realizar simulaciones, pero no siempre es práctico ni se pueden establecer patrones de trabajo. El equipo, colector o sistema completo, debe tratarse dentro de lo posible como "caja negra" en el estudio de su comportamiento térmico, como si estuviera funcionando en su prestación habitual, evaluando sus variables de entrada y de salida. (ASHRAE, 2003)

Desde los años 70 a la fecha se han desarrollado estándares y normas en distintos países y en organismos internacionales donde dos tipos de ensayos térmicos que son los más tradicionales o más necesarios: ensayo de colectores de placa plana y ensayo de sistemas de calentamiento completos. El primero de éstos obedece a uno de los elementos más conocidos, el colector de placa plana, que se considera en estado estacionario mientras se ensaya (Duffie y Beckman, 2006). El ensayo de sistemas completos es necesario cuando no es posible separar el elemento de absorción de energía con el de almacenamiento, como en un sistema termosifónico. En el desarrollo de este tipo de energía renovable, distintos países latinoamericanos han realizado avances en los últimos años para tener sus propias normas, o adaptar algunas internacionales. Después de 1995 termina la International Organization for Standardization la elaboración de una serie de normas en estas áreas que han tenido una amplia aceptación y son recomendadas (Morrison y Wood, 1995), aunque no mundialmente aceptadas.

Se presentan en este trabajo los fundamentos elementales de cada uno de estos ensayos mencionados y la forma de realizarlos para dejar en claro qué resultados arroja cada uno de ellos y cómo se les debe interpretar.

Se muestran los avances realizados por el Grupo de Energía Solar (GES) de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) en la realización de estos ensayos y sus experiencias recogidas de la interacción con los fabricantes y distribuidores de estos colectores y sistemas de calentamiento. Se hacen finalmente algunas sugerencias sobre las líneas de trabajo a accionar para obtener resultados que beneficien al desarrollo de la energía solar térmica para calentamiento de agua en Argentina.

### ENSAYOS DE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS DE PLACA PLANA

Este fue uno de los primeros ensayos desarrollados cuando se vio la necesidad de medir cuan bien funcionaban los equipos que se habían comenzado a comercializar después de la crisis del petróleo: colectores con una superficie plana absorbente, por donde circula agua (u otro fluido caloportador, incluso aire) y que está en una caja aislada y cubierto por un sistema de cubiertas transparentes. Una de los primeros estándares que se oficializó fue la norma ASHRAE 93-77, hoy en una versión más actualizada, del cual se derivan la mayoría de los ensayos que hoy se realizan, entre ellos el previsto en la norma IRAM 210002. Se aplica al colector que tiene muy baja inercia térmica (poco líquido circulando dentro de él) por lo cual se le puede considerar en estado estacionario. Por lo tanto no es aplicable a aquellos equipos que integran el volumen de almacenamiento con el absorbente (Colectores con acumulación integrada o "Integral Collector Storage Systems", ICS).

Este ensayo computa la eficiencia instantánea que es la razón entre el calor útil que está entregando el colector y la radiación solar que está recibiendo en su plano de absorción mientras circula por él un caudal constante de fluido que recomienda el fabricante. Dicho valor de eficiencia se calcula con la ecuación 1, que se muestra a continuación,

$$\eta_i = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{A_c G_T} \quad (1)$$

donde todos los términos que allí figuran son datos conocidos o se miden durante el ensayo. De un desarrollo teórico, dicha ecuación se puede expresar en función de ciertos factores que permiten graficar una recta si se acomodan convenientemente de manera tal que la resta entre la temperatura de entrada del colector menos la temperatura ambiente dividida por la radiación global incidente puede considerarse la variable independiente de dicha recta. Así, se tiene que:

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_T} = F_R (\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G_T} \quad (2)$$

Con la ecuación (2) y datos medidos se representa en la Figura 1 el comportamiento de dos colectores planos distintos ensayados por GES en su laboratorio, bajo la norma ASHRAE. Las mediciones que dan origen a estas curvas se deben realizar en las horas cercanas al mediodía solar (desde las 10:00 a las 14:00 aproximadamente).

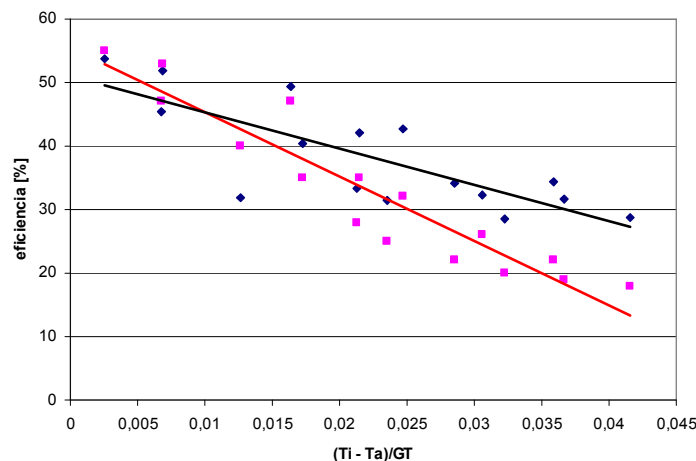


Figura 1. Curvas de eficiencia instantánea de dos colectores solares planos distintos

Las líneas rectas se determinan a partir de cada nube de puntos que corresponde a cada colector. Estas líneas se obtienen por el método de los mínimos cuadrados y caracteriza el comportamiento de cada colector. Otras normas se han desarrollado, la cuales del análisis realizado por Klein et al. (2007) responden al mismo principio, algunas de ellas con el agregado de un término cuadrático, lo cual redundaría en un término más para la ecuación de la recta (ecuación 2), realizándose prácticamente las mismas mediciones. De estas normas, las de más interés para nuestro país por su relación con otros países, pueden ser la ISO 9806-1 (norma internacional) y la EN 12975-2 (norma europea).

En la gran mayoría de los casos de calentamiento de agua en Argentina en la actualidad, el ensayo de colector solo no es de mucha necesidad ya que los sistemas que prevalecen son los funcionan termosifónicamente. La utilización de esta norma sí es importante cuando se piensa en el diseño de sistemas activos (los que poseen bomba y termostato), ya que los términos  $F_R(\tau\alpha)$  y  $-F_R U_L$  son utilizados por el método de cálculo f-chart para sistemas activos con tanque aislado que no necesariamente tiene que estar sobreelevado a los colectores (Duffie y Beckman, 2006).

## ENSAYOS DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO COMPLETOS

En los sistemas termosifónicos no es posible separar los componentes (tanque y colector) y analizarlos por separado, ya que no funcionan estacionariamente y su caudal va variando durante el día dependiendo mucho de la radiación solar que reciba el sistema y en menor medida de otros parámetros. Si esto fuera posible los ensayos serían mucho más simples (como los de los sistemas activos), pero aunque se han hecho intentos por lograr este cometido (Burch et al., 2007), los errores que se cometen pueden ser considerables y no se ha podido encontrar solución general para la correlación de caudales termosifónicos, salto de presión y de temperatura, que serían necesarios para ensayar el colector por separado. De la misma manera, tampoco es posible en los casos de los colectores con acumulación integrada, dado que por la gran masa que estos tienen (inercia térmica), funcionan permanentemente en estado transitorio, incluso con influencia de lo sucedido en días anteriores.

La norma más recomendada para este tipo de sistemas es la ISO 9459-2 (Carvalho y Naron, 2000). La situación en este caso es más compleja, ya que no se puede realizar un ensayo de corto tiempo y es necesario realizar una serie de mediciones durante varios días y con distintas condiciones de radiación para obtener una ecuación que represente el funcionamiento del sistema cubriendo un amplio rango de posibilidades. Se logra esto vinculando a todas las mediciones con regresiones lineales que permiten representar la posibilidad de provisión de energía calórica útil del sistema mediante una única ecuación (ecuación 3), y también mediante una única ecuación el incremento de temperatura que puede experimentar el agua almacenada (ecuación 4).  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ , y  $b_3$  son los coeficientes obtenidos por las regresiones lineales.

$$Q = a_1 H + a_2 (t_{a(day)} - t_{main}) + a_3 \quad (3)$$

$$t_{d(max)} - t_{main} = b_1 H + b_2 (t_{a(day)} - t_{main}) + b_3 \quad (4)$$

Para la determinación de las ecuaciones 3 y 4 se necesitan al menos 6 series de mediciones (1 por día), en las cuales se deja calentar libremente el sistema desde 6 horas antes del mediodía solar, mientras se mide toda la energía radiante recibida por la superficie del absorbedor,  $H$ , para luego después de 6 horas del mediodía solar realizar una descarga de al menos 3 volúmenes de la capacidad del tanque a un caudal dado mientras se mide la temperatura de salida. En la Figura 2 se ven las mediciones realizadas en el Laboratorio del GES. Durante la ejecución de cada serie de mediciones se graban la radiación global incidente sobre el absorbedor del sistema, para calcular el valor total de energía arribada en el día,  $H$ , y la temperatura ambiente, para calcular el valor de la temperatura media durante las 12 horas de calentamiento,  $t_{a(day)}$ . Se debe utilizar tanto para la carga del sistema inicialmente como para la extracción final una temperatura de ingreso de agua fría constante,  $t_{main}$ .

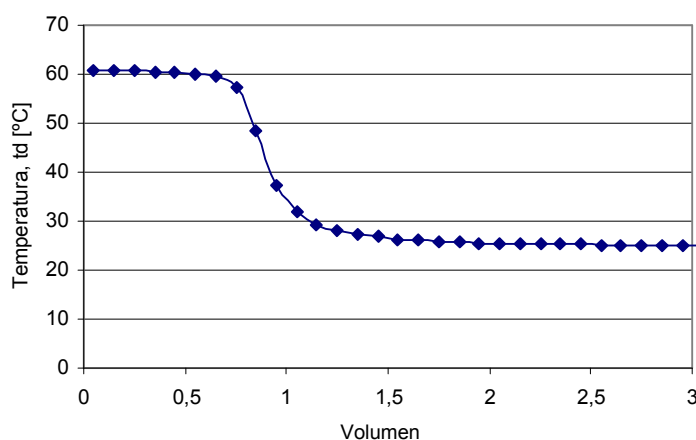


Figura 2. Curvas de medición de descarga para el calentamiento según ISO 9459-2

Estas mediciones de de calentamiento, se complementan con al menos dos grupos de mediciones más, denominadas “mixing” (mezclado) y de pérdidas nocturnas, para determinar un coeficiente de pérdida de calor del tanque de almacenamiento,  $U_s$ , siendo estos ensayos necesarios para la predicción del comportamiento (performance) del sistema a largo plazo (un año). La medición del mezclado verifica cuan bien se mantiene la estratificación en el tanque de almacenamiento cuando se le extrae agua y el ensayo de pérdidas nocturnas da una idea de cuan bien aislado se encuentra el tanque de almacenamiento. Si bien estas mediciones implican la disponibilidad de una importante infraestructura, bases de datos y personal entrenado, a la vez que demandan bastante tiempo por la exigencia de las condiciones climáticas (Joshi et al., 2005), el procesamiento de los datos arroja expresiones generalizadas (ecuaciones 3 y 4) que pueden ser aplicadas a distintas condiciones climáticas y de demanda para predecir el comportamiento energético del equipo ensayado y saber cuánta energía convencional se puede ahorrar. Ha de tenerse en cuenta que el ensayo no prevé originalmente la determinación de algún tipo de “eficiencia”.

## LA NORMALIZACIÓN DE ENSAYOS EN OTROS PAISES DE IBEROAMERICA Y EN ARGENTINA

Teniendo en cuenta la vinculación comercial que Argentina tiene con países latinoamericanos y la vinculación con Europa, se comentan aquí la situación en cuanto a normalización de algunos de ellos. De estos países, tienen ya normas aceptadas y en funcionamiento España, Brasil (Kratzenberg et al., 2002) y Chile (Cámara Chilena de la Construcción, 2007) han ya

adoptado para colectores y sistemas completos las normas europeas (EN 12975-2 y EN-12976-2), mientras que en México, se encuentra aprobada una norma para colectores planos (NORMEX, 2005) basada tanto en las normas europeas como en los estándares de ASHRAE y la ISO 9806-1, y fue aprobada recientemente una para sistemas (NMX-ES-004-NORMEX 2010).

En el caso de Argentina, luego de un fuerte impulso que tuviera en los años 80, cuando fuera aprobada la norma para ensayo de colectores de placa plana, IRAM 210002 (IRAM, 1983), la cual se encuentra vigente, no se alcanzó a concretar la norma para ensayo de sistemas completos, cuyo tratamiento no fue finalizado aunque se le asignara un número (IRAM 210004). Sería muy importante que se continuara avanzando en este sentido, para poder en conjunto con los países con quienes tenemos más posibilidades de comerciar se establezcan criterios similares para la certificación de equipos. Los fabricantes locales, que hoy están comercializando sus productos, no cuentan con normativas que se los homologuen o certifiquen.

Recientemente el Área Tecnológica Estratégica de Energías Renovables del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI, 2010), ha propuesto una medición de sistemas para la provisión de agua caliente solar haciendo extracciones diarias de 60 litros por equipo. Si bien esto permitiría obtener alguna idea de cómo calientan los equipos allí instalados, dichas mediciones no se pueden usar para comparar equipos entre sí, ni predecir funcionamiento a largo plazo en distintas condiciones climáticas, ya que el funcionamiento de un equipo está condicionado por la relación del área captadora con el volumen de almacenamiento (Hasan, 1997) y el comportamiento también depende de las condiciones climáticas a que sean sometidos (Tsilingiridis et al., 2004). De todas maneras, es de remarcar la importancia de las actividades del INTI, que ha convocado a todos los fabricantes de sistemas solares térmicos, quienes están ahora recibiendo observaciones y recomendaciones del Instituto respecto a los equipos que fabrican y venden. Asimismo, desde el INTI se impulsa un proyecto de ley para favorecer el desarrollo de la energía solar térmica. Otro emprendimiento se ha realizado en la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires, donde se han dado los primeros pasos para implementar los ensayos para sistemas completos bajo ISO 9459-2 (Navntoft et al., 2009).

### DESARROLLOS EN EL LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR DE LA UNRC

El GES depende de la Facultad de Ingeniería de la UNRC y trabaja en investigaciones sobre energía solar aplicada desde el año 1993 (<http://www.ing.unrc.edu.ar/grupos/ges/>). Habiendo trabajado extensivamente en distintos sistemas de calentamiento de agua (Fasulo et al., 2001) (Stoll et al., 2007). En su laboratorio comienza con ensayos de colectores y sistemas de calentamiento completos en 2005. Cuenta el laboratorio con 3 plataformas de hormigón equipadas sobre las que se montan alternativamente dos máquinas móviles que permiten realizar los ensayos mencionados anteriormente.

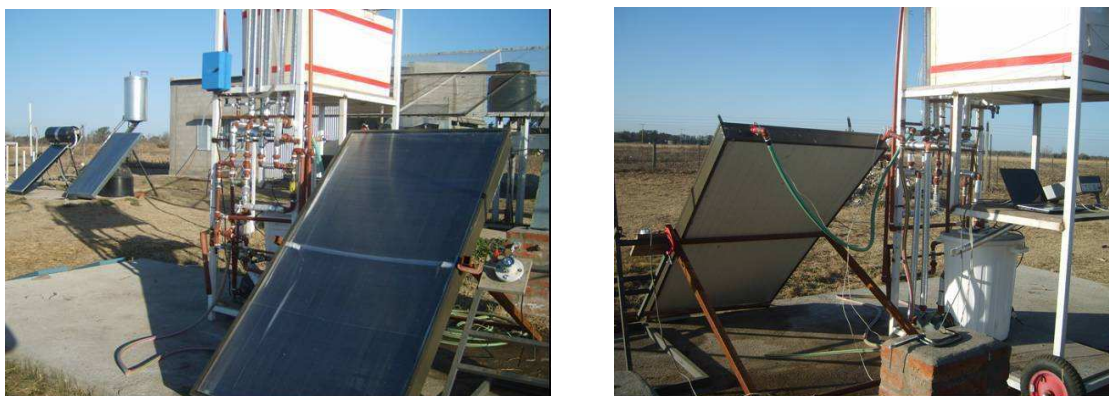


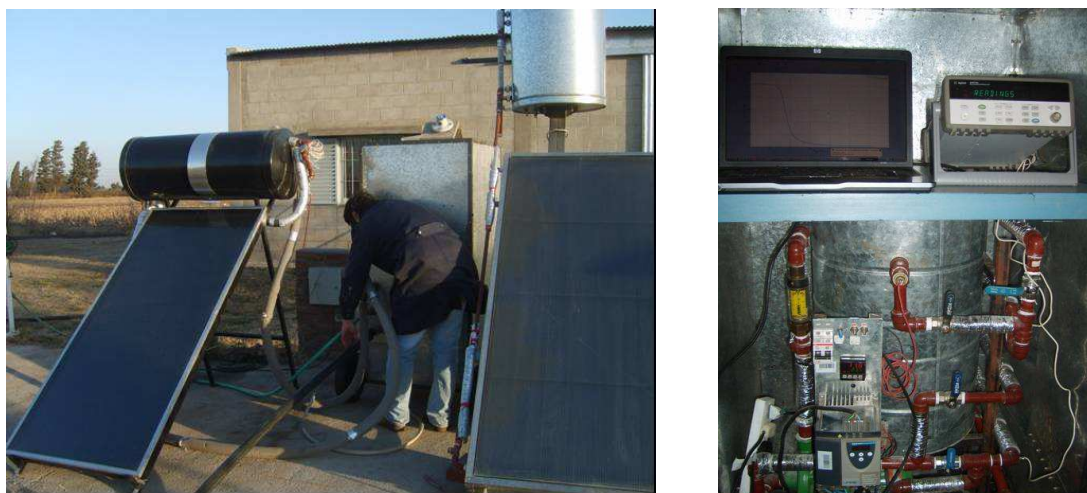
Figura 3. Máquina de ensayo manual en plataforma de medición realizando ensayo ANSI/ASHRAE 93-2003

Se han realizado en el GES ensayos de colectores solares de placa plana utilizando el estándar ANSI/ASHRAE 9-2003 y de sistemas completos (termosifónicos, colectores con acumulación integrada y sistema con tubos evacuados) de acuerdo a ISO 9459-2. Los equipos ensayados fueron nacionales y extranjeros. Para ello se diseñaron y construyeron dos máquinas móviles, capaces de operar continuamente a la intemperie, con sistemas de termocuplas, válvulas, bombas, caudalímetros y elementos calefactores para cumplir con todos los procedimientos experimentales detallados en las normativas. Ambas máquinas trabajan asociadas a sistemas adquirentes de datos con almacenamiento y descarga en tiempo real a computadora. Una de las máquinas, mayormente de operación manual (Figura 3) es adaptable para el uso en los dos tipos de ensayo, mientras que la otra, con un grado de automatismo más elevado se utiliza exclusivamente para los ensayos de sistemas completos (Figura 4).

En la Fig. 4 (a) se ven las conexiones externas de la máquina a un sistema termosifónico. En la Fig. 4 (b) se muestran los componentes internos de la máquina. Se ubican en la parte superior la computadora y el sistema de adquisición de datos, mientras que en la parte inferior se ubican el tanque de almacenamiento (buffer térmico), el caudalímetro (fondo amarillo), el sistema de válvulas manuales, el controlador de temperatura, el variador de velocidad de la bomba centrífuga, los triacs que alimentan eléctricamente los elementos resistivos calefactores y otros componentes.

Para el procesamiento de datos se utilizaron paquetes computacionales convencionales, habiéndose desarrollado programas propios para la adecuación de bases de datos climáticos y de radiación. La irradiación debe ser integrada sobre el plano del colector en cada intervalo de tiempo para la predicción a largo plazo que prevé la ISO 9459-2. El programa de predicción a largo plazo fue desarrollado por el GES siguiendo los lineamientos previstos en la norma (se muestran resultados en la

sección siguiente). Por otro lado, se realizó del laboratorio en el sistema UNILAB con vistas a obtener un reconocimiento de pares por las actividades que se realizan, tendiendo a lograr un grado de gestión de calidad competitivo.



(a) (b)  
Figura 4. Máquina de ensayo manual en plataforma de medición realizando ensayo ANSI/ASHRAE 93-2003

## INTERACCIÓN CON LOS FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Aunque no existe en el país una certificación obligatoria de los equipos, los fabricantes y distribuidores desean saber si los productos que fabrican o compran reúnen condiciones de calidad aceptables y comparables a lo que se hace en otros países, y además, a manera de propaganda, quieren mostrar la bondad de sus equipos a en función a mediciones realizadas por organismos reconocidos. Muchos de estos interesados no poseen una formación profesional ingenieril y aunque sí la tengan, las particularidades del uso del recurso solar y la complejidad de procedimientos y resultados que muestran las normas, no posibilitan una fácil interpretación. Es decir, les cuesta a estas personas interpretar los resultados que les dan y por lo tanto les resulta aún más difícil transmitir con claridad a sus clientes la medición de calidad que tiene el equipo que le desea vender.

Detectado este problema, se estudiaron las mejores maneras de explicar, como pueden interpretarse los resultados, sin llegar a perder rigurosidad científica. Como se dijo anteriormente, es tradicional la pregunta ¿cuál es el rendimiento de este equipo? A lo cual se supone que si le dicen el 80 % es bastante bueno y si le dicen el 20 % resulta bastante malo. Pero en realidad el problema es que las mediciones de colectores solos arrojan una eficiencia y unos valores válidos únicamente bajo ciertas condiciones climáticas y de hora del día. Es decir, el rendimiento (eficiencia) no será constante y para el mismo colector, dadas ciertas condiciones puede ser alto y con otras, bajo. Por otro lado, en el caso de sistemas completos, ni siquiera se plantea la determinación de un rendimiento o eficiencia.

Interpretación de la curva de eficiencia del colector solo: en la Fig. 1, se ve que las rectas decaen cuando aumenta la diferencia de temperaturas dividida por la irradiación incidente  $(T_i - T_a)/G_T$ . Como los ensayos se realizan cerca del mediodía solar, tanto irradiación como temperatura ambiente tienen poca variación, debiéndose casi todo el movimiento en el eje de abscisas a la variación de la temperatura de entrada del colector. Dicho de otra forma, cuando  $T_i$  aumenta, nos movemos hacia la derecha. Hacia la derecha la eficiencia decrece, y es así porque mientras mayor es la temperatura de entrada de agua al colector, éste está “más caliente” y por lo tanto transfiere más calor hacia el medio exterior, es decir, de la radiación que le llega, se aprovecha menos porque el propio colector pierde energía. ¿Por qué una recta cae más que la otra? Siguiendo el razonamiento, la recta que cae más representa un colector que está peor aislado y cuando se calienta está perdiendo más calor hacia el exterior. Por lo tanto si un fabricante ve que su colector tiene mucha pendiente, tendrá que revisar la existencia de puentes térmicos y ver la posibilidad de mejorar su aislación. Por lo tanto, no es muy sensato centrarse en el valor de la eficiencia en el corte con el eje vertical (donde funciona el colector en las primeras horas del día) porque podría darse que la pendiente sea muy pronunciada. En todo caso las dos cosas son importantes: un punto de corte alto con la línea vertical y una pendiente pequeña que indique bajas pérdidas cuando el colector está caliente. Con un poco más de matemática, observando la ecuación 2, se puede decir que un  $F_R$  alto indica que el colector convierte bien la energía radiante en calor útil y que un  $U_L$  alto implicará mayores pérdidas (multiplica la diferencia de temperaturas mencionada anteriormente).

La alta eficiencia en el corte con la línea vertical, lograda en varios colectores importados, puede ser compensada con equipos con un valor menor de eficiencia pero con un precio inferior, por lo cual siempre el factor costos tendrá que estar presente. Como ejemplo, un colector muy eficiente puede ser peor opción que dos colectores menos eficientes pero que proveen la misma cantidad de calor y cuestan menos (Kratzenberg et al., 2002). Por otro lado, varios de los ensayos realizados correspondían a colectores integrados en equipos termosifónicos, siendo una práctica normal utilizar esos mismos colectores para sistemas activos. Dado que en los sistemas activos el movimiento lo produce una bomba, se puede pensar en absorbedores con cañerías más finas y mejores uniones caño-chapa para aumentar la eficiencia. Es decir, el diseño de los colectores para sistemas activos no tiene que ser necesariamente el mismo que para sistemas termosifónicos.

**Interpretación de los resultados de los ensayos para sistemas completos:** Como se dijo antes, en estos casos no se trabaja el concepto de eficiencia, sino la predicción de funcionamiento a largo plazo. Como explicación del ensayo realizado y resultado palpable para el fabricante/distribuidor, mirando una de las curvas de descarga, Fig. 5 (a), se puede decir que el área sombreada (entre la línea de descarga y la  $t_{main}$ ) representa la energía que absorbió el agua durante todo el periodo de calentamiento; más área implica más energía. Se ve allí, para un equipo relativamente bueno como el de la Fig 5 (a), que en la descarga de un volumen, se mantiene bastante la temperatura cerca del máximo, operándose recién el inicio más abrupto pasado el 75 % de un volumen de tanque. En el ensayo de mezclado, que consiste en poner todo el tanque a más de 60 °C y descargarlo, Fig. 5 (b), se puede explicar que dicha medición determina cuan bien se comporta el equipo en el mantenimiento de la estratificación. En el equipo de la Fig. 5 (b), que está mal diseñado, se ve que al descargarle un volumen (es para lo que normalmente se diseña el consumo diario de un sistema termosifónico), la zona sombreada representaría energía no utilizada. A partir de este estudio pueden surgir las recomendaciones para mejorar los diseños ((Furbo et al., 2005).

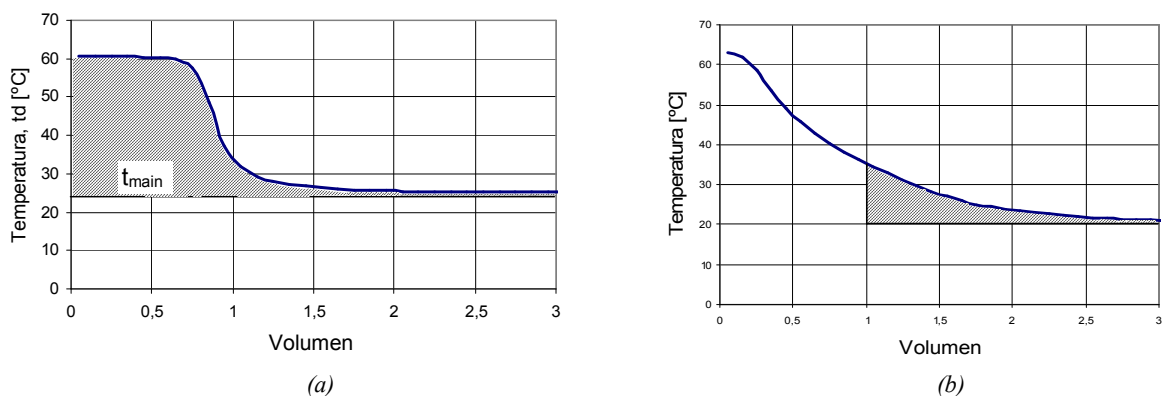


Figura 5. (a) curva de descarga luego de un proceso de calentamiento; (b) curva de mezclado de un equipo mal diseñado.

Otro problema detectado en la presentación de resultados prevista por la norma, que propone dar el ahorro en términos de MegaJoules. Desde el punto de vista técnico-científico es muy correcto, pero lo cierto es que el normal de la gente mide sus gastos energéticos en otras unidades (kW-hora, metros cúbicos, litros, calorías) y que aunque no sepan que significan, están ya acostumbrados. Más simplemente aún, el ahorro energético se podría medir en pesos, por lo cual se propone agregar a los resultados que se presenten, una tabla como la Tabla 1, en la cual además de algunas columnas previstas en la normativa, se agregan otras donde se mide el ahorro monetario en términos de gas natural domiciliario (GND), gas licuado (GL), gas licuado subsidiado (GLSub) y energía eléctrica (Electric.). Así, si se desea saber cuánto se ahorra en un año al dejar de usar un cierto tipo de energía, sólo se tendrá que mirar la sumatoria de la última fila de la tabla. En este caso, sistema termosifónico para dos personas, se ve la conveniencia de reemplazo de energías de gas licuado y energía eléctrica. De la misma tabla, se puede dar respuesta a la tan demandada eficiencia, tratándola en términos de toda la energía recolectada en un mes, dividida por toda la energía radiante recibida en el mismo mes. Como se ve, da valores del orden del 30 %, lo cual no implica que el equipo sea malo (todos andan en el mismo orden) sino que simplemente se está midiendo durante todos los días y horas, incluyendo días nublados, horarios matutinos y vespertinos con bajas temperaturas ambiente y viento. Lo importante es el ahorro monetario para lo cual se realiza la proyección a largo plazo, teniendo en cuenta que la recuperación de la inversión se realizará contabilizando cuantos años de ahorro son necesarios para que el equipo se pague a sí mismo.

mes	H	ta(day)	tmain	Q (MJ) por día	Q (MJ) por mes	ahorro mensual \$ GND	ahorro mensual \$ GL	ahorro mensual \$ GLSub	ahorro mensual \$ Electric.	Eficienc. Media
Enero	20,26	24,03	18,03	12,06	373,71	3,64	39,89	19,05	72,67	0,30
Febrero	19,99	22,39	16,39	11,94	334,21	3,26	35,67	17,03	64,99	0,30
Marzo	18,46	21,32	15,32	11,27	349,52	3,41	37,31	17,81	67,96	0,31
Abril	17,15	17,33	11,33	10,71	321,31	3,13	34,30	16,38	62,48	0,31
Mayo	15,07	12,43	6,43	9,81	304,12	2,97	32,46	15,50	59,13	0,33
Junio	14,32	12,02	6,02	9,49	284,66	2,78	30,39	14,51	55,35	0,33
Julio	13,91	10,41	4,41	9,31	288,58	2,81	30,80	14,71	56,11	0,33
Agosto	16,38	11,51	5,51	10,38	321,77	3,14	34,35	16,40	62,57	0,32
Septiembre	17,56	15,86	9,86	10,89	326,58	3,18	34,86	16,64	63,50	0,31
Octubre	18,51	19,86	13,86	11,30	350,24	3,42	37,39	17,85	68,10	0,31
Noviembre	19,22	22,01	16,01	11,60	348,11	3,39	37,16	17,74	67,69	0,30
Diciembre	18,97	23,21	17,21	11,50	356,35	3,47	38,04	18,16	69,29	0,30
Totales anuales →						38,60	422,61	201,78	769,84	

Tabla 1. Presentación de resultados de la ISO 9459-2 en términos de ahorro monetario y de Eficiencia Media Mensual

Otra duda que suelen tener tanto fabricantes como usuarios es durante cuantos días del año el sistema les va a cubrir sus necesidades de agua caliente. Asumiendo que siempre van a haber secuencias de días de poca radiación y relativamente fríos, se sabe de antemano que un refuerzo de energía convencional va a ser necesario, y sería de esperar que no sea tan frecuente la operación del mismo. Atendiendo a esta duda, el GES decidió presentar otro tipo de gráfico, no previsto en la norma, pero utilizando las mismas herramientas que provee la ISO 9459-2. Se muestra entonces en la Fig. 6 una representación de un sistema termosifónico ensayado en el laboratorio del GES con dicha norma, en el cual se muestra para una extracción de un volumen de un tanque cuantos días del año es cubierta una necesidad de 40 °C.

Otra confusión bastante común es la confusión de la fracción solar (mensual ó anual) y con la eficiencia. La fracción solar es simplemente la cantidad porcentual de la demanda que se puede cubrir con un equipo solar. Así, un equipo puede tener un colector poco eficiente, pero si tiene la suficiente área de captación y almacenamiento, puede tener mayor fracción solar (mensual o anual) que otro con un colector muy eficiente.

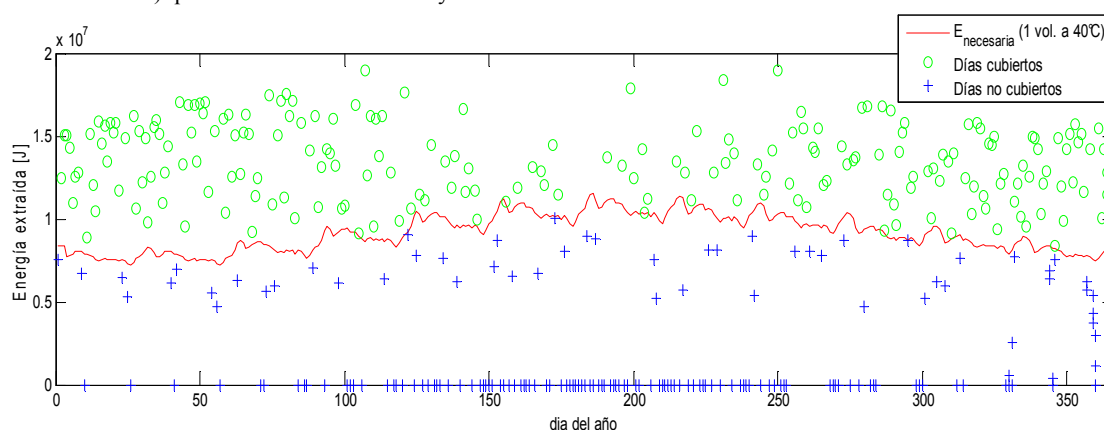


Figura 6. Proyección anual de un sistema termosifónico para una extracción de un volumen diario que supere 40 °C.

## CONCLUSIONES

En función a lo expuesto, se arriba a las siguientes conclusiones y sugerencias:

a) Aunque se deberá seguir investigando sobre nuevos desarrollos tecnológicos para mejorar los sistemas de calentamiento de agua, estas ya son tecnologías en marcha bien definidas, de utilidad cierta, y para su desarrollo y comercialización es necesario que se fabriquen equipos cuya confiabilidad debe ser medida con estándares probados y comparables.

b) Sería necesario que IRAM retome su actividad en este rubro para actualizar la presente norma de ensayo de colectores solares planos y elabore una norma para ensayo de sistemas de calentamiento solar completos. Debe tenerse en cuenta que si bien la homologación de equipos y colectores es importante para garantizar la comercialización de productos que reúnan características mínimas de calidad, el propio país no tiene que desarrollar normativas que sean una limitante para la producción nacional, por lo cual tomar una referencia externa para confeccionar nuestras propias normas es necesario, pero esto no implica necesariamente “adopción” de una norma, sino más vale “adaptación”.

c) Por la coincidencia de varios países con los que Argentina mantiene vínculos comerciales, sería conveniente asimilar nuestros estándares para que sean compatibles con los que estos países usan. Vinculado también esto al punto anterior b), sería conveniente que se realicen adaptaciones (como se hizo en el área fotovoltaica) más que crear normas nuevas.

d) Es necesario una tarea educativa con toda la comunidad solar, fabricantes, distribuidores, y en particular de los investigadores vinculados a instituciones educativas, de manera tal de despejar las confusiones y tomar conocimiento de todas las normas nacionales e internacionales que se mencionan en este artículo.

e) Ante la inexistencia de normas nacionales para la evaluación de sistemas de calentamiento de agua completos, se recomienda la utilización de la norma ISO 9459-2, que ha sido adoptada por varios países afines a Argentina, lo cual no implica que en un futuro se discutan adaptaciones de la misma que la adecuen a las posibilidades reales de nuestro país. En el caso de los ensayos de colectores solares planos, tiene vigencia la norma IRAM 210002, que se corresponde con la ASHRAE 93-2003. Aunque probablemente se la deba actualizar, es recomendable continuar con una normativa de la misma orientación, habida cuenta las desarrolladas por otros países latinoamericanos y por la facilidad que los parámetros determinados por dicho ensayo provee para el cálculo de sistemas activos mediante el método el f-chart.

f) Como varias instituciones públicas están trabajando en el estudio de normativas para la energía solar térmica, y dado lo limitado de los recursos económicos, sería conveniente que no se dispersen los esfuerzos, concentrando y descentralizando actividades, según convenga, para poner en marcha un sistema de certificación de equipos solares y un sistema de formación y entrenamiento de todos los actores, preparando al país para adoptar estos recursos basados en energías limpias. Se debe trabajar para que los sistemas lleguen a la mayor cantidad posible de usuarios residenciales, apostando a la fabricación local.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y ha sido subsidiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNRC y la Facultad de Ingeniería de la UNRC.

## NOMENCLATURA

$Q_u$  = Calor útil provisto por el colector [kJ]

$\dot{m}$  = flujo másico [kg/s]

$c_p$  = calor específico a presión constante [kJ/(kg · °C)]  
 $T_o$  = temperatura de salida del líquido del colector [°C]  
 $T_i$  = temperatura de entrada del líquido al colector [°C]  
 $\eta_i$  = eficiencia instantánea del colector [adimensional]  
 $A_c$  = área efectiva del colector [m<sup>2</sup>]  
 $G_T$  = rad. global incidente sobre el colector [W/m<sup>2</sup>]  
 $F_R$  = Factor de remoción de calor del colector [adim.]  
 $U_L$  = coef. global de pérdidas del colector [W/(°C · m<sup>2</sup>)]

$F_R(\tau\alpha)$  = ordenada al origen de la recta de eficiencia instantánea [adimensional]  
 $-F_R U_L$  = pendiente de la recta de eficiencia instantánea [W/m<sup>2</sup> °C]  
 $H$  = irradiación media diaria por metro cuadrado [MJ/m<sup>2</sup>]  
 $t_{main}$  = temperatura entrada de agua fría [°C]  
 $t_{a(day)}$  = temperatura promedio durante el calentamiento [°C]  
 $U_s$  = coef. de pérdidas del almacenador [W/(°C · m<sup>2</sup>)]

## REFERENCIAS

- ASHRAE (2003) Standard ANSI/ASHRAE 93-2003, Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA.
- Burch J., Shoukas G., Brandemuhl M. y M. Krarti (2007) Test-and-rate methods for thermosiphon solar water heaters. Proceedings of 36th ASES Annual Conference, Cleveland, Ohio.
- Cámara Chilena de la Construcción (2007) Sistemas Solares Térmicos, Manual de diseño para el calentamiento de agua, ISBN: 978-956-7911-09-7. Santiago de Chile, Chile.
- Carvalho, M.J. y Naron, D.J. (2000) Comparison of test methods for evaluation of thermal performance of preheat and solar-only factory made systems. Solar Energy Vol. 69, p. 145–156.
- Duffie J. A. y Beckman W. A (2006) Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc.
- Fasulo A., Follari J. y Barral J. (2001) Comparison between a simple solar collector accumulator and a conventional accumulator. Solar Energy, Vol. 71/6, pp. 389-401.
- Furbo S. y Shah L. J. (2005) How mixing during hot water draw-offs influence the thermal performance of small solar domestic hot water systems. En Proceedings of ISES 2005 Solar World Congress, American Solar Energy Society (Editores), Orlando, Florida, USA.
- Hasan A. (1997) Thermosiphon solar water heaters: effect of storage tank volume and configuration on efficiency. Energy Conversion and Management, Vol. 38, Nro. 9, pp. 847-854.
- INTI (2010) “La Plataforma Solar Térmica, ahora con mayor precisión” [en línea] Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Dirección URL: <<http://www.inti.gov.ar/e-renova/erSO/er16.php>> [consulta: 10 de agosto de 2010].
- IRAM (1983) Norma 210002 ,Colectores solares. Métodos de ensayo para determinar el rendimiento térmico. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires, Argentina.
- ISO (1995) International Standard 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. International Organization for Standardization, Suiza.
- Joshi S. V., Bokil R. S. y Nayak J. K. (2005) Test standards for thermosiphon-type solar domestic hot water system: review and experimental evaluation. Solar Energy, Vol. 78, pp. 781–798.
- Klein S.A., Reindl D. T. y Beermann J. (2007) Alternative methods for performance testing of solar thermal collectors. Proceedings of 36th ASES Annual Conference, Cleveland, Ohio.
- Kratzenberg M. Beyer H. y Colle S. (2002) Setup of a test facility for the characterization of thermal collectors according to the Euronorm at the Universidade Federal de Santa Catarina. Sun at the end of the World, Valparaíso, Chile.
- Morrison G. y Wood B. (1995) International standards for solar water heater performance evaluation, En Proceedings of ISES 1995 Solar World Congress, Harare, Zimbawe.
- Navntoft 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. En CD de comunicaciones XXXII Reunión de Trabajo de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente, Río Cuarto, Argentina.
- Stoll R. G., Garnica J. H., Barral J. R. y Fasulo A. J. (2007). Estudio del comportamiento de colectores con acumulación integrada de dos tanques con y sin descarga de agua caliente. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 11, pp. 3-53:3-60, 2007.
- Tsilingiridis G., Martinopoulos G. y Kyriakis N. (2004) Environmental performance of thermosiphonic domestic solar hot water systems under different climatic conditions: a case study for Greece. Global Nest: the International Journal, Vol. 6, No 3, pp 183-195.
- UNILAB [en línea] Sistema para el reconocimiento de competencias técnicas de laboratorios universitarios de calibración y ensayo. URL: < <http://www.unilab.org.ar> > [consulta: 2 de agosto 2010]

**ABSTRACT:** This work analyses the situation of the normalization and standards systems for testing flat plate collector and whole solar water heating systems. The situation of some Ibero-American countries close related to Argentina in this subject is commented. The main goal was to perform a diagnostic of the situation in order to set an initial point that allows studying an organized system for Argentina to administer the certification of products to guarantee minimum qualities for them. From the analysis of the most used standards and norms, some suggestions are made to our country. From the experience acquired by making tests in the laboratory of the Solar Energy Group of the National University of Río Cuarto, the work with local manufacturers and vendors, and taking in account the results of the tests, some actions are proposed to ease the understanding of the norms and to promote the educational and training activities.

**Keywords:** Solar water heating, flat plate solar collectors, testing, normalization, Ibero-American countries.