



XXXIX SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR

Sistema para la homogeneización de los coeficientes de transferencia de calor convectivos en una caseta experimental para la evaluación de Cool Roofs

M. Nájera-Trejo; I.R. Martín-Domínguez

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Unidad Durango (CIMAV-Dgo).
Victoria 147 Norte. Zona Centro Histórico. 34000 Durango, Dgo.
(618) 811-0774, mario.najera@cimav.edu.mx.

I.L. Templeton-Olivares

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
Miguel de Cervantes 120. Complejo Industrial Chihuahua. 31136 Chihuahua, Chih
6144391100, ivan.templeton@cimav.edu.mx.

RESUMEN

Se presenta el diseño de un sistema de flujo forzado de aire que permite controlar las condiciones hidrodinámicas debajo de un grupo de probetas, utilizadas para medir el flujo de calor a través de recubrimientos reflectivos/emisivos para techos de viviendas (Cool Roofs).

El sistema forma parte de una caseta experimental diseñada para comparar el desempeño térmico de hasta 12 diferentes recubrimientos impermeabilizantes simultáneamente. La caseta provee condiciones idénticas de transferencia de calor en las probetas, que se encuentran en el techo de la misma expuestas al sol y las condiciones climáticas exteriores. Mediciones preliminares mostraron que las condiciones de convección natural bajo las probetas no eran ni constantes ni homogéneas, por lo que se diseñó un sistema de flujo forzado para homogeneizar las condiciones hidrodinámicas.

El trabajo muestra el sistema compuesto por ductos y ventiladores de velocidad variable, el sistema electrónico diseñado para el control de velocidad de giro de los ventiladores y el sistema de adquisición de datos utilizados. Se analizan los mecanismos de transferencia de calor involucrados y se muestra como se calibraron las velocidades de giro de los ventiladores a partir de la medición de temperaturas en las caras interiores de las probetas.

Palabras claves: Transferencia de Calor, Envoltentes térmicas, recubrimientos reflectivos, sistemas convectivos.

ABSTRACT

The design of a forced air flow system is presented in this work. The system allows to control hydrodynamic conditions under a group of probes. These probes are used to measure the heat flux through a coted roof with emissive/reflective layers made for Cool Roofs performance.

The system is incorporated to an experimental shed designed to hold and compare the results of 12 probes coated with the substances to test. This shed provide identical heat transfer conditions between the probes for the interior side whereas they are exposed to the sun radiation at the exterior side. Preliminary tests demonstrated that the inside conditions where insufficiently equal for the natural convection coefficients of all probes. As a result of this problem an air flow system had to be designed for the hydrodynamics conditions homogenization.

The work shows the system configuration of ducts, ventilators, hardware and software used for control and calibration of the heat transfer mechanisms by means of measuring the inside temperature of the probe.

Keywords: Heat Transfer, Building envelopes, reflective surfaces, convective systems.

INTRODUCCION

El uso eficiente de la energía en edificaciones en México es un tema de creciente popularidad por lo que se han llevado a cabo diferentes estudios relacionados con techos fríos (Cool Roofs) tales como el realizado por Lucero-Álvarez et al., 2014 en donde se estudia el comportamiento térmico de recubrimientos reflectivos/emisivos utilizando una serie de probetas colocadas en el techo de una caseta experimental. Las 12 probetas, que pueden ser de concreto o de algún otro material homogéneo, de igual espesor, se colocan en orificios cuadrados cortados en el techo de la caseta, con el objetivo de contar con idénticas condiciones ambientales en todas ellas simultáneamente. La caseta está fabricada con paneles prefabricados, con núcleo de espuma rígida de poliuretano y dos caras de lámina de acero. La caseta cuenta con un cuarto de pruebas, en donde van las probetas, y cuenta con un equipo de refrigeración que mantiene la temperatura interior controlada. Sobre la cara exterior de las probetas se aplica el recubrimiento que se desea probar, y se coloca un termopar en el centro geométrico de cada cara de la misma. La cara que contiene el recubrimiento en su superficie queda expuesta a la irradiación solar así como a las demás condiciones ambientales, mientras que la otra cara queda expuesta a las condiciones controladas del cuarto de pruebas. Midiendo la diferencia de temperaturas entre las caras de la probeta, y con la conductividad térmica del material y su espesor se puede calcular el flux de calor que atraviesa por el centro geométrico de la misma, para compararlo con el obtenido en las demás probetas que fueron recubiertas con diferentes productos. El objetivo de este sistema es el mantener condiciones térmica e hidrodinámicas similares en las caras exteriores, e interiores, de las 12 probetas siendo analizadas. Sin embargo, mediciones preliminares mostraron que las condiciones convectivas bajo las probetas no eran ni constantes ni homogéneas. Esto debido principalmente al funcionamiento del equipo de refrigeración, que proyecta un flujo de aire frío forzado hacia el centro del espacio bajo las probetas que se encuentran al frente del aparato, como se muestra en la Figura 1. Adicionalmente a lo anterior, la cercanía de las paredes y la forma de la caseta originan que las condiciones hidrodinámicas y la temperatura del aire en la inmediata cercanía al centro geométrico de las probetas no solo sean diferentes en cada una, sino además está cambiando continuamente de forma irregular. Todo ello se traduce en valores diferentes y cambiantes del coeficiente de transferencia de calor convectivo en todas las probetas, haciendo imposible la comparación de los resultados esperados de flux de calor.

Para homogeneizar tanto las condiciones hidrodinámicas como la temperatura del aire bajo cada probeta, se diseñó un sistema de ductos verticales, dotados cada uno de un pequeño ventilador, con el fin de tener un flujo vertical de aire controlado individualmente.

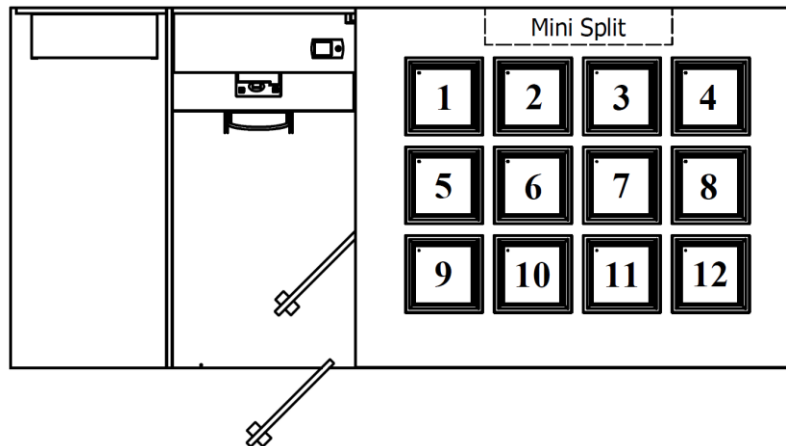
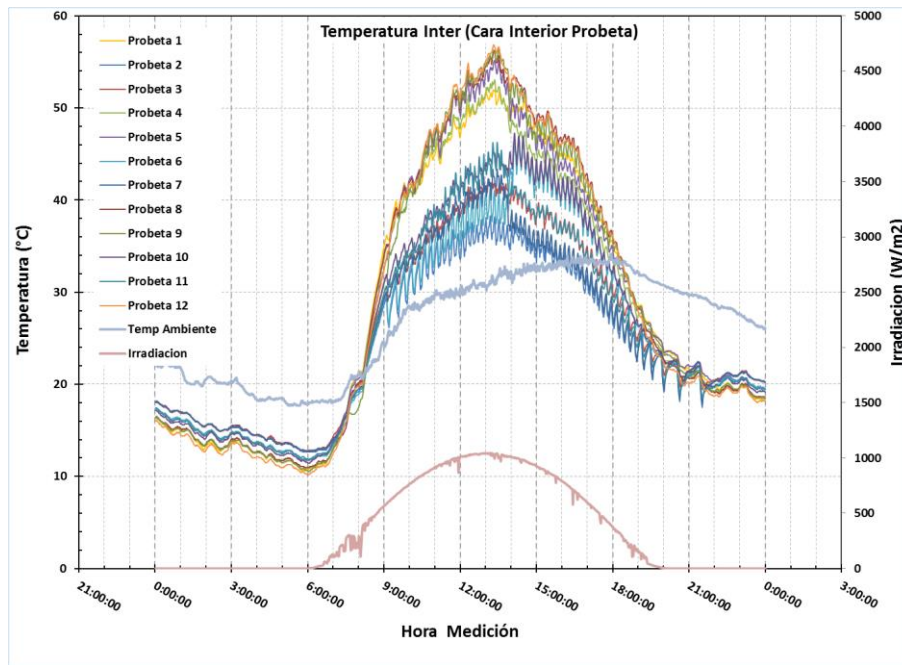


Figura 1. Diagrama de distribución de las probetas en el cuarto de pruebas.

METODOLOGIA

Estando la caseta ubicada en la ciudad de Chihuahua, Chih., se realizaron mediciones de temperatura. Los equipos empleados para la toma de datos constaron de un adquisidor de datos Graphtec midi Logger GL820, cerca de 50 termopares tipo T los cuales fueron calibrados previamente con un termo-pozo JOFRA CTC-140 y un termómetro de referencia JOFRA DTI-050. Además se utilizó un piranómetro de la marca Kipp & Zonen modelo SP Lite2 para captura de datos de irradiación. El termopar tipo T fue empleado en esta aplicación por su baja incertidumbre, además del rápido tiempo de respuesta para el rango de temperaturas requeridas. Uno de los termopares fue expuesto al ambiente exterior utilizando un escudo de radiación para la lectura de temperatura ambiente. El resto de los termopares se destinaron a medir las temperaturas en las probetas con la punta colocada al centro de las caras interiores y exteriores de cada probeta. Según las mediciones realizadas se demostró que las condiciones bajo las probetas no eran homogéneas puesto que las temperaturas en las caras interiores de las probetas 2, 3, 6, 7, 10 y 11 son notablemente más bajas que el resto de las probetas, tal como se observa en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Temperatura en la cara interior de la probeta en la primera muestra

Por los motivos anteriormente descritos, se diseñó primeramente un sistema de ventilación el cual tuviera la capacidad de homogeneizar las condiciones hidrodinámicas en el interior de la caseta experimental. Dicho sistema tiene como objetivo el igualar los coeficientes de transferencia de calor por convección existentes en las superficies internas de 12 probetas, además de provocar el mezclado del aire circundante para la homogeneización de la temperatura en el cuarto de pruebas. El diseño incluye un soporte ajustable que tiene la función de sujetar a distintas alturas un ducto de 4 pulgadas de diámetro. El ducto es de material galvanizado con refuerzo estructural y su longitud es de aproximadamente 1.65 m. Sujeto al ducto se acopla un ventilador de flujo axial, tipo tubo de 4 pulgadas, con una capacidad de 50 pies cúbicos por minuto y una potencia de 1/250 hp a 110 V. En la Figura 2 se esquematiza el ensamble del sistema de ventilación que se coloca por debajo de cada una de las probetas. Se observa que la base se encuentra sujetando al ventilador axial y este a su vez esta acoplado al ducto de 1.65 m de longitud.

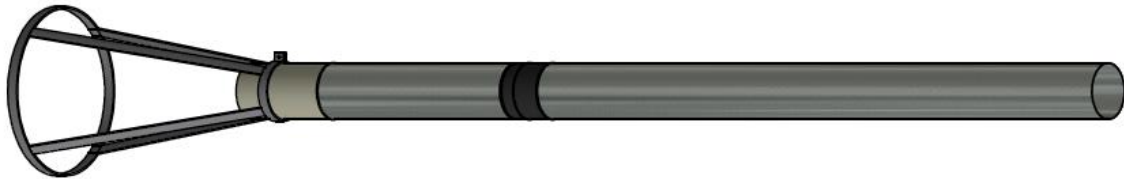
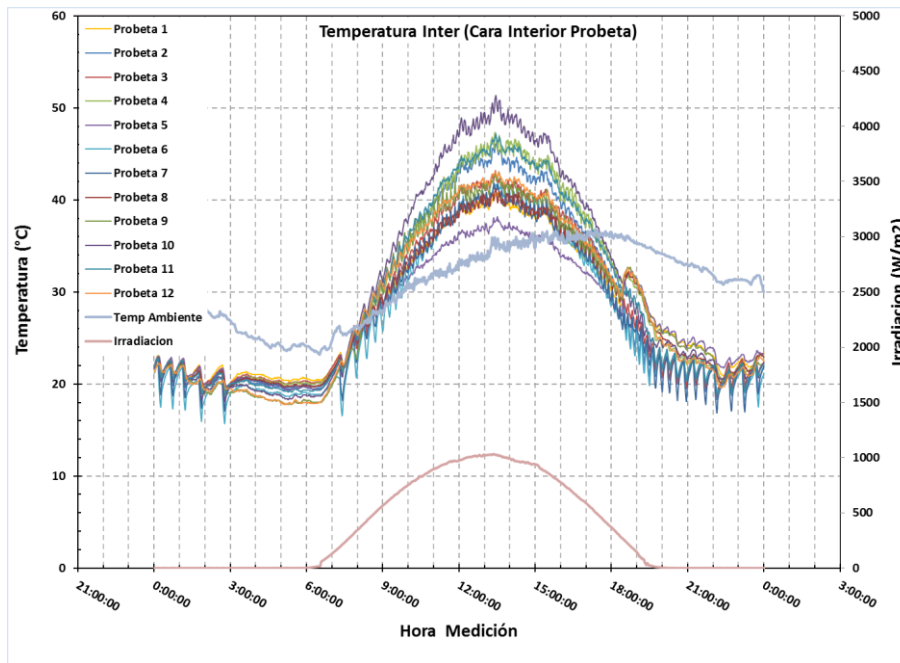


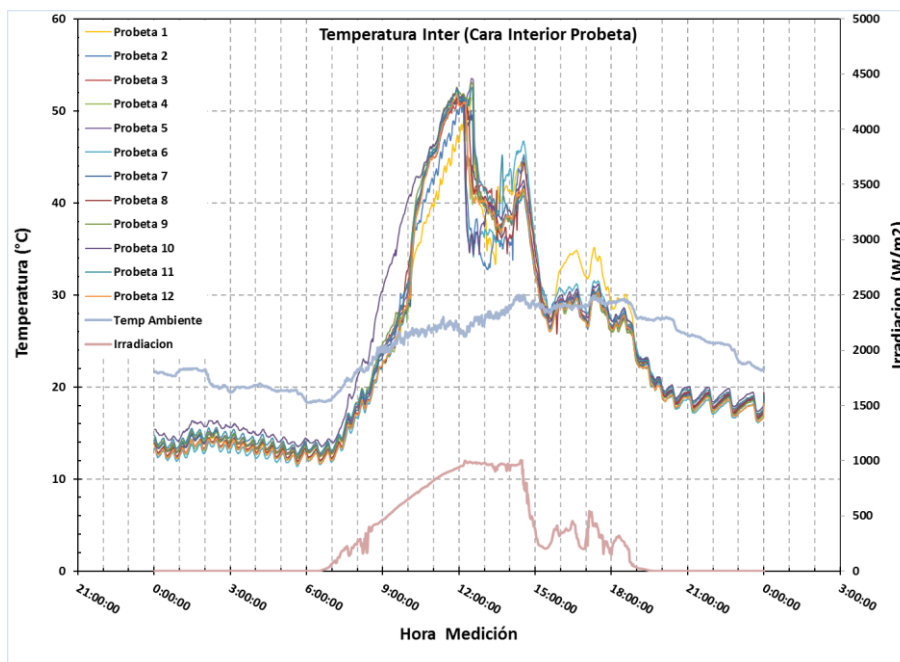
Figura 2. Diagrama del sistema de ventilación propuesto.

Los resultados obtenidos al utilizar este sistema muestran una mejor homogeneización en las temperaturas de las probetas. En la Gráfica 2 se puede observar que las antes mencionadas probetas 2, 3, 6, 7, 10 y 11 alcanzan una temperatura más equiparable respecto a las demás probetas.



Gráfica 2. Temperatura en la cara interior de la probeta en la segunda muestra.

Con el fin de mejorar la homogeneización de temperaturas sobre las caras interiores de las probetas, se decidió regular la velocidad de aire a la salida de los ductos. Para tal fin se contempló utilizar en los ductos, una compuerta circular reforzada y hermética, con sello circunferencial de neopreno. Mediante el cierre o apertura de dicha compuerta, se regulaba la velocidad del flujo de aire a la salida del ducto que se medía con un termo anemómetro tipo turbina de la marca EXTECH Modelo 451126. Con las diferentes lecturas adquiridas en los 12 ventiladores se calculó un promedio y este promedio se utilizó como referencia para ajustar la velocidad del flujo de aire a la salida de todos los ventiladores. Los resultados obtenidos se muestran en la Gráfica 3, en donde es posible apreciar una reducción considerable en la variación entre temperaturas en las caras interiores de las probetas.



Gráfica 3. Temperatura en la cara interior de la probeta en la tercera muestra.

No obstante, debido a la imposibilidad práctica de realizar este último ajuste de velocidades en el flujo de aire, se optó por un nuevo diseño, en el cual se utilizó un nuevo tipo de ventiladores, como se muestra en la Figura 3. En el nuevo diseño se removieron las compuertas mecánicas, y se utilizaron nuevos ventiladores, del tipo utilizados para el enfriamiento de sistemas de cómputo, que tienen la

particularidad de poderse controlar su velocidad de giro electrónicamente. Para ello también se diseñó un sistema de control electrónico para regular individualmente la velocidad de giro de cada uno de los 12 ventiladores. Los ventiladores integrados en esta etapa corresponden a la marca Sunon Fans modelo ME92252V1-000U-A99 de 24 V DC y flujo de aire nominal de 51.5 pies cúbicos por minuto. El control utilizado para estos ventiladores consta de un microcontrolador de ciclo abierto, el cual regula el voltaje de la corriente directa mediante la técnica de modulación de ancho de pulso. Una interfaz con botonera y pantalla LCD ayuda al usuario a seleccionar uno de los 12 ventiladores, y a modificar su velocidad de giro desde un valor casi cero hasta su máximo permisible. Un multiplexor de anchos de pulso modulados está directamente conectado a una etapa de potencia que alimenta la corriente requerida para cada uno de los ventiladores.

Para determinar el flujo mínimo, se estudió el ancho de pulso mínimo requerido para vencer la histéresis del abanico y el ancho de pulso mínimo requerido para mantener la velocidad de rotación mínima del abanico. A partir de ello se determinó el valor porcentual de flujo cero y el de flujo máximo en función del ancho de pulso. El valor de cada unidad porcentual se definió en función de la resolución del circuito integrado multiplexor de anchos de pulso modulados de entre 0 y 4095 pasos.

Los resultados de homogeneización de las temperaturas medidas en las caras inferiores de las probetas, obtenidas después de la implementación de este sistema electrónico de control, se muestran en la Gráfica 4.



Figura 3. Diagrama del sistema de ventilación modificado.

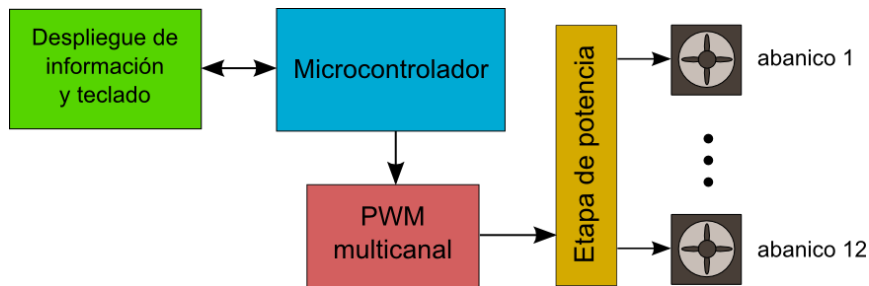
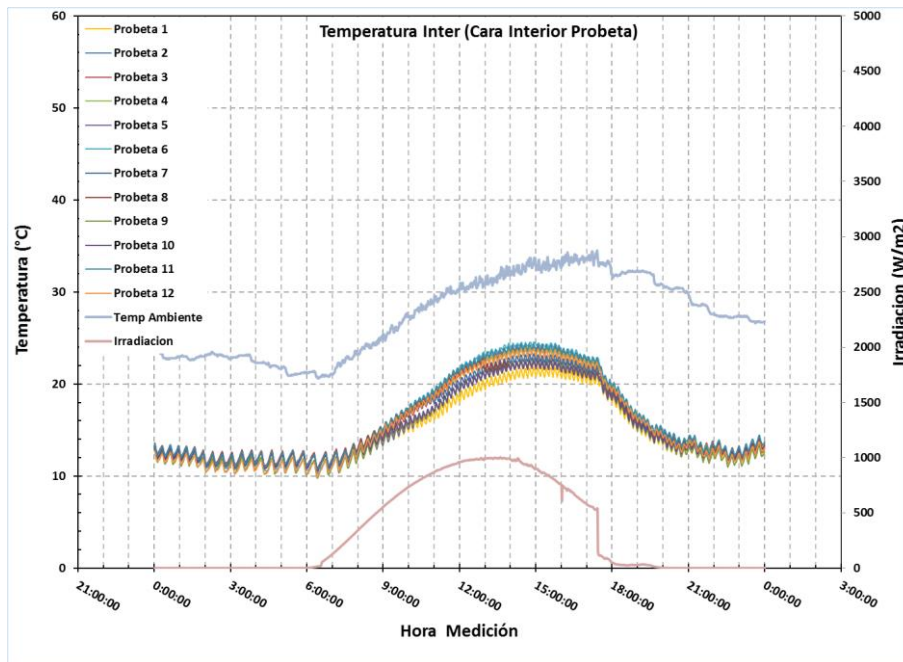


Figura 4. Diagrama de bloques del control electrónico para los abanicos.

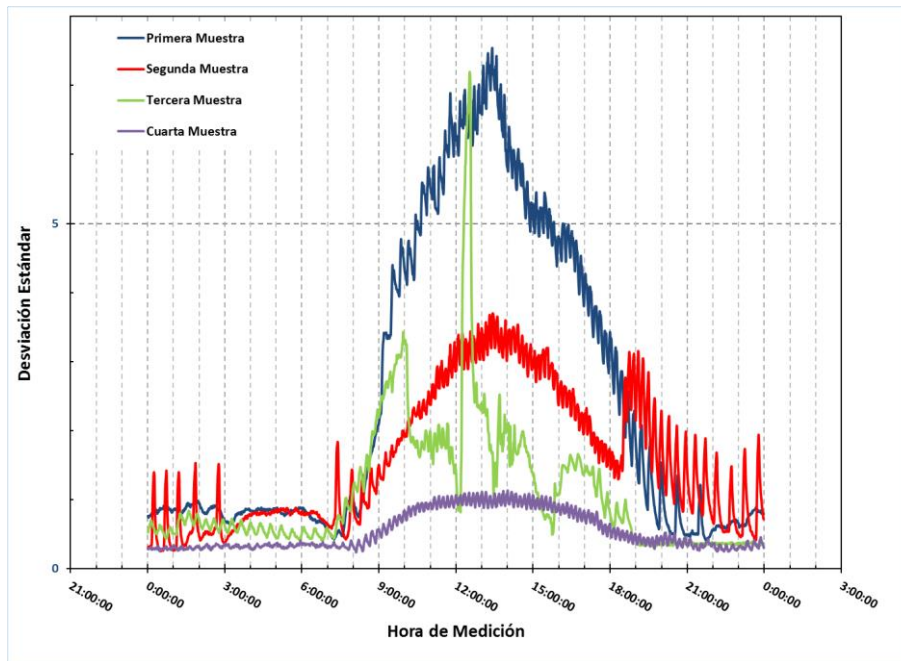


Gráfica 4. Temperatura en la cara interior de la probeta en la cuarta muestra

CONCLUSIONES

Las medidas de mejora tomadas para la homogeneización de los coeficientes de transferencia de calor convectivos muestran en la Gráfica una notable reducción en la dispersión de datos. Tomando en cuenta la diferencia en dispersión acumulada entre la primera muestra y la cuarta muestra se obtiene una reducción de hasta 78.41%.

En la segunda muestra se obtiene un 36.31% de reducción en la dispersión acumulada respecto a la primera muestra y en la tercera muestra se obtiene un 56.98% de reducción en la dispersión acumulada respecto a la primera muestra, siendo la última muestra la que posee una menor dispersión en los resultados con respecto a la primera muestra.



Gráfica 5. Dispersión (Desviación Estándar) de datos en las diferentes muestras.

*El autor agradece el apoyo económico recibido por parte de la **Unidad Durango del Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV – Durango)**, a través del **Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CeMIE-Sol)**, en el marco de la **Convocatoria 2013-02**, del **FONDO SECTORIAL CONACYT - SENER - SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA**, dentro del Proyecto Estratégico:*

P13 “Laboratorios de pruebas para baja y media temperatura, laboratorio para el diseño e integración de sistemas termo solares asistido por computadora”.

Por medio del cual fue posible participar en la 39ª Semana Nacional de Energía Solar.

Se agradece también el apoyo académico y material proporcionado por **CIMAV – Durango** para el desarrollo de éste trabajo.