

## RESULTADOS DE ENSAYOS DE EQUIPOS SOLARES DOMÉSTICOS DE ACS EN EL INSTITUTO ANDALUZ DE ENERGÍAS RENOVABLES (IAER)

**Ruiz Hernández V., Lillo Bravo I., Silva Pérez M. A., Lillo Bravo J.A.**

Grupo de Termodinámica y Energías Renovables, Departamento de Ingeniería Energética y  
Mecánica de Fluidos, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla.

C/. Camino de los Descubrimientos, sn; 41092 SEVILLA

Tno. 954487232-33-34-36, fax. 954487233

E-mail: varuher@esi.us.es

### RESUMEN

En la sede de Sevilla del Instituto Andaluz de Energías Renovables se han ensayado equipos solares domésticos (compactos) para uso en el desarrollo del programa PROSOL. En este trabajo se presenta un análisis del método de medida, los resultados obtenidos con 37 equipos ensayados y las conclusiones que se extraen de ellos.

**PALABRAS CLAVE:** Energía Solar Térmica, ensayos, equipos solares domésticos

### ABSTRACT

This paper presents an analysis of the measurement methods, test results and conclusions of 37 compact solar water heaters tested at the facilities of the Andalusian Renewable Energy Institute at the Seville Engineering School in the frame of the PROSOL programme.

**KEYWORDS:** Thermal Solar Energy, domestic solar water heaters

## INTRODUCCIÓN

La industria solar térmica de baja temperatura no tiene en España el desarrollo que sería razonable dado el nivel de irradiación solar de nuestro país y las declaraciones de apoyo que esta tecnología recibe por parte de las instituciones y de la propia sociedad.

Una de las razones de este bajo nivel de desarrollo industrial es la dificultad que los fabricantes de equipos encuentran para ensayar sus dispositivos. Por indicación de SODEAN, el IAER implementó el año 1996 cuatro bancos de ensayo de equipos solares domésticos con el fin de agilizar los ensayos exigidos por el programa PROSOL para que las instalaciones solares térmicas de agua caliente pudieran acogerse a las subvenciones del programa. De común acuerdo con el INTA, el IAER, ha puesto en práctica el método de medida desarrollado en la norma europea correspondiente que ha sido necesario ajustar con la experiencia obtenida en el tiempo transcurrido y contrastándola con los técnicos del INTA que vienen realizando los mismos ensayos. La base de esta metodología proviene del documento "Procedimiento de ensayos de eficiencia energética de equipos solares domésticos" recogido en el informe N° PTS/RPT/4840/006/95 del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

## BANCOS DE ENSAYO

Como se ha indicado, los bancos de ensayos del IAER han sido diseñados y realizados con la finalidad de aplicar la norma europea al ensayo de equipos solares domésticos (compactos), se encuentran en la azotea del edificio de Talleres y Laboratorios de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla, ubicada en la Isla de la Cartuja, y se describen someramente a continuación:

1) Cuatro módulos de ensayo de componentes y sistemas solares térmicos. Cada módulo de ensayo está constituido por un circuito de preparación y suministro cuya función principal es disponer agua a una temperatura prefijada y abastecer con un caudal determinado al sistema a ensayar. También disponen de un intercambiador exterior de placas que permite realizar el acondicionamiento del acumulador de cada módulo a la temperatura necesaria.

2) Un sistema centralizado de acondicionamiento del fluido de trabajo constituido por una planta enfriadora de 13 kW con capacidad de actuar como bomba de calor, de un acumulador de 1000 litros de capacidad y de los elementos hidráulicos necesarios para realizar el acondicionamiento: bomba de circulación, válvulas de acción todo-nada controladas mediante software o manualmente, sondas de temperatura e intercambiadores de calor de placas.

3) Sensores de medida:

- a) Meteorológicos:
  - Dos piranómetros termoeléctricos Eppley y Kipp-Zonnen para medida de la radiación global.
  - Termorresistencia de platino (PT-100) para medir la temperatura ambiente.
  - Anemómetro, para medir la velocidad y dirección del viento.
- b) Instalados en cada módulo:

- Termorresistencias de platino de inmersión de 4 hilos apantallados, modelo DIN 1/10 que tienen una precisión de 0.08°C en el rango de temperaturas de 0 a 100°C.
- Caudalímetros con precisión mejor del 1% dentro del rango de trabajo.

4) Sistema de adquisición de datos con capacidad para monitorizar temperaturas, caudales, radiación solar, presiones, velocidad y dirección de viento así como para enviar las señales de control necesarias para realizar actuaciones sobre los componentes sometidos a ensayo.

## MÉTODO DE MEDIDA

El método de medida empleado sigue la pauta marcada en la ya repetida norma europea y se apoya en los argumentos termodinámicos de aplicación:

### Análisis termodinámico del ensayo

Aplicación del Primer Principio para un sistema abierto:

$$\dot{U} = \dot{Q} + \dot{W} + h_e \cdot \dot{m}_e - h_s \cdot \dot{m}_s$$

Donde:

$\dot{U}$  es la variación con el tiempo de la energía interna del sistema.

$\dot{Q}$  es el calor aportado al sistema. Se compone básicamente de dos términos, irradiación solar que es positivo y las pérdidas térmicas, menor que cero.

$\dot{W}$  es el trabajo aportado al sistema.

$h_e$  y  $h_s$  son las entalpías específicas por unidad de masa, de los flujos de entrada y salida.

$\dot{m}_e$  y  $\dot{m}_s$  son las velocidades máxicas de los flujos de entrada y salida.

El sistema está constituido por una única entrada y una única salida, y al ser despreciables las variaciones de masa producidas dentro del mismo, el flujo a la entrada, y a la salida, es el mismo.

Se aplica el primer principio al equipo ensayado, para un periodo de tiempo de un día. También se aplica a la extracción posterior (descripción de los ensayos) y al conjunto de los dos periodos. Dado que la extracción debe finalizar cuando la temperatura de salida es igual a la inicial del equipo, la variación de la energía interna del equipo es nula con lo cual se llega a la siguiente expresión final:

$$\int I \cdot A \cdot d\tau + \int Q_p \cdot d\tau = \int \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_s - T_e) \cdot d\tau$$

La integración del primer término del primer miembro se realiza durante las horas de sol, el segundo miembro debe integrarse durante el periodo de extracción. El segundo término del primer miembro incluye, por tanto las pérdidas térmicas de todo el ensayo.

## DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### Ensayo de eficiencia global

Este ensayo consta de las siguientes fases:

- 0) Preacondicionamiento del equipo solar doméstico. Consiste en la homogeneización de la temperatura del agua del ESD a un valor  $T_f$  prefijado. La diferencia de temperaturas entre la temperatura media ambiente diurna  $T_{ad}$  y  $T_f$  ( $T_{ad}-T_f$ ) ha de estar comprendida entre  $5^\circ\text{C}$  y  $15^\circ\text{C}$ . Durante esta fase se introduce agua a la temperatura prefijada  $T_f$  hasta que la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida al sistema, sea inferior a  $1^\circ\text{C}$ .
- 1) Exposición a las condiciones ambientales.
- 2) Extracción, realizada seis horas después del mediodía solar. Dicha extracción se efectúa con un caudal de  $9 \pm 0.54$  l/min, y se da por finalizada cuando el volumen extraído es igual a tres veces el volumen de acumulación y la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida al sistema, es inferior a  $1^\circ\text{C}$ . La temperatura de entrada del agua se mantiene constante e igual a la temperatura  $T_f \pm 1^\circ\text{C}$  fijada durante la fase de preacondicionamiento.

Durante el ensayo se monitorizan los valores de radiación solar global sobre el plano de captación, temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, caudal de extracción y temperaturas de entrada y salida del sistema.

Ecuación característica.

Se pretende en primer lugar conocer la denominada *ecuación característica del sistema*. Para ello, se realiza un ajuste, utilizando el método de los mínimos cuadrados, para todos los días de ensayos válidos disponibles. Esta ecuación se supone viene representada por una recta, por lo que deben obtenerse dos parámetros  $a$  y  $b$ .

$$E = aH + b$$

Donde  $H$  es la irradiación global sobre el plano de captación expresada en  $\text{MJ}/\text{m}^2$ .  $E$  es la energía diaria acumulada en el ESD expresada en MJ. En la figura 1 se tienen los resultados obtenidos para los 37 equipos ensayados normalizados a la unidad de área de captación.

CURVA DE RENDIMIENTOS DE E.S.D.

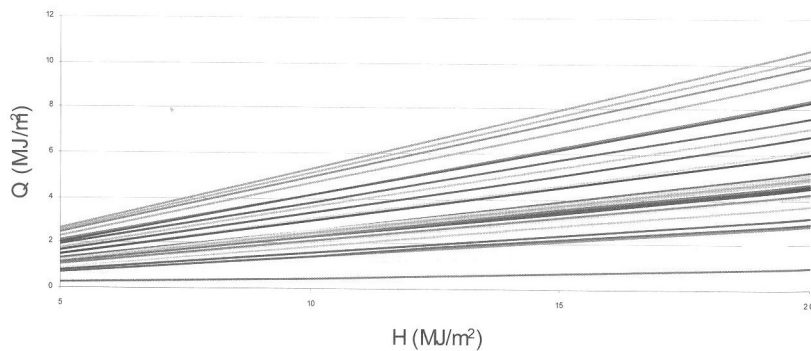


Fig. 1. Curvas características normalizadas

Coefficiente de pérdidas térmicas nocturnas.

Para la determinación de las pérdidas térmicas nocturnas, se utiliza el coeficiente  $U_s$  expresado en  $\text{W}/\text{K}$ , y definido como sigue:

$$U_s = \frac{Q_i - Q_f}{T_{in} - T_{am}} \cdot \frac{1}{\Delta t}$$

Donde:

$Q_i$  y  $Q_f$  son las energías almacenadas en el equipo al principio y final del ensayo.  $T_{in}$  y  $T_{am}$  son las temperaturas inicial del equipo y ambiente media durante el ensayo.  $\Delta t$  es la duración del ensayo.

En la figura 2 se tienen los resultados obtenidos en los 37 ensayos.

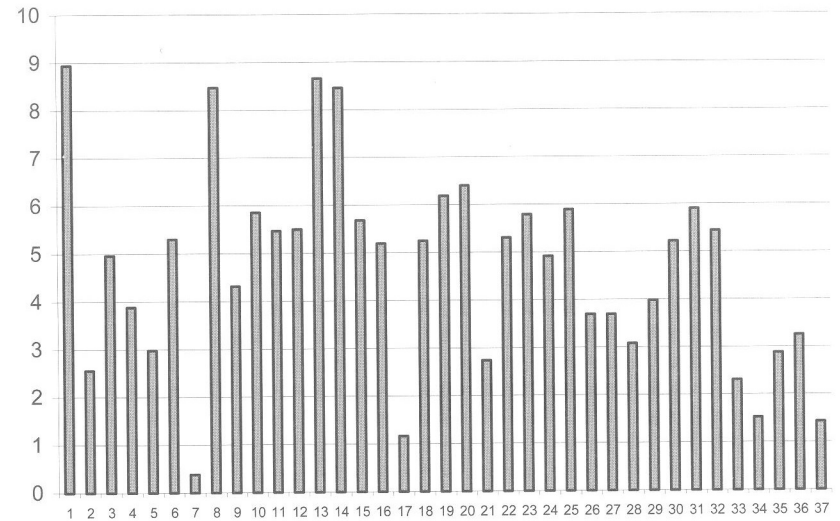


Fig. 2. Coeficientes de pérdidas térmicas

Rendimiento medio del equipo

El rendimiento medio diario del ESD se define como:

$$\eta = \frac{E}{H \cdot A}$$

Donde:

$E$  es la energía obtenida por el equipo.  
 $H$  es la irradiación solar sobre el plano de captación.  
 $A$  es el área de captación.

Para su determinación se promedian los valores de los distintos rendimientos diarios del ESD obtenidos durante los ensayos.

La figura 3 presenta los valores obtenidos en los ensayos realizados.

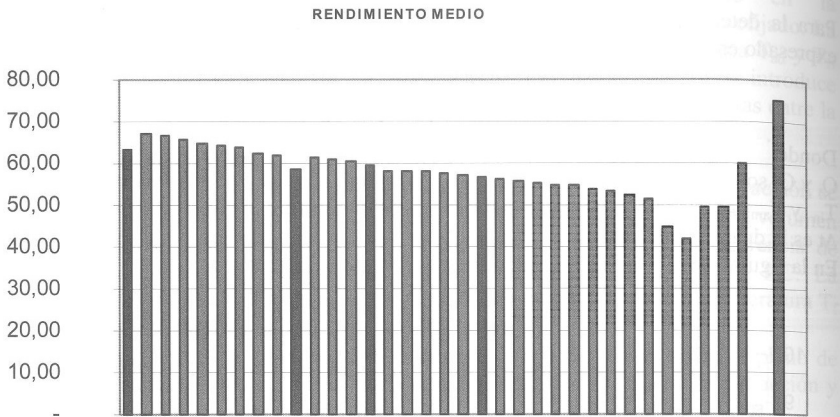


Fig. 3. Rendimientos medios

#### Cálculo de prestaciones energéticas anuales.

A partir de los valores comentados en los puntos anteriores y utilizando los valores climáticos del programa PROSOL obtenidos en la Cátedra de Termodinámica y Físicoquímica de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, se obtienen las prestaciones energéticas anuales del equipo.

No se incluye una tabla representativa de estos cálculos por falta de espacio.

#### CONCLUSIONES

Puede observarse que los valores de rendimiento obtenidos con los equipos ensayados están acotados entre 41,7 y 75,44 % estando la mayor parte de los valores entre el 50 y el 65 %.

Por lo que respecta a las pérdidas se ha encontrados valores muy dispersos, entre 0,38 y 8,94 W/K aunque solo 4 están por encima de 6 W/K. La mitad está por debajo de 5 W/K.

#### REFERENCIAS

"Procedimiento de ensayos de eficiencia energética de equipos solares domésticos" informe Nº PTS/RPT/4840/006/95 del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

EN 12976-1:2000 y EN 12976-2:2000 Sistemas solares térmicos y componentes-Sistemas prefabricados