

BANCO DE ENSAYO DE AHORRO ENERGÉTICO DE TERMOTANQUES HÍBRIDOS

A. Lanson, E. Benítez, A. Roldán, R. Righini

GERSolar-INEDES, Universidad Nacional de Luján, Luján, Ruta 5 y Avda. Constitución, (6700) Luján,
Buenos Aires, ARGENTINA, E-mail: gersolar@yahoo.com.ar

RESUMEN: El agotamiento de las reservas de petróleo y gas trae, entre otras consecuencias, el incremento de los precios de los combustibles fósiles, y la necesidad de alcanzar un mayor ahorro energético sin perjudicar el nivel de desarrollo. Este escenario favorece la competitividad económica de los sistemas híbridos de calentamiento de agua sanitaria domiciliar, y en nuestro país ha comenzado la comercialización de termotanques híbridos (solar-eléctrico/ solar-gas). El GERSolar ha construido, en Luján, un banco de ensayo destinado a cuantificar el ahorro producido por algunos de ellos con respecto a sus equivalentes convencionales, y relacionarlo con la radiación solar incidente en el plano de sus colectores. Las mediciones permitieron evaluar el balance térmico de los sistemas. Esto permitirá predecir su desempeño en distintas zonas del país, mediante la cuantificación del potencial ahorro de energía convencional y su eventual impacto económico, en función del pronóstico del recurso solar disponible, utilizando series sintéticas.

PALABRAS CLAVE: energía solar, termotanque híbrido, ahorro energético

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años las reservas de combustibles fósiles han comenzado a decrecer a nivel mundial. La situación se ha analizado en particular desde los comienzos de la crisis del petróleo, en los años 70 (Commoner, 1978). La producción parece decaer definitivamente, por lo cual es razonable esperar un incremento de los precios del petróleo y gas (Saravia, 2006). Simultáneamente, el desarrollo económico y el crecimiento poblacional suma más consumidores a la matriz energética que es abastecida por estos recursos convencionales. A nivel nacional esta situación se repite en líneas generales: por un lado una decadencia en la producción de petróleo en pozos ya maduros y en yacimientos gasíferos, aunado a una falta de exploración que permita reemplazarlos en el corto plazo; y por el otro, un incremento sostenido en el consumo domiciliario e industrial, en particular de gas natural.

Si bien el gas natural puede ser reemplazado por gas importado, los precios a pagar son más altos, por lo que el estado debe optar entre subsidiar el consumo domiciliario o permitir incrementar el precio al consumidor final. Una alternativa interesante consiste en estimular el empleo de sistemas híbridos de baja complejidad con el objetivo de ahorrar energía convencional y tener mayor disponibilidad para uso industrial.

Para arribar a conclusiones que puedan ser extrapoladas del ámbito local al nacional, el presente trabajo propone evaluar el desempeño diario, mensual y anual de 3 sistemas híbridos solares de calentamiento de agua domiciliar de baja complejidad, compararlo con el consumo de un sistema convencional con iguales prestaciones y con el recurso solar incidente con el montaje y puesta en marcha de un tablero de medición y control. Este objetivo se apoya en la hipótesis de que los pronósticos arrojados por los modelos de sistemas de abastecimiento energético, que usan series temporales de radiación y temperatura, pueden ser cotejados con mediciones de parámetros como radiación, temperatura y consumo energético, de un sistema que se encuentra en estado operativo.

De esta manera podrá relacionarse el ahorro de los sistemas híbridos con la radiación solar incidente en su plano de colección y esto permitirá determinar los potenciales ahorros en sitios diferentes del que se usó para realizar este ensayo y, eventualmente, estimar la factibilidad económica de su empleo en diferentes zonas del país. El uso de modelos de evaluación de la radiación solar en base a datos de temperatura podrá usarse como herramienta auxiliar en sitios donde el recurso solar no haya sido convenientemente medido (Raichijk y Lanson, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Una evaluación de ahorro energético de sistemas híbridos que prescindiera de aproximaciones, requirió el ensayo de 5 termotanques, 3 híbridos y 2 estándar comerciales.

El primer equipo híbrido (S0) consta de un tanque exterior de 290 litros, con una camisa de intercambio de calor alimentada con un líquido caloportador de solución de propilenglicol que absorbe energía en un colector solar de parrilla de cobre. Esta camisa es a su vez recubierta por una gruesa capa de aislante mineral. El colector de 1,73m² de superficie colectora, cuenta con un vidrio solar, superficie de absorción selectiva y aislación de lana de vidrio. La fuente de energía convencional es una resistencia eléctrica de 2000W.

El segundo (S1), es un termotanque estandarizado a gas natural de interior y de pie de 160 litros.

El tercero (S2) es un prototipo de termotanque híbrido solar-gas natural, de pie, de interior, de 160 litros, combinado con un

colector solar de 40 tubos de vacío con *heat-pipe*, conectados a un intercambiador de calor alimentado por bombeo directo del agua de consumo desde el termotanque.

El cuarto (S3), es un termotanque de pie, de interior, prototipo híbrido eléctrico-solar, de 155 litros y con una resistencia de 1500W. Cuenta con una bomba que eleva el agua sanitaria hasta un intercambiador de calor conectado a 30 tubos de vacío con *heat-pipe*.

El último (S4) es un termotanque eléctrico estándar de pie, de 155 litros con una resistencia de 1500W.

Todos los termostatos que regulan la temperatura del agua de los termotanques fueron configurados a 50°C. Los cuatro termotanques de interior han sido instalados en el mismo recinto con el objetivo de asegurar que las pérdidas a través del cuerpo sean idénticas para todos ellos.

La figura 1 muestra los colectores solares para cada uno de los equipos híbridos.



Figura 1: Colectores solares correspondientes a los equipos S0 (izquierda) , S2 (centro) y S3 (derecha)

La construcción de un tablero de medición y control tiene múltiples objetivos:

- a) Extraer la misma cantidad de energía de todos los sistemas:
 - i. agua siempre a la misma temperatura. Para ello se instaló una válvula mezcladora que asegura que la temperatura de salida de los sistemas sea la misma. Se fijó esa temperatura en 42°.
 - ii. agua en iguales cantidades de todos los termotanques, adoptando un protocolo de extracción usado por ENARGÁS (NAG-313/09) que establece que las extracciones se realizan 5 veces por día (2 a la mañana, 1 al mediodía y 2 a la noche), sumando un total de 200 litros diarios para cada termotanque. Los horarios de extracción y la medición de los volúmenes extraídos son controlados por un PLC marca Siemens, que acciona las electroválvulas de extracción en horarios determinados por el protocolo, y asegura igualdad de volúmenes extraídos. Para asegurar que los volúmenes extraídos de los 5 termotanques fuesen idénticos se empleó un caudalímetro digital marca Signet conectados al PLC.
- b) Medir la temperatura de:
 - a. El agua en los termotanques.
 - b. El agua a la entrada al sistema.
 - c. El agua a la salida de la válvula mezcladora, La denominaremos temperatura de mezcla (TM)
 - d. El ambiente ambiente exterior
 - e. El ambiente del sitio de ubicación de los termotanques.

Para ello se usaron termocuplas tipo PT100 y las mediciones de temperatura del agua de salida de cada uno de los termos, el agua de red y el agua de salida (alrededor de 42°C) fueron registradas con un datalogger NOVUS Field Logger, de ocho canales analógicos y ocho canales digitales, con un intervalo de un minuto entre mediciones

- c) Medir la energía solar incidente en el plano de los colectores solares. Las mediciones se hicieron empleando un solarímetro CM3 de la firma Kipp&Zonen asociado a un adquisidor de datos Novus LogBoxAA que toma valores medios de radiación cada diez minutos. Los datos de radiación en el plano horizontal son integrados cada 10 minutos y recolectados por la estación de medición que GERSolar tiene ubicada a unos 3,5 km del lugar de realización del ensayo. Este adquisidor también registra la temperatura del ambiente exterior que es medida con un PT100 antes mencionado.
- d) Medir la energía eléctrica consumida por los dos sistemas híbridos solar-eléctrico y por el termotanque puramente eléctrico. Información registrada manualmente de vatímetros comerciales de la firma TBCin
- e) Medir el volumen de gas consumido por los sistemas híbrido solar-gas y el termotanque convencional de gas. Se utilizaron caudalímetros digitales marca Itrón provistos por ENARGAS

La figura 2 muestra un esquema del funcionamiento del tablero junto con la tabla 1 que muestra las magnitudes y los puntos de medición seleccionados para este ensayo. La figura 3 muestra el tablero de control.

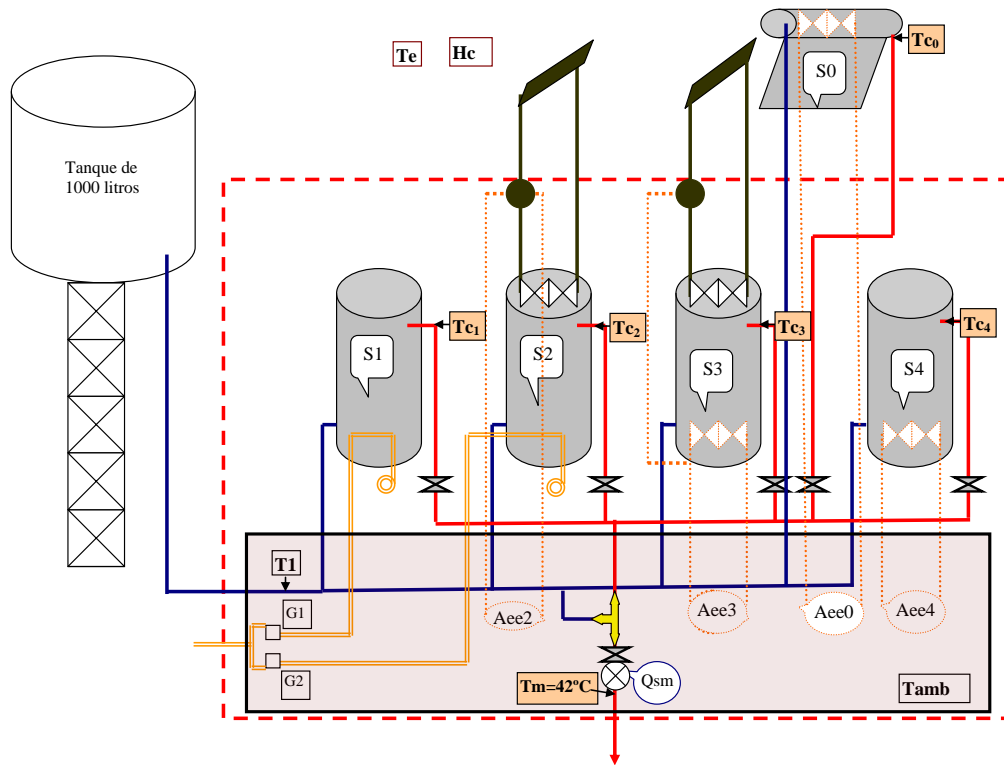


Figura 2: Esquema del tablero de control y medición instalados

<p>Sensores de Temperaturas Tamb= temperatura ambiente del recinto de los termotanques T1= temperatura de agua de entrada o red Tm= temperatura de mezcla, que debe ser 42°C Tc1= temperatura de salida de agua caliente del termotanque 1 Tc2= temperatura de salida de agua caliente del termotanque 2 Tc3= temperatura de salida de agua caliente del termotanque 3 Tc4= temperatura de salida de agua caliente del termotanque 4 Tc0= temperatura de salida de agua caliente del termotanque 0 (todos conectados al FieldLogger Novus)</p> <p>Estacion meteorológica de Gersolar Te: temp. Exterior de los colectores Hc: Radiación solar global incidente sobre el plano del colector (Conectados al LogBoxAA Novus)</p>	<p>Medidor de caudal de Gas G1: medidor de consumo de gas del termotanque 1 G2: medidor de consumo de gas del termotanque 2</p> <p>Medidor de Consumo de energía eléctrica Aee2: Vatímetro de la bomba del sistema 2 Aee3: Vatímetro de energía eléctrica del sistema 3 Aee4: Vatímetro de energía eléctrica del sistema 4 Aee0: Vatímetro de energía eléctrica del termotanque 5</p> <p>Caudalímetros de agua Qsm: caudalímetro de salida de mezcla (conectado al PLC)</p>
---	---

Tabla 1: Magnitudes de medición seleccionadas para este ensayo y puntos del circuito donde fueron colocados

Todos los datos registrados se volcaron en una planilla de cálculo para determinar los siguientes parámetros:

- Energía convencional consumida por cada sistema (lectura directa de los vatímetros en kWh)
- Energía calórica (E.E._{sx}) entregada por cada sistema durante las extracciones de agua caliente calculada como:

$$E.E._{sx} = \text{Volumen de agua extraído} \cdot C_p_{(\text{agua})} \cdot [\text{temperatura de mezcla} - \text{temperatura de red}]$$
 (ambas temperaturas registradas por el datalogger con una frecuencia de muestreo de una vez por minuto). $C_p_{(\text{agua})}$ es la capacidad calorífica del agua.
- Energía solar recibida por el plano inclinado de los colectores (en kWh)
- Energía convencional ahorrada por cada sistema híbrido calculada de la siguiente manera:

$$E.C.A._{sx} = \text{Energía consumida por sistema convencional} - \text{Energía consumida por sistema híbrido}$$
 Cada una de ellas calculadas por unidad de energía calórica entregada por cada sistema (E.E._{sx})

- El ahorro porcentual de energía convencional por unidad de energía térmica entregada por cada sistema híbrido se representa en la tabla por el signo %. Se calcula según la siguiente expresión:

$$E.C.A. = 100 * E.C.A. / \text{Energía consumida por sistema convencional por unidad de masa equivalente a un salto térmico constante.}$$

Los resultados se muestran en la tabla 2.



Figura 3: Fotografía del tablero de medición y control

RESULTADOS

El ensayo de todos los sistemas híbridos y convencionales ha comenzado hace poco. Una vez que los equipos entran en régimen se requiere un monitoreo diario para controlar posibles anomalías, tanto en la toma de datos como en el funcionamiento de algunos de los sistemas híbridos.

El termostanque (S3) híbrido solar-eléctrico evidenció dificultades para mantener controlada la presión interna de las cañerías. En efecto, aún con niveles relativamente bajos de radiación solar, hubo días en que la presión del agua en la cañería fue lo suficientemente elevada como para aumentar el diámetro de las mangueras de conexión y de los propios caños de polipropileno. Este hecho hizo necesario colocar una válvula de alivio de presión a la salida del termostanque para evitar roturas en la cañería y trampas de vapor a la salida de los colectores. Otro problema que evidenció este equipo fue un bajo caudal de salida del agua que va dirigida a la válvula mezcladora. En estos casos el tiempo asignado por PLC para mantener abierta la válvula de salida puede no ser suficiente para evacuar todo el caudal que el protocolo de extracción requiere (40 litros por extracción).

A la fecha de presentación de este artículo pudieron analizarse 60 días de mediciones de los sistemas S0 y S4. Los meses involucrados fueron abril, mayo, junio y julio, aunque no se consideraron todos los días ya que, por fallencias en el funcionamiento de algunos equipos, no pudieron ser tenidos en cuenta. La tabla 2 muestra la cantidad de días analizados para cada mes y los consumos eléctricos tanto del termostanque tradicional como del híbrido solar-eléctrico S0.

	Desempeño S0						
	Cons.E.S0	Cons.E.S4	E.Ext.S0	E.Solar S0	No. De	E.A. S0	E.A. S0/S4
	kWh	kWh	kWh	kWh	días	kWh	%
Abril	5	48	34	54	6	43	90%
Mayo	21	88	44	45	8	68	77%
Junio	95	202	146	179	26	107	53%
Julio	69	132	94	107	16	62	47%
Acumulado							60%

Tabla 2: Se muestran el consumo eléctrico de S0 y S4, la energía extraída de S0, la energía solar recibida por el plano del colector y el ahorro total porcentual de S0 para cada mes y durante todo el periodo. Datos recolectados hasta el 19/07/2012.

Los datos acumulados sobre el desempeño del modelo S0 cotejados con el consumo del termostanque tradicional eléctrico S4, permiten comparar la energía consumida por ambos. La figura 4 muestra el consumo de S0 modelo y de S4 para cada uno de los días analizados. Puede verse, en general, que a un aumento de energía solar recibida por los colectores corresponde un menor consumo diario del sistema híbrido S0, mientras que el consumo eléctrico del sistema tradicional S4 se mantuvo aproximadamente constante durante todo el período bajo análisis.

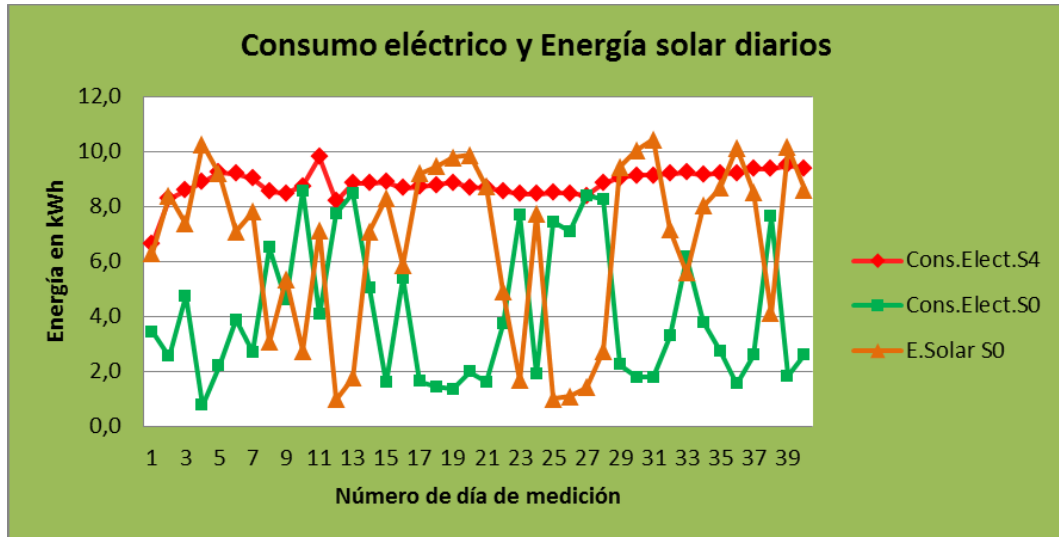


Figura 4: Consumo eléctrico diario de los modelos S0 y S4 con respecto a la energía solar recibida por S0

El porcentaje diario de ahorro en función de la energía solar diariamente colectada se muestra en la figura 5. Tal cual era esperado un aumento de la radiación solar incidente corresponde a un aumento del ahorro energético del sistema híbrido. La correlación exhibida entre ambas magnitudes presentó una linealidad apreciable. Este resultado preliminar es importante, ya que de persistir durante el resto del año, permitiría estimar el ahorro en función de la radiación solar para el equipamiento ensayado.

Si bien el ensayo recién comienza ya puede visualizarse el potencial de ahorro de un sistema híbrido de calentamiento de agua. En efecto, durante los meses analizados (meses de radiación solar global media mensual relativamente baja respecto a los valores existentes durante otros periodos del año) los ahorros exhibidos fueron importantes.

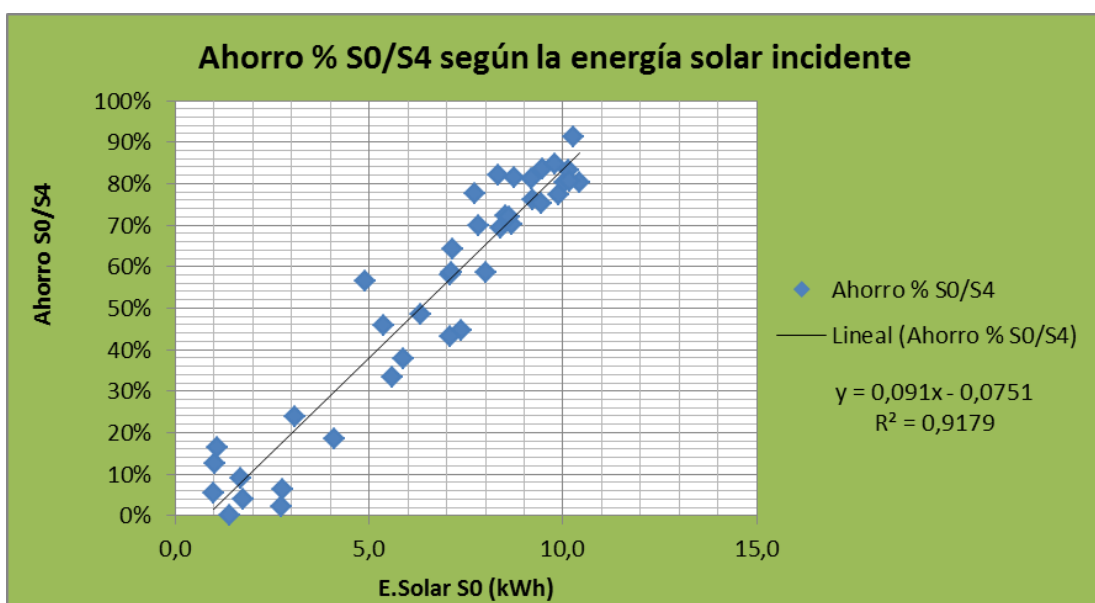


Figura 5: Ahorro del sistema S0 con respecto a S4 en función de la energía solar recibida por el colector de S0

CONCLUSIONES

El tablero de medición y control construido mostró ser una herramienta adecuada para evaluar el desempeño de los sistemas solares híbridos y medir el ahorro que su utilización genera comparado con el consumo de los sistemas convencionales.

Una primera evaluación realizada con algunos días de los meses de abril, mayo, junio y julio muestra que el uso de estos sistemas presupone un ahorro importante que promedia un 60%.

La medición sistemática de la radiación solar incidente en el plano de los colectores solares permitirá evaluar el desempeño de estos equipos en función de la misma, lo que permitirá cuantificar su eventual ahorro en el caso en que sean instalados en zonas distintas a las del ensayo. La correlación lineal exhibida hasta ahora entre la radiación solar incidente en el plano de los colectores y el porcentaje de ahorro energético, constituye en una herramienta de predicción importante que permitirá cuantificar el ahorro esperado del equipamiento estudiado cuando el mismo se instale en sitios cuyos niveles de radiación solar sean diferentes a los que presenta Luján.

Para ello será necesario contar con los valores medios mensuales de radiación solar global incidente en el plano horizontal a nivel de la superficie terrestre. La existencia de mapas de radiación solar de la república Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007) lo hará factible.

En el futuro, una vez que se reúnan suficientes datos y se sumen al análisis los sistemas híbridos solar-gas, la información recolectada permitirá evaluar ahorros potenciales de gas en distintas zonas del país en las que se usen estos equipos. Esa información podrá constituirse en una herramienta de planificación importante por parte del estado, aconsejando políticas de incentivo a la instalación de estos sistemas en las zonas que permitan su uso. En un contexto de aumento de la demanda de los combustibles fósiles y el agotamiento de las reservas (con la suba de precios que ello trae aparejado) contar con dicha información presupondrá una ventaja en la confección de políticas de manejo de los recursos energéticos.

El hecho de contar con un banco de ensayos operativos y con facilidades de medición y extracción que pueden acomodarse a distintos escenarios presupone una doble ventaja: por un lado posibilitará ensayar distintos modelos de extracción del agua para estudiar diferentes situaciones de demandas sobre los sistemas y la respuesta de los mismos en función de las temperaturas medidas. Por el otro facilitará el análisis de modificaciones en los parámetros de funcionamiento de los sistemas híbridos, permitiendo evaluar su impacto en el ahorro del consumo de energía.

BIBLIOGRAFÍA

Commoner B. (1978). *L'energía alternativa*. Editorial Riuniti. 168 pp.

Grossi Gallegos, H. y Righini, R. *Atlas de Radiación Solar de la República Argentina*. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina, mayo de 2007 (ISBN 978-987-9285-36-7).

Grossi Gallegos, H. *Notas sobre radiación solar*. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina, enero de 2004 (ISBN 987-9285-19-0)

Raichijk, C. y Lanson, A. (2011) Evaluación de distintos modelos de estimación de la radiación solar global basados en datos de temperatura. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (ISSN 0329-5184) vol. 15, pp. 11.09-11.14

Saravia L. (2006). *Energías de fuentes renovables: cada vez más cerca*, *Ciencia hoy*. Vol.16 N°92 58-64

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Sr. Salvador Gil por su participación en este proyecto como integrante de ENARGAS y de la UNSAM. Sus gestiones administrativas relacionadas con la obtención y manejo de los fondos que hicieron posible la construcción del tablero y el montaje de los equipos y su participación en el diseño experimental resultaron muy valiosas para poder realizar el trabajo. Hacemos extensivo el agradecimiento a ENARGAS y la UNSAM, quienes han contribuido desinteresadamente al financiamiento del proyecto. De igual forma debemos agradecer la participación generosa de las firmas Orbis y Rheem, quienes facilitaron el equipamiento que se está ensayando y participaron a través de su personal del montaje de los sistemas y su puesta a punto.

ABSTRACT

The depletion of petrol and gas reserves brings the increase in fossil fuel prices, which promotes the need of improving energy savings, between others consequences. This scenario favors the economic competitiveness of domestic hot water hybrid systems. Following this, our country begun the commercialization of water hybrid heaters (solar energy and electricity or gas) and the group for solar radiation studies has constructed, in Luján, a testing board designed to quantify the savings produced by some of them, respect to their conventional counterparts, and its correlation with the incident solar radiation on the collector surface. Measurements obtained enabled us to evaluate each system thermic balance. This study will allow the evaluation of their performance in different areas of the country, through the quantification of potential savings of conventional energy sources and its possible economic impact based on the synthetic series solar resource forecasting.

KEYWORDS: solar energy, hot hybrid systems, energy saving.