

DISEÑO Y PRUEBA DE UNA CASETA PARA DETERMINAR SIMULTÁNEAMENTE EL FLUJO TÉRMICO A TRAVÉS DE VARIAS LOSAS PARA TECHUMBRE, DOTADAS DE DIVERSOS RECUBRIMIENTOS

Dr. Ignacio R. Martín Domínguez, Jorge Lucero Álvarez
 Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. Energía Renovable y Protección del Medio Ambiente. Chihuahua, Chih. México.
 ignacio.martin@cimav.edu.mx

Introducción

En México, las losas de concreto representan uno de los principales materiales utilizados para los techos de edificaciones. En el caso de la vivienda, los techos frecuentemente son cercanos a la horizontal, y casi perpendiculares a la radiación directa del sol, por lo que representa uno de los elementos con mayor dinámica en la transferencia de calor entre el ambiente y el interior de una edificación. Se han desarrollado diversos tipos de recubrimientos para techos que tienen por finalidad el proporcionar una mayor resistencia al flujo de calor, evitando que se gane en verano o se pierda calor en invierno.

Dado la complejidad de realizar los cálculos por medio de simulación dinámica, así como la incertidumbre que se puede obtener, es conveniente contar con prototipos experimentales que puedan medir directamente el flujo de calor a través de materiales que conforman la envolvente de una determinada edificación.

Objetivos

General

El objetivo de este trabajo es describir el diseño, la construcción y prueba de un prototipo experimental para determinar el flujo de calor a través de materiales termoaislantes y recubrimientos aplicados en losas para techos.

Específicos

- Diseñar y construir una caseta experimental, equipada con climatización artificial, cuyo techo consista de 12 probetas de concreto y una estructura de soporte, de tal forma que las condiciones en el exterior e interior de las casetas sean similares para todas las probetas.
- Instrumentar la caseta para determinar el gradiente térmico entre las superficies exterior e interior de las probetas.
- Realizar mediciones sobre periodos extendidos de tiempo, para determinar el comportamiento de los recubrimientos bajo diferentes condiciones climáticas.

Caseta Experimental

A pesar de que existen diferentes propuestas para determinar el flujo de calor con el uso de prototipos experimentales, en este trabajo se propone el uso de una caseta, en la cual puedan determinarse los flujos de calor a través de una serie de probetas que representan un techo convencional de concreto, con la ventaja de que se pueden aplicar diversos arreglos de materiales aislante y recubrimientos, comparando el comportamiento térmico de los diferentes arreglos, ya que la medición se realizará de manera simultánea y bajo condiciones similares de operación para todas las probetas. El rápido reemplazo de las probetas permite evaluar una gran cantidad de arreglos con materiales termoaislante y recubrimientos utilizados en techos, en un periodo de tiempo relativamente corto, y bajo condiciones reales de operación.

Prueba de la Caseta y Resultados

Para la prueba de la caseta se realizaron mediciones de temperaturas a cada 2 minutos, durante periodos de una semana, en la ciudad de Chihuahua. También se midieron datos climáticos en intervalos de 15 minutos. Los materiales que fueron analizados aparecen enlistados en la tabla 1. El procesamiento de los datos obtenidos se llevó a cabo utilizando una hoja de cálculo electrónica, se obtuvieron gráficas de temperaturas y gráficas de flujo de calor para cada probeta y por cada día de medición (figuras 10 y 11). Mediante integración numérica se obtuvieron las cantidades totales diarias de calor ganado (área bajo la curva de flujo), y perdido (área sobre la curva de flujo). Se sumaron por separado ganancias y pérdidas durante cada semana para obtener los totales semanales. (figura 12).

Con los resultados obtenidos se concluye que el mejor desempeño para reducir el flujo de calor diurno son aquellos conjuntos que son conformados por un material termoaislante, que aumenta la resistencia a la conducción térmica, y un impermeabilizante celular blanco. Durante el periodo nocturno y/o condiciones de frío, el material termoaislante es el elemento indispensable para reducir las pérdidas de calor.

Metodología

Medición del Flujo de Calor (Fundamento Teórico)

Los mecanismos de transferencia de calor que ocurren en el techo de las edificaciones a base de losas de concreto se muestran esquemáticamente en la figura 1. En una vivienda se puede suponer que el tamaño del techo es suficientemente grande como para que el flujo de calor a través del mismo se puede asumir unidimensional.

Realizando un balance de energía en la superficie interior del techo, se tiene que el flux de calor neto, por convección y radiación, entre la losa y el interior de la vivienda es igual al flux de calor conductivo q_{si} . Las magnitudes de los flujos de calor por convección y por radiación son difíciles de medir. Sin embargo, la conducción de calor a través de la losa de concreto puede ser calculada aplicando la ecuación de difusión de Fourier:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad [1]$$

Resolviendo por métodos numéricos, se puede determinar el flux instantáneo de calor en la superficie interna de la probeta (q_{si}), y mediante integración, la cantidad total de calor que fluye, por unidad de área, durante un periodo de tiempo dado, a través de cada uno de los recubrimientos analizados (figura 2).

Longitud Mínima de la Probeta

Debido a que la relación entre el espesor y las dimensiones laterales de una probeta serán mucho menores al de un techo en una vivienda real, el primer paso para el diseño de la caseta, fue establecer las dimensiones mínimas de las probetas, de modo que se garantice las condiciones para un flujo de calor unidimensional en el centro geométrico de cada probeta, esto es, que el calor fluye en la dirección normal (perpendicular) al espesor de la probeta, como ocurre en techumbres reales. Para ello se utilizó el programa FEHT para determinar el campo bi-dimensional de temperaturas en una probeta. Con ello se calculó el tamaño mínimo de probeta requerido para tener que el efecto de los bordes fuera de solo 0.1°C en el centro geométrico de la misma, se garantizó así el tener un flujo de calor unidimensional en el punto de medición (figuras 3-6).

Diseño y Construcción de la Caseta

Para realizar las mediciones en probetas de manera simultánea se decidió diseñar una caseta experimental móvil, en cuyo techo presente huecos donde sea posible colocar probetas de concreto idénticas y removibles. El techo y las superficies exteriores de las probetas deben conformar un solo plano, cuya inclinación con respecto a la horizontal, sea similar para todas las probetas, de esta forma la superficie exterior de todas probetas queda expuesta a la misma radiación solar.

Para realizar las mediciones de temperatura se utilizaron termopares y un sistema de adquisición de datos multicanal. Se dotó a la caseta con un sistema de acondicionamiento climático para mantener controladas las condiciones interiores. La caseta se construyó con material prefabricado (termopanel, un sándwich de poliuretano entre dos láminas metálicas) con un valor R reportado por el fabricante de 2,668 (m² K)/W, el máximo espesor de la probeta que se consideró fue de 7 cm y se seleccionó en base a la capacidad de deformación del panel (figuras 7-9).

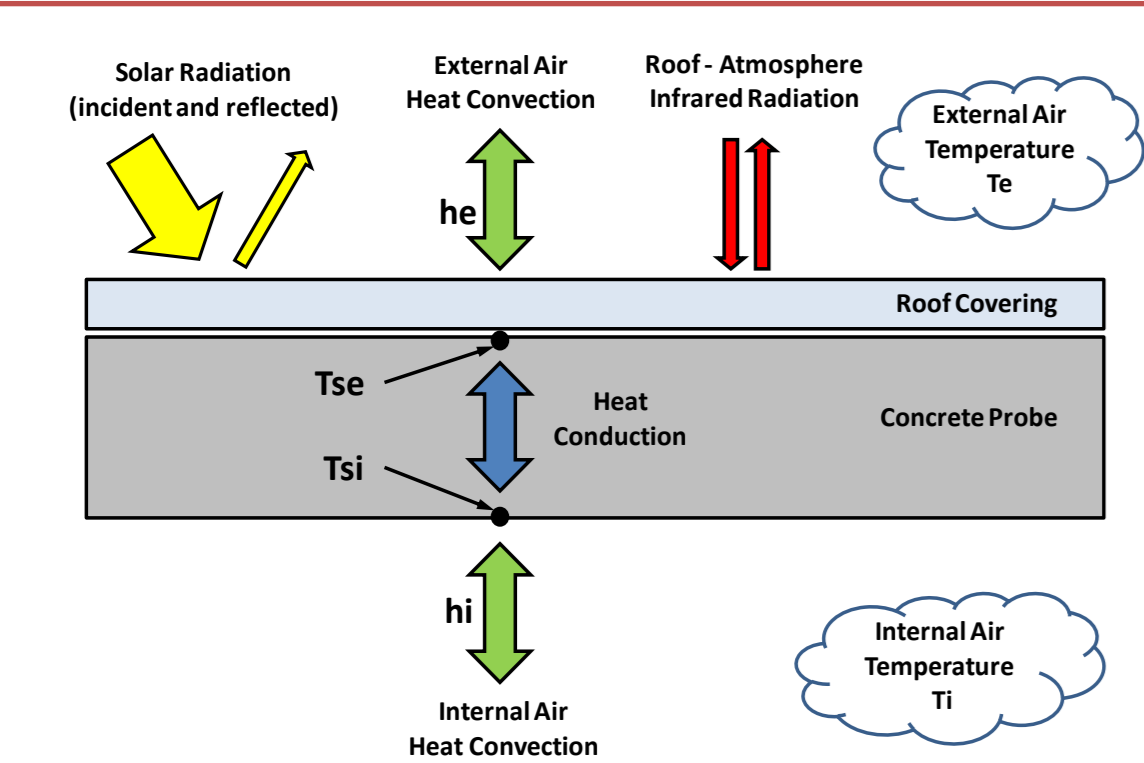


Figura 1. Mecanismos de transferencia de calor en techos de edificaciones.

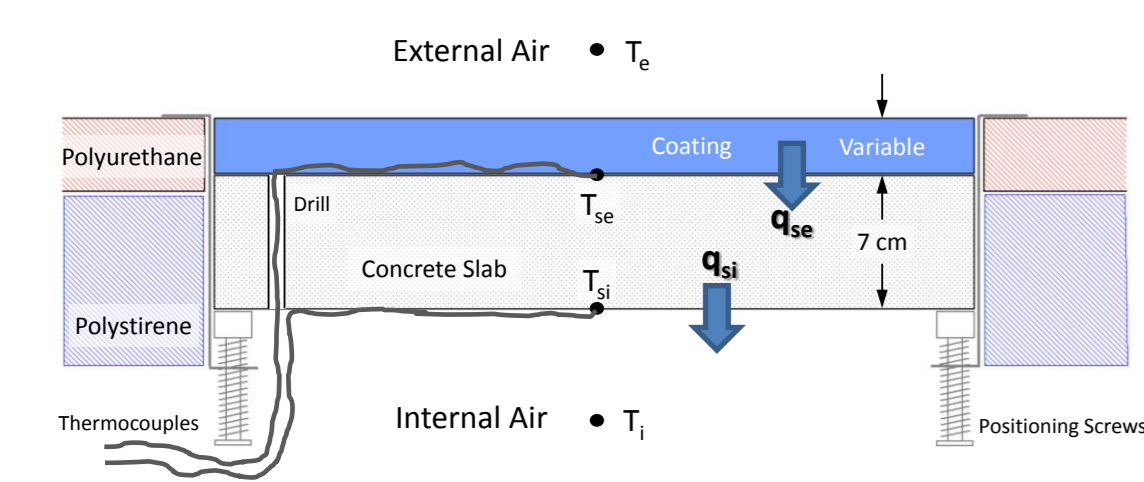


Figura 2. Detalle de la probeta, mostrando la ubicación de termopares y las temperaturas medidas.

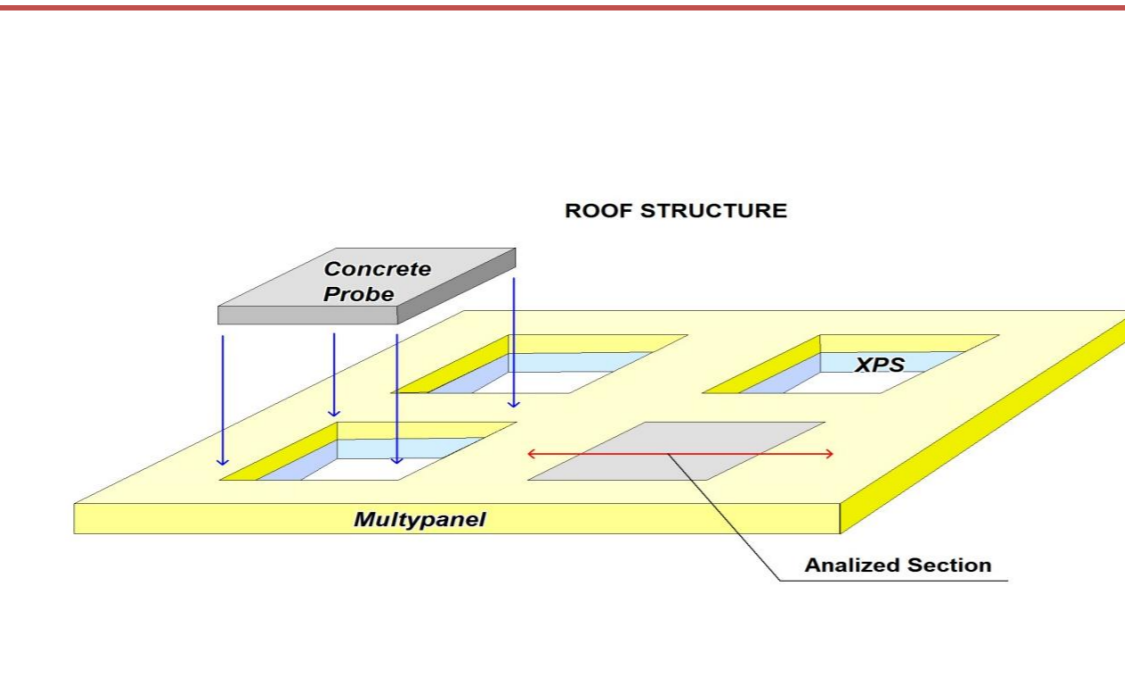


Figura 3. Condiciones extremas para el análisis de distribución de temperatura entre la probeta y el techo de la caseta.

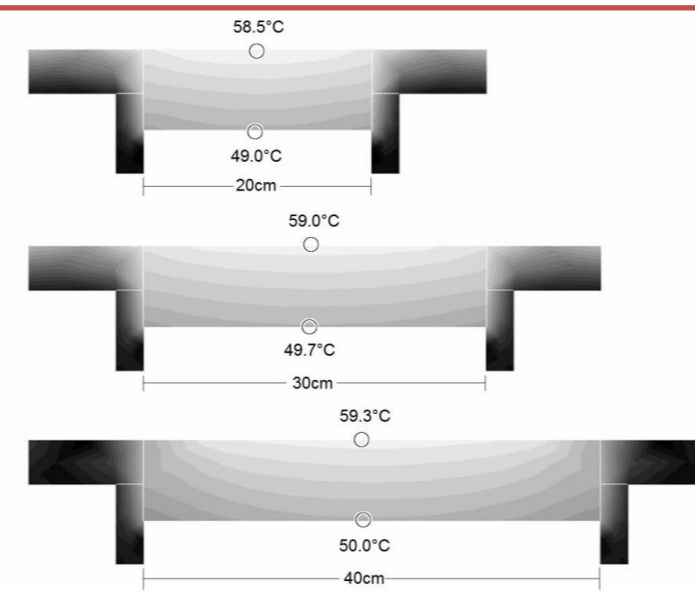


Figura 5. Distribución de temperaturas en la probeta y techo de la caseta, indicando temperaturas del nodo central, para tres longitudes de probeta (20, 30 y 40 cm)

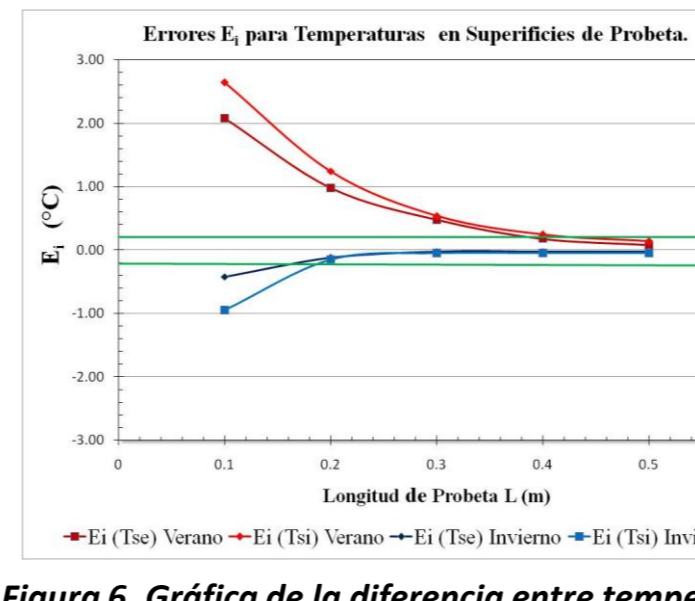


Figura 6. Gráfica de la diferencia entre temperaturas de nodos centrales en superficies de probeta y temperaturas en un flujo unidimensional (Error E) vs longitud de probeta. Las líneas verdes representan el rango de aceptación del error (0.2°C).

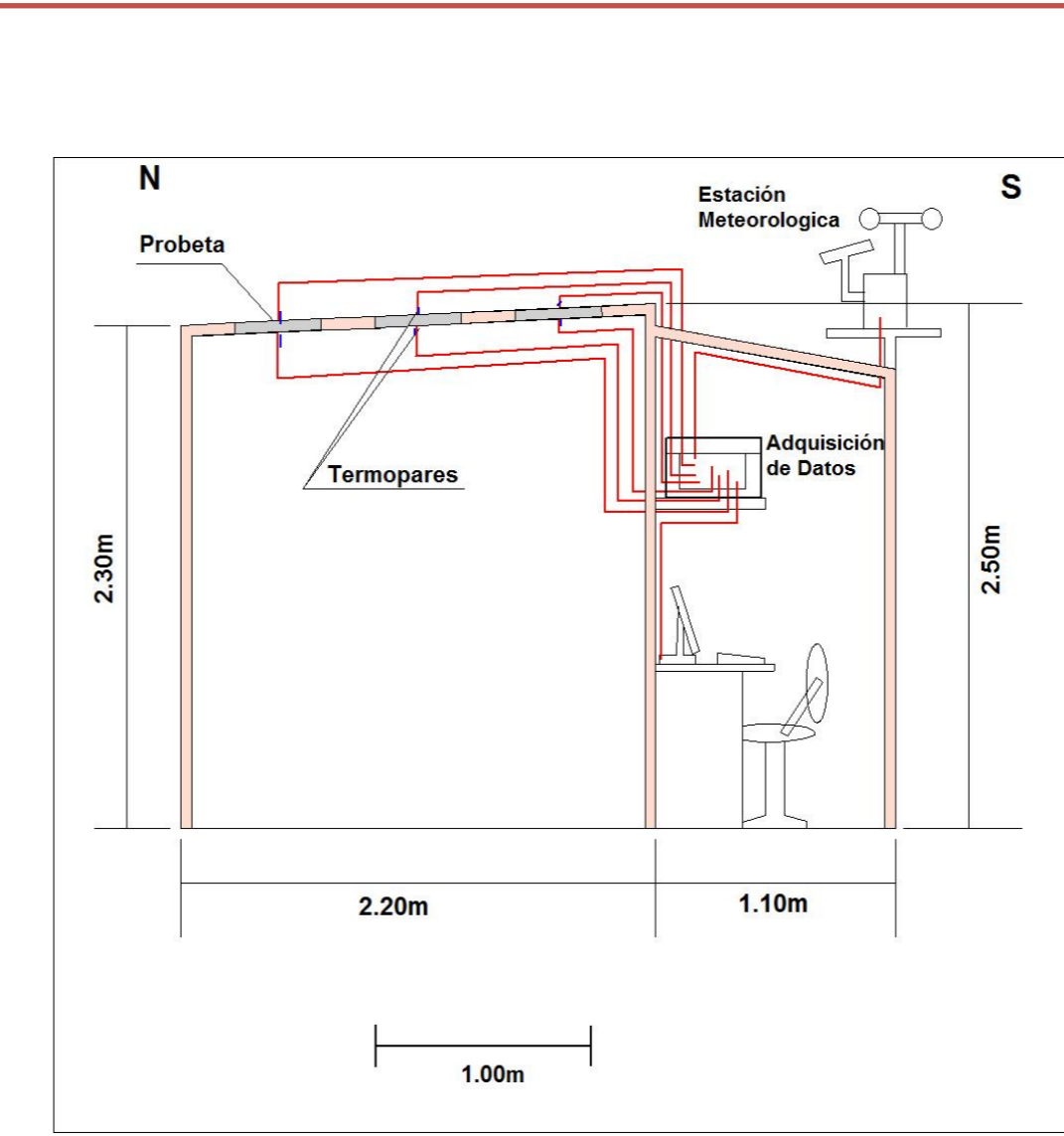


Figura 7. Sección de la caseta experimental con instrumentación utilizada



Figura 8. Caseta experimental. A) Equipo de acondicionamiento de aire, B) Vista exterior y acceso a la caseta, C) Vista al techo desde el interior mostrando los espacios para colocar las probetas, D) Estructura para el soporte de las probetas.



Figura 9. Caseta experimental, A) fabricación de probetas, B) vista interior del techo y probetas, C) soporte de las probetas y D) vista exterior del techo y probetas con recubrimientos.

Tabla 1. Lista de probetas con los recubrimientos analizados.

PROBETA	DESCRIPCIÓN
1	Sin recubrimiento
2	Impermeabilizante acrílico celular blanco @ 1.5 L/m ³
3	Impermeabilizante acrílico celular blanco @ 3.0 L/m ³
4	Poliuretano espumado de 1" de espesor + Impermeabilizante acrílico rojo @ 1 L/m ³
5	Placa de Poliestireno de 1" de espesor + Impermeabilizante acrílico rojo @ 1 L/m ³
6	Placa de Poliestireno de 1" de espesor + Impermeabilizante acrílico celular blanco @ 1.5 L/m ³
7	Pasta texturizada acrílica celular blanca @ 2.0 L/m ³
8	Poliisulato (Aislante no tejido espumado) de 1/2" + Impermeabilizante acrílico celular blanco @ 1.5 L/m ³
9	Impermeabilizante acrílico blanco @ 1.0 L/m ³
10	Impermeabilizante acrílico rojo @ 1.0 L/m ³
11	Impermeabilizante acrílico celular rojo @ 1.5 L/m ³
12	Concreto aligerado con Arkel densidad 1.2 (Conductividad térmica = 0.18 W/m·K)

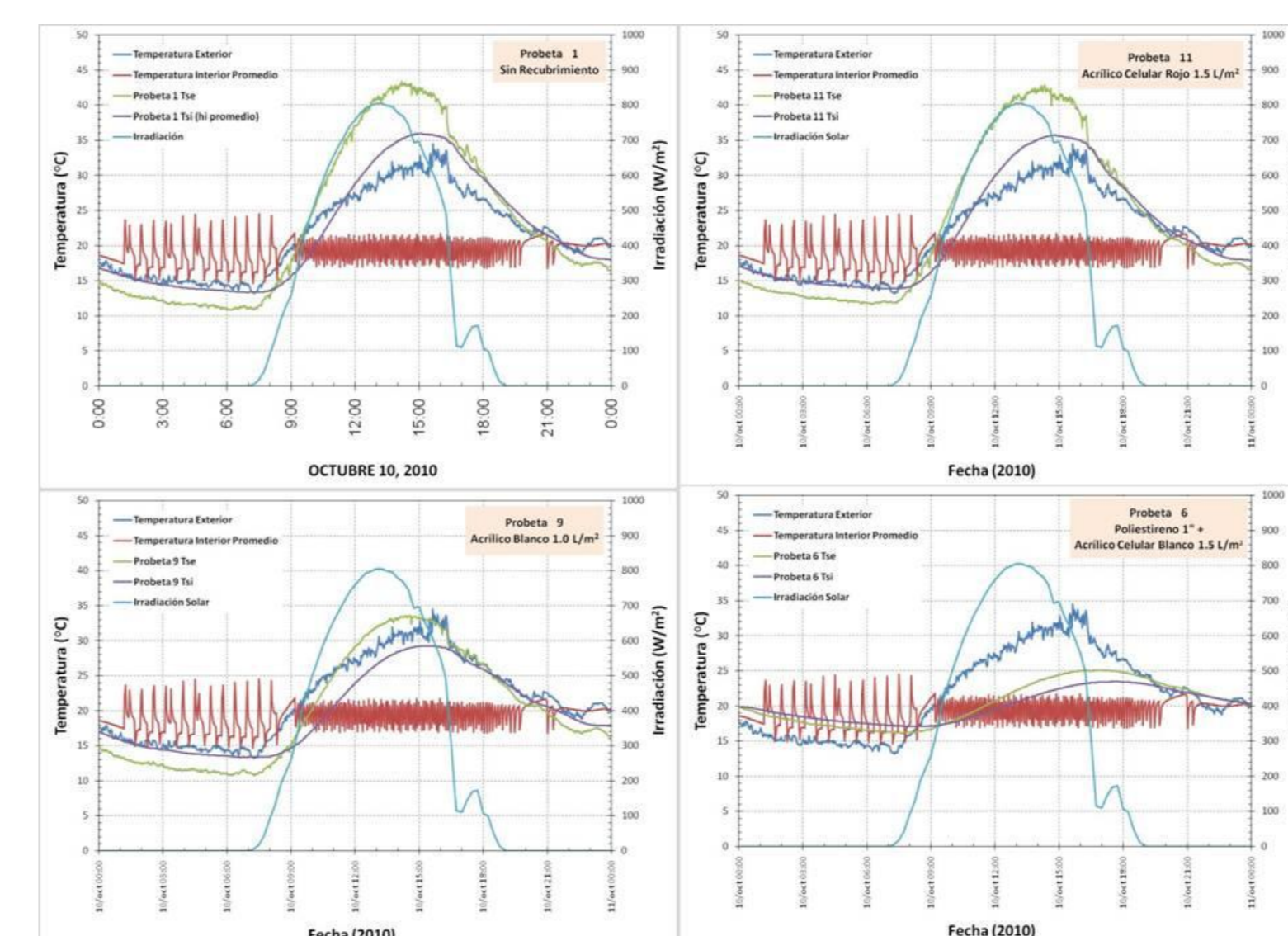


Figura 10. Perfiles de temperaturas del aire exterior, superficie exterior (Tse) y superficie interior (Tsi) de la probeta, y del aire en el interior; probetas 1, 11, 9 y 6.

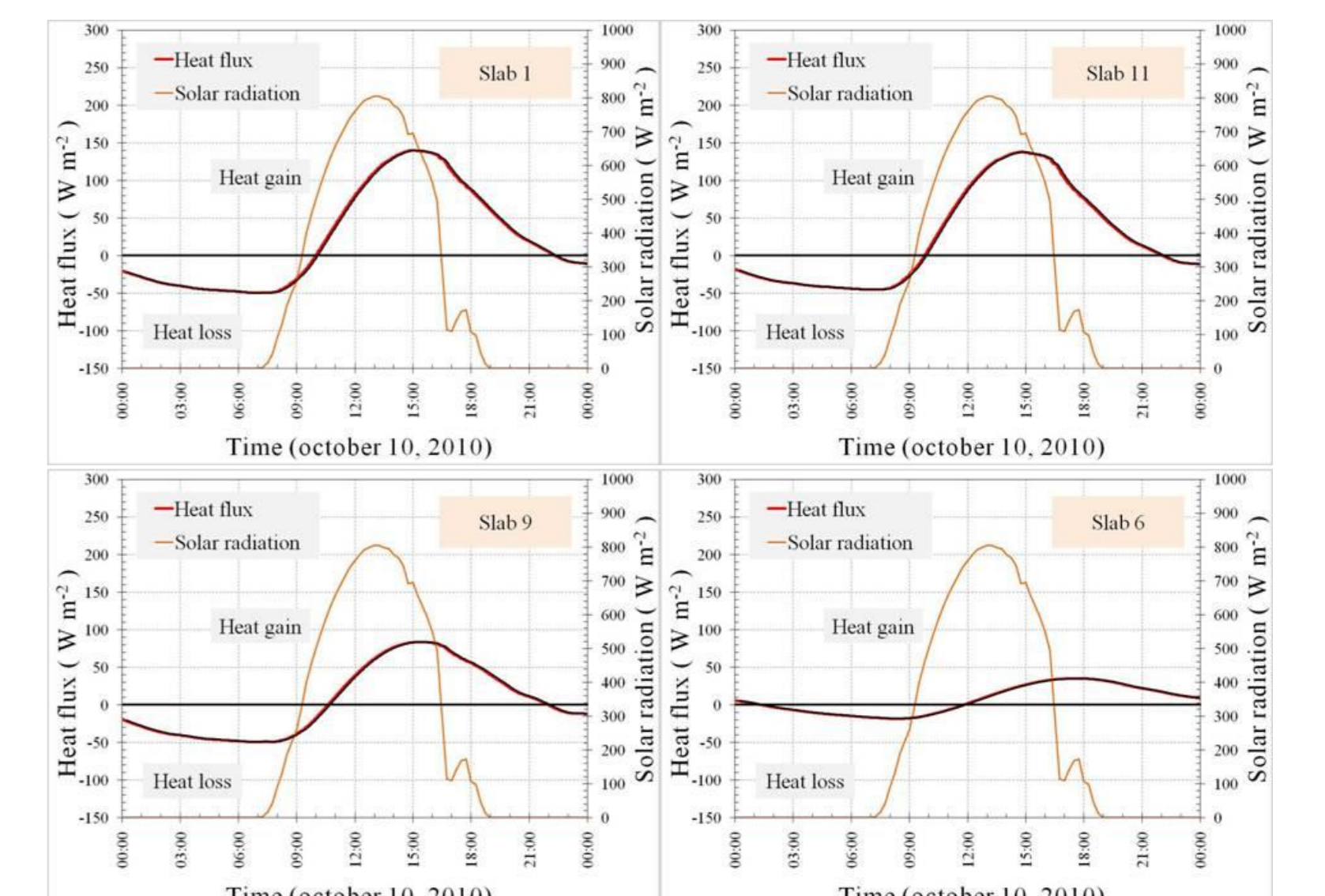


Figura 11. Gráficas de flujo de calor, comparada con la irradiación solar; probetas 1, 11, 9 y 6.

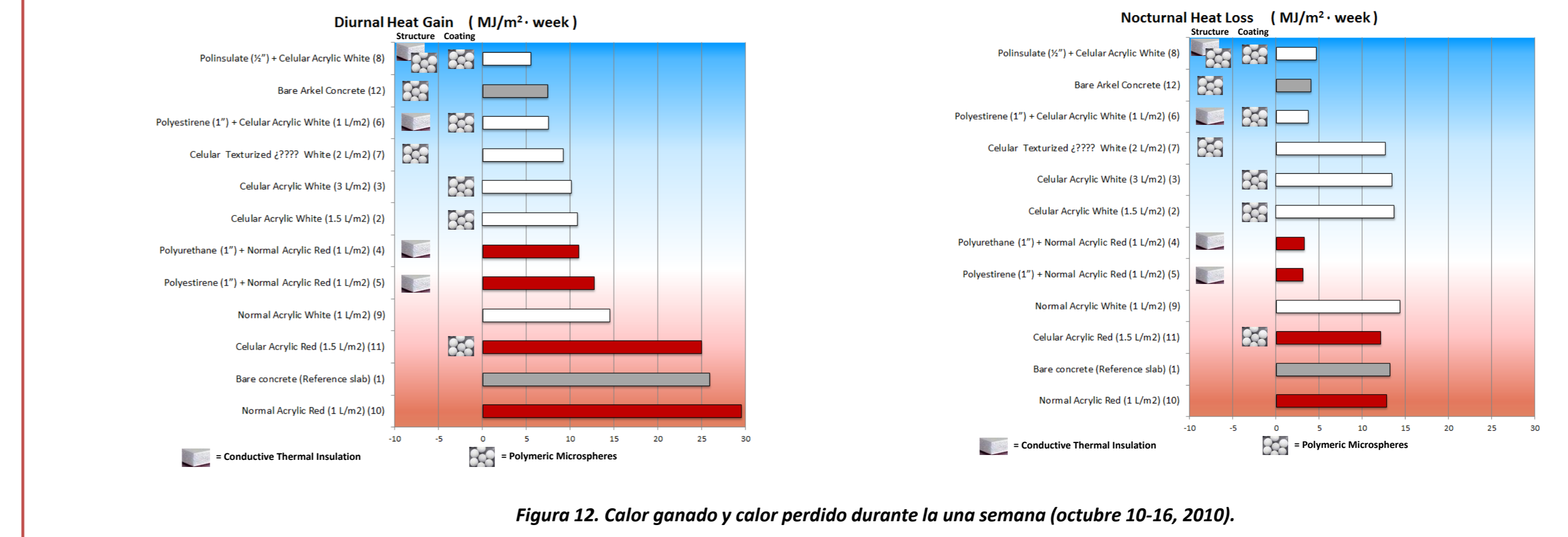
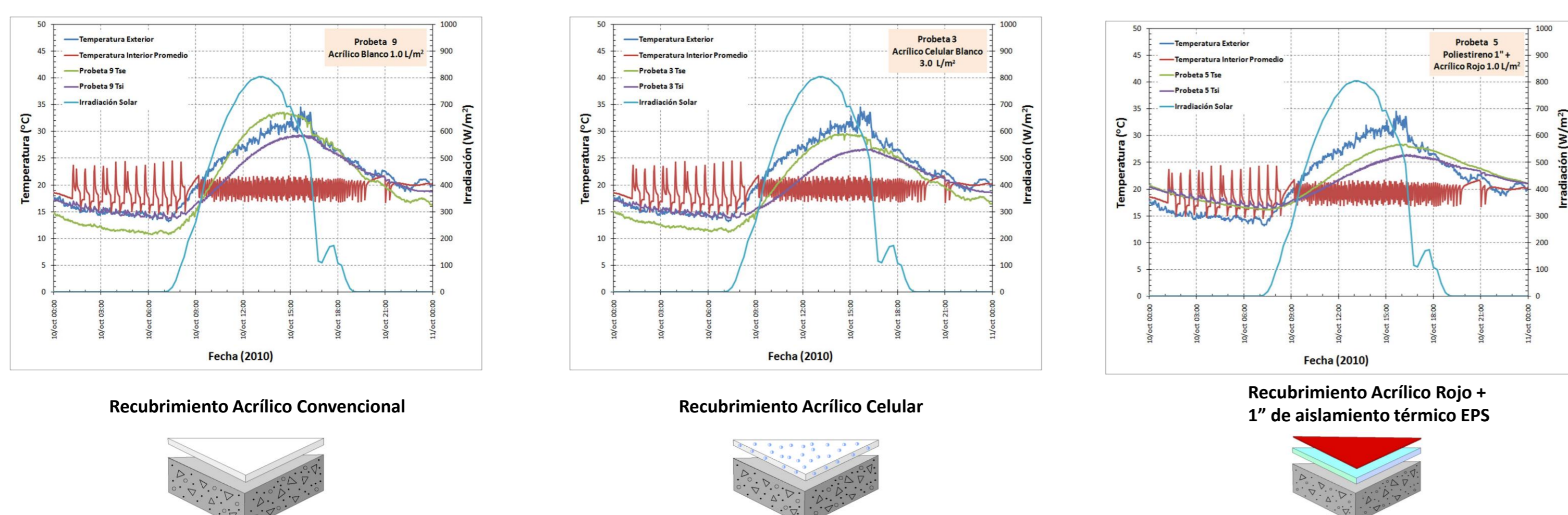


Figura 12. Color ganado y calor perdido durante una semana (octubre 10-16, 2010).



INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES U.N.A.M.



Marzo 12, 2013

J. Lucero-Álvarez,
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C. (CIMA-V)
Presente

El Comité Científico del *Segundo Simposio Internacional sobre Energías Renovables y Sustentabilidad*, a celebrarse del 20 al 22 de Marzo de 2013 en las instalaciones del Instituto de Energías Renovables de la UNAM (antes Centro de Investigación en Energía), le comunica que su trabajo:

**“DISEÑO Y PRUEBA DE UNA CASETA PARA DETERMINAR
SIMULTÁNEAMENTE EL FLUJO TÉRMICO A TRAVÉS DE VARIAS LOSAS PARA
TECHUMBRE, DOTADAS DE DIVERSOS RECUBRIMIENTOS”**

J. Lucero-Álvarez, I.R. Martín-Domínguez

ha sido aceptado para su presentación en la Sesión de Carteles: “Energía en Edificaciones”, para lo cual se les pide estar presentes de las 12:15 – 14:00 hrs. de los días señalados en el Programa Técnico. Su trabajo deberá ser presentado en un formato de cartel de 90 cm x 120 cm, el cual deberá ser colocado el 20 de marzo, entre las 8:00 hrs y las 11:00 hrs am. El Programa Técnico completo del Simposio estará disponible en la página (<http://www.cie.unam.mx/AIEST/isres.html>). En la misma página encontrará información adicional sobre el evento.

El Comité Organizador del simposio aprovecha la oportunidad para informarle que el día jueves 21 de marzo se tendrá una cena para continuar con la celebración del simposio y para favorecer el intercambio de ideas e información con los ponentes. El costo de recuperación de la cena será de \$300.00, los cuales deberán ser cubiertos durante el registro al evento. Con el objeto de prever el número de asistentes a la cena, agradeceríamos nos confirmaran su asistencia vía electrónica.

Finalmente, agradecemos su participación y esperamos contar con su valiosa presencia a la segunda edición de este importante evento científico.

ATENTAMENTE


Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez.
A nombre del Comité Organizador



Universidad Nacional
Autónoma de
México



El Instituto de Energías Renovables de la
Universidad Nacional Autónoma de México

otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a

J. Lucero-Álvarez, I.R. Martín-Domínguez

por su participación en el

2º Simposio Internacional sobre Energía Renovables y Sustentabilidad

los días 21, 22 y 23 de marzo de 2013

con el trabajo

***DISEÑO Y PRUEBA DE UNA CASETA PARA DETERMINAR
SIMULTÁNEAMENTE EL FLUJO TÉRMICO A TRAVÉS DE VARIAS LOSAS PARA
TECHUMBRE, DOTADAS DE DIVERSOS RECUBRIMIENTOS***

Temixco, Morelos a 23 de marzo de 2013

Dr. Alipio G. Calles Martínez
Coordinador General del AIEST

Dra. Julia Tagüena Parga
Encargada del Despacho de Asuntos
Administrativos de la
Dirección del IER

Dr. Edgar R. Santoyo Gutiérrez
Comité Organizador



2012
AÑO INTERNACIONAL DE LA
ENERGÍA SOSTENIBLE
PARA TODOS