

## MEDICIÓN EXPERIMENTAL DEL CAMPO DE TEMPERATURAS EN UN COLECTOR PLANO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

ZAYAS ROS, Jesús<sup>(1)</sup>; SECO-NICOLÁS, Manuel<sup>(1)</sup>

LUNA ABAD, Juan Pedro<sup>(2)</sup>; ALARCÓN GARCÍA, Mariano<sup>(1)</sup>

jesuszayasros@gmail.com

(1)Universidad de Murcia, Facultad de Química, Área de Máquinas y Motores Térmicos

(2)Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

### RESUMEN

Con objeto de conocer el modo de trabajo real de un colector plano de energía solar térmica se ha construido una instalación experimental sobre la base de un colector convencional, que ha permitido medir el campo de temperaturas sobre superficie captadora, así como otras variables adicionales (temperatura ambiente, del fluido caloportador, irradiancia, etc.), mediante la instalación de un elevado número de sondas en diferentes puntos del captador.

El sistema de adquisición de datos consta del conjunto de sondas, además de un datalogger, dotado de tres tarjetas multiplexoras, conectado a un PC, que permiten el registro y análisis de los datos obtenidos a lo largo del tiempo.

Los resultados muestran que la superficie captadora presenta temperaturas crecientes en el sentido del flujo del fluido primario (de abajo arriba) y que en cada sección transversal la temperatura es básicamente constante, lo que indica que su forma de trabajo no está optimizada.

**Palabras clave:** energía solar térmica, instalación experimental, campo de temperaturas.

## 1. Introducción

Desde hace más de cuatro décadas se lleva investigando de forma intensiva la instalación, rendimiento y rentabilidad de las instalaciones de Energías Renovables. En el año 1997 la Comisión Europea publicó el Libro Blanco de las Energías Renovables, en el que se sentaban las bases de diferentes programas para el fomento, implantación e impulsión de este tipo de instalaciones.

Un gran impulso a la energía solar térmica (EST) en España vino con la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE) en marzo de 2007, donde se indicaba la obligación de instalación de sistemas de aprovechamiento de energía solar térmica en todas las nuevas construcciones de viviendas y otros edificios del sector terciario.

Desde ese modo, el estudio de la EST se intensificó en gran medida en diferentes sectores como la industria, el comercio y el sector científico; con el objetivo de buscar una alternativa rentable, eficiente y limpia a las energías no renovables intensamente explotadas en el mundo actual, fuentes de energía efímeras. Es en este último punto citado donde queremos tomar parte en la investigación de la energía solar térmica mediante el estudio de un colector solar plano.

Actualmente se tiene consciencia de que la EST es una energía madura, fiable y en continua evolución [1], que es una forma de obtención de energía respetuosa con el medio ambiente, utilizando el sol, la radiación solar, como fuente inagotable de materia prima, y que las inversiones que se llevan a cabo en este tipo de instalaciones son amortizables sin la necesidad de subvenciones, ya que las ayudas públicas a las energías renovables se han visto gravemente reducidas en España en los últimos años.

No obstante hay margen de mejora, ya que el rendimiento medio de instalaciones típicas de esta tecnología está en el orden del 50-60% en cómputo anual [2], y por ello es de vital importancia ahondar en el conocimiento del aprovechamiento de la radiación solar y en el método de captación mediante colectores o captadores formados por tubos aleteados por los que circula un fluido caloportador.

El objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento real de la superficie de un colector solar plano convencional, para de esta forma ver las posibilidades de optimización que existen apoyándonos en medidas realizadas sobre el propio captador, con objeto de obtener la distribución de temperaturas a lo largo de su superficie operando en condiciones reales.

## 2. Descripción de la instalación experimental.

La instalación experimental es, en esencia, una instalación convencional de energía solar térmica de baja temperatura, adaptada a las necesidades de la experimentación. Está sita en el Campus de Espinardo de la Universidad de Murcia (38N; 1W) y está constituida por:

- Dos colectores solares planos orientación Sur (azimut = 0°), con inclinación de 45°
- Un depósito de acumulación, horizontal, situado sobre el propio captador
- Bombas de circulación (caudal en el circuito primario de 1 L/min); señalar que en el circuito primario se ha anulado el efecto termosifón instalado en su lugar una bomba de circulación.
- Sistema de disipación de calor
- Equipamiento de medida

El colector solar, marca “Garol”, tiene unas dimensiones de 200 cm de largo y 100 cm de ancho, estando compuesto por 8 tubos con sus correspondientes aletas de 6 cm de longitud y 1 mm de espesor a cada lado de los mismos. La superficie captadora está “abrazada” al tubo, tal como muestra la Figura 1.



Figura 1. Superficie de captación abrazada a tubo

Teniendo en cuenta las dimensiones indicadas, llevamos a cabo una división de la superficie del colector solar plano en su longitud, diferenciando 4 secciones (Fig. 2). La 1ª sección se encuentra a 10 cm de la parte superior del colector, la 2ª se sitúa a 60 cm de la primera, del mismo modo que la 3ª

está a 60 cm de la 2ª, localizándose la 4ª y última a 60 cm de la 3ª sección y a 10 cm de la para inferior del colector. Sobre estas secciones se han instalado un total de 42 sondas de temperatura, como se observa en la Fig. 1. La mayor parte de ellas se encuentran en torno al tubo número 3, escogido por localizarse en un punto intermedio de la superficie del colector; el resto sirven de referencia y control. Además se instalaron sondas pegadas al propio tubo y a la carcasa. En el apdo. 3.2 se detalla un poco más la ubicación de las sondas.

La instalación de las distintas sondas de temperatura ha requerido una intervención sobre el colector, que se abrió “como un libro” para permitir el acceso a la superficie de captación. La figura 3 muestra la ubicación de los termopares sobre la superficie captadora.

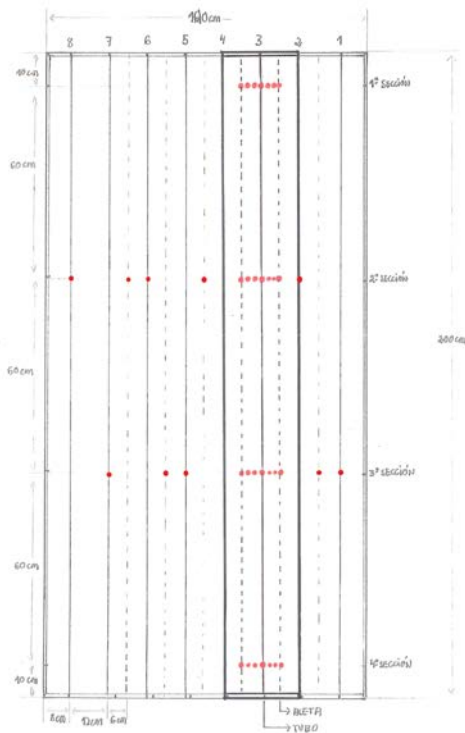


Figura 2: Croquis colector solar



Figura 3: Disposición de termopares sobre el colector

### 3. Sistema de medida

El equipamiento de medida está constituido por:

- Un equipo de monitorización y almacenamiento de datos (datalogger) Agilent 34970A [3], dispositivo electrónico que registra datos en tiempo real por medio de instrumentos y sensores propios y externos. El dispositivo es capaz de leer simultáneamente un conjunto de señales mediante una tarjeta multiplexora que secuencialmente recoge los datos en tiempo real (Fig. 4).

El datalogger aloja tres tarjetas multiplexoras, cada una con 22 canales, en las cuales se realizó la conexión de todas las sondas de medida. Teniendo en cuenta la nomenclatura asignada a cada termopar y elemento de medida, se estableció una relación con los distintos canales de las tres pastillas.

- Un sistema de medida de temperaturas en el captador, compuesto por un conjunto de termopares de fabricación propia debidamente calibrados para la medida de temperaturas en la superficie de captación.

- Dos sondas de temperatura Pt100 (termorresistencias) para medir la temperatura ambiente en tiempo real y otras dos para la medida de las temperaturas de entrada y salida del fluido primario del colector.
- Un piranómetro para medir la radiación en el momento de la toma de datos en tiempo real y poder contrastarla con las medidas de temperatura (Fig. 5).
- Un anemómetro
- Dos caudalímetros de primario y secundario conectados a las bombas del colector.



Figura 4: Datalogger



Figura 5: Piranómetro



Figura 6: Instalación completa

Para las sondas sobre la placa captadora se ha escogido el termopar tipo T de entre los existentes, debido a que sus características y rangos de medición, definidas por el par metálico soldado, son las más convenientes para esta clase de estudio. Este tipo de termopar está formado por un alambre de cobre, que actúa como conductor positivo, y una aleación de 60% de cobre y 40% de níquel (constantán), que actúa como elemento conductor negativo.

### 3.1. Calibración de termopares

Para llevar a cabo el estudio de temperaturas se ha instrumentalizado el colector solar con 46 sensores termométricos, de los cuales, 42 son termopares. Estas sondas de medida presentan una elevada dispersión de datos, es decir, tienen una exactitud de medida muy variable, por lo que debe llevarse a cabo un exhaustivo estudio de calibración de las sondas.

El proceso de calibración ha sido llevado a cabo para cada uno de los termopares, realizando un estudio térmico de cada uno de ellos, observando su comportamiento ante una evolución gradual de temperatura; se ha elegido un método de calibración por comparación con sondas de referencia [4, 5] (Fig. 7 y 8).

El resultado de este proceso de calibración ha sido la obtención de una serie de curvas para cada uno de los termopares a través de las cuales se puede corregir el error asociado a los resultados de cada medición, siempre menor a un grado Celsius.

Dicho proceso de calibración se ha fundamentado en el análisis de las incertidumbres existentes en tres factores principales: la zona de trabajo; la temperatura en la unión de la junta entre el punto de medida y las pastillas multiplexoras; y las sondas térmicas de calibración (dos termorresistencias de referencia tipo Pt100). Con los resultados de las mediciones de cada uno de los termopares comparados con las Pt100 de referencia se ha llevado a cabo el procedimiento de calibración y ajuste, acotando hasta niveles aceptables la incertidumbre de las mediciones.



Figura 7: Calibración de termopares



Figura 8: Método de calibración

### 3.2. Disposición de termopares sobre el colector solar

Teniendo en cuenta esta información, se llevó a cabo la instalación, numeración y calibración de los 42 termopares situados en diferentes puntos del colector solar térmico. La disposición de los mismos es la siguiente (Fig. 2 y 3):

- 7 termopares en cada sección escogida, colocándose 1 de ellos encima del tubo número 3 y dos de ellos en los extremos de las aletas de este tubo. Los 4 restantes se sitúan dos a dos sobre las aletas de este tubo donde se lleva a cabo el estudio. De esta forma teniendo 4 secciones colocamos 28 termopares en la zona de estudio de cada sección.
- Debajo de tubo número 3 se ha dispuesto un termopar debajo de este en cada sección, situando de esta forma 4 termopares.
- Se han establecido dos secciones más, denominadas secciones testigo, donde se miden las temperaturas en puntos escogidos fuera de la zona principal de estudio del tubo número 3.
- Cada sección testigo tiene 5 termopares localizados en diferentes puntos escogidos para poder disponer de más datos del colector fuera de la zona de estudio principal.

Los termopares fabricados se etiquetaron durante el proceso de fabricación y calibración para utilizar su nomenclatura de referencia durante la instalación de los mismos en el colector solar y durante todo el tiempo de estudio.

Para poder implantar las sondas sobre la superficie de captación, como ya se ha dicho, hubo que abrir la carcasa del colector solar para poder acceder a la placa captadora y tubos. Cada uno de los termopares fue adherido a la superficie del colector solar con adhesivo-cinta de aluminio; posteriormente a cada uno de estos adhesivos se le aplicó una capa de imprimación con pintura negra, manteniendo la línea de la superficie del colector solar. Una vez localizados todos los termopares sobre la superficie, se procedió a la instalación de la junta fría de los mismos en las tarjetas multiplexoras del datalogger.

La posibilidad de levantar la cubierta de vidrio del captador permite igualmente la obtención de termografías de la superficie captadora.

De esta forma se llevó a cabo un registro y estudio de la evolución de temperaturas a lo largo del tiempo. Los datos recogidos en formato digital se organizaron en hojas de datos de Excel para poder obtener gráficos reales y visibilizar el estudio realizado.

## 4. Resultados

### 4.1. Perfil de temperaturas tubo-aleta

La figura 9 recoge el perfil de las temperaturas en la sección 2 del colector (en la mitad superior) a distintas horas del día (tubo central y tres más a derecha e izquierda de este).

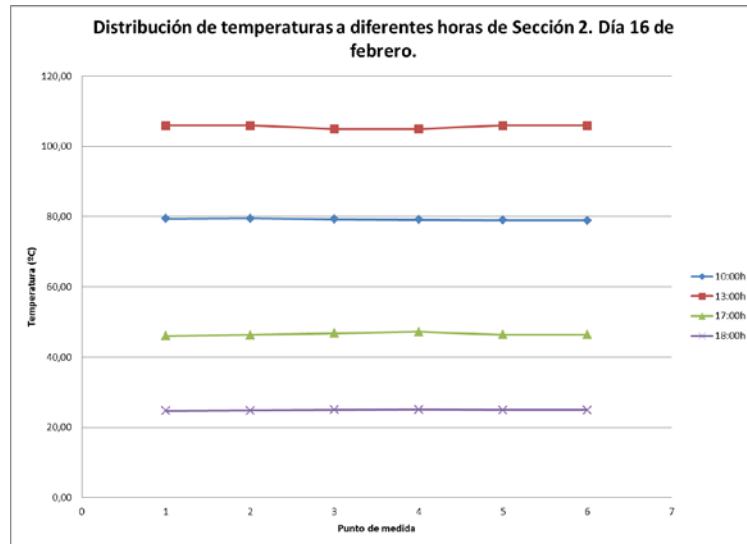
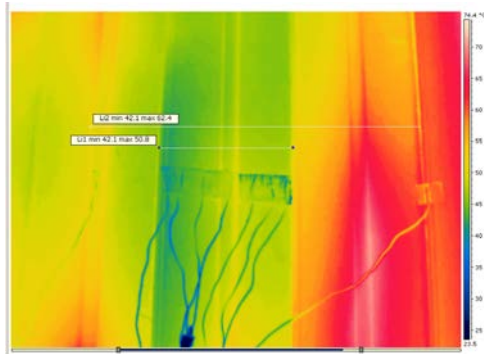


Figura 9. Perfil de las temperaturas en la sección 2 del colector.  $T_{amb} = 19^{\circ}\text{C}$  (10 h),  $22^{\circ}\text{C}$  (13 h),  $19,6^{\circ}\text{C}$  (17 h) y  $17,9^{\circ}\text{C}$  (18 h)

El hecho más llamativo es que en dicha sección, lo que es extensivo a las demás (apdo. 4.2), la temperatura de la chapa que forma la superficie colectora está prácticamente a la misma temperatura, o en otras palabras, que la aleta se comporta de forma isoterma. Si la aleta estuviera sometida únicamente a convección esto indicaría una eficiencia unidad, que pese a corresponder a una aleta ideal, para materiales con una conductividad finita lo que indica es que la aleta no funcionaría bien (para este tipo de aletas el óptimo es del orden de 0,6). Este resultado deja a las claras la necesidad de estudiar la aleta radiativa para comprender el funcionamiento de esta en el colector y proceder a su optimización [6, 7].



Las termografías realizadas sobre la superficie de captación (fig. 10), si bien se han realizado en distintas condiciones de trabajo del colector, al requerir la apertura de la cubierta de vidrio, aportan una información análoga a la obtenida por las sondas: las superficie de captación trabaja de forma isoterma para una altura determinada (nótese que en la gráfica inferior, aunque parece haber una variación importante de temperaturas, en realidad es de menos de  $1^{\circ}\text{C}$ ).

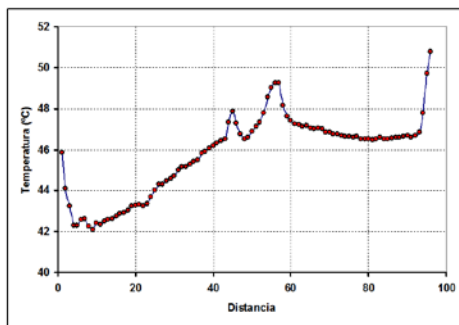


Figura 10. Termografías de superficie de captación en sección 2.

#### 4.2. Campo de temperaturas en el colector solar

La figura 11 muestra las temperaturas en las cuatro secciones de la superficie de captación; las siete temperaturas corresponden al tubo central y tres más a derecha e izquierda de este a una hora determinada.

Los resultados inciden en los anteriormente expuestos, observando que en sentido horizontal la variación de temperaturas es pequeña. Se aprecia, en cambio, que la temperatura en el colector aumenta con la altura a la que está situada (sección 1 la más alta, próxima a la salida del fluido del colector; sección 4 la más baja, próxima a la entrada del fluido del colector). Esto es completamente esperable, ya que la ganancia de temperatura del fluido es precisamente el resultado del aprovechamiento de la

radiación solar por el colector.

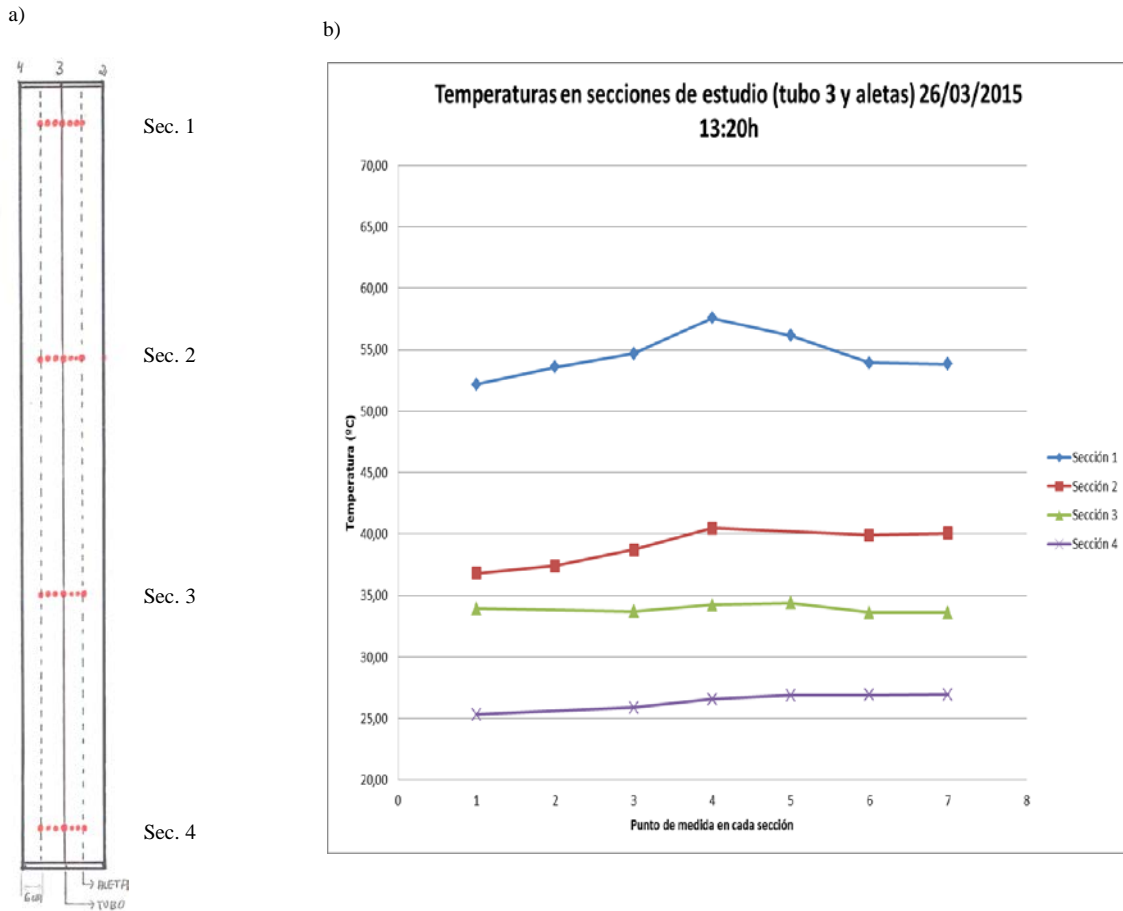


Figura 11. Temperaturas del captador en las distintas secciones del colector; a) ubicación de las secciones, b) temperaturas en secciones del captador ( $T_{amb} = 19^{\circ}C$ ; rad. sobre plano horizontal,  $G_0=801W/m^2$ )

## 5. Conclusiones

Se ha diseñado e implementado un sistema de medición de temperatura y otras variables sobre un captador de energía solar térmica de baja temperatura convencional, que incluye un total de 42 sondas termométricas distribuidas sobre la superficie colectora. Para poder ubicar las sondas ha sido preciso actuar sobre la carcasa dejándola accesible.

Los resultados muestran que la superficie captadora presenta temperaturas crecientes en el sentido del flujo del fluido primario (de abajo arriba) y que en cada sección transversal la temperatura es básicamente constante (aleta isoterma), es decir, se ha constatado de que en este tipo de colector la temperatura de la chapa metálica depende de la altura el colector pero prácticamente no de su distancia al tubo.

Esta respuesta indica que la forma de trabajo de las aletas que captan la radiación solar no responden al comportamiento de una aleta convectiva, sino que el intercambio por radiación juega un importante papel; en esta dirección se dirigirán los futuros esfuerzos investigadores.

## 6. Bibliografía

- [1] DUFFIE, J.A. y BECKMAN, W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Edición 4<sup>a</sup>. Universidad de Wisconsin-Madison. USA. Wiley. 2013. ISBN 978-0-470-87366-3
- [2] RODRIGUEZ HIDALGO, M.C., RODRIGUEZ-AUMENTE, P.A. *Flat plate thermal solar collector efficiency transient behavior under working conditions. Part I : Model description and experimental validation*. Applied thermal engineering, 2011.
- [3] AGILENT TECHNOLOGIES. *Practical Temperature Measurements. Application note 290*. Agilent Technologies Inc. USA. January 26, 2012. 5965-7822E
- [4] MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. *Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida. Edición digital 1. Centro español de metrología*. Madrid. 2008. NIPO:706-10-001-0
- [5] MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. *Procedimiento TH-003 para la calibración por comparación de termopares. Edición Digital 1. Centro español de metrología*. Madrid. 2008. NIPO:706-08-007-9.
- [6] LUNA-ABAD, J. P. y ALHAMA, F. (2004). *Caracterización de una Aleta Simple Sometida a Radiación y Convección*. Ponencia en el XVI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. CD-ROM. Universidad de León. Anales de Ingeniería Mecánica, revista de la Asociación Española de Ingeniería Mecánica, año 15. Diciembre de 2004, pp. 1359-1365.
- [7] RAZELOS, P. y KRIKKIS, R. N. *The Optimum Design of Radiating and Convective-Radiating Circular Fins*. Heat Transfer Engineering, 2003, vol. 24, no. 17, pp. 17-41.