

DISEÑO FÍSICO Y TÉRMICO DE UNA CASETA PROTOTIPO PARA DETERMINAR EXPERIMENTALMENTE EL FLUJO TÉRMICO A TRAVÉS DE VARIAS DE LOSAS PARA TECHUMBRE, AISLADAS CON DIVERSOS RECUBRIMIENTOS

Jorge Lucero-Álvarez, Ignacio R. Martín-Domínguez* y María T. Alarcón-Herrera

Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.

Departamento de Energía Renovable y Protección al Medio Ambiente

Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua. 31109 Chihuahua, Chih. México.

*(614) 439-1148, ignacio.martin@cimav.edu.mx

RESUMEN

Para el diseño de un prototipo tipo caseta experimental, que se utilizará para determinar el flujo térmico a través de probetas de losas para techumbre con diversos recubrimientos, se realizó un análisis, con el método de elemento finito, del flujo de calor bidimensional en condiciones extremas, para conocer el efecto al flujo de calor en la interface de las probetas y la estructura de soporte, utilizando diferentes tamaños de probetas. El objetivo es determinar el tamaño mínimo de las probetas, de modo que se asegure un flujo de calor unidimensional en el centro geométrico de las mismas, también se define un error en los valores de las temperaturas superficiales en los centros de la probeta, al comparar los valores del método de elemento finito, para diferentes longitudes de la probeta, con valores obtenidos analíticamente para un flujo de calor unidimensional ideal (longitud de probeta infinita). Los resultados indican que longitud mínima debe ser de 0.4 metros para las probetas, a partir de esta longitud mínima, el flujo de calor puede ser considerado como unidimensional, y el error de efecto de la interface es menor a $\pm 0.1^\circ\text{C}$. El dimensionamiento de la caseta es realizado en base al tamaño mínimo de las probetas y considerando la mayor eficiencia en el uso de los materiales de construcción.

Palabras claves

Aislamiento térmico, uso de energía en edificaciones, flujo de calor, recubrimientos aislantes.

ABSTRACT

We present the design of an experimental shed, built to determine the heat flux through roofing concrete slab probes covered with different coatings. The interface between the slab probes and their lateral support structure inevitably cause the heat flow to deviate from simple one-dimensional (1D) conduction. We performed finite element analysis on the two-dimensional (2D) heat transfer of different flag sizes under extreme conditions, in order to calculate the minimum side length for which it was reasonable to assume 1D heat transfer at the geometric center of the probes. We also determined the expected error of our surface temperature predictions for the center of the probes, by comparing the values predicted by finite element analysis (for different flagstone sizes) to those analytically calculated assuming ideal 1D heat transfer. Our results indicate that the slab probes should be at least 0.4 m long. At this minimum length, the assumption of 1D heat flux produced an error of less than $\pm 0.1^\circ\text{C}$ due to edge effects. The rest of the shed was sized considering the minimum size of the

probes, and assuming optimum efficiency use of our other construction materials.

Keywords

Thermal insulation, energy use in buildings, heat flux, insulating coatings.

INTRODUCCIÓN

Confort ambiental en edificaciones

Una de las principales funciones de las construcciones es proteger a personas, equipos y materiales de un clima adverso, y en especial para la protección de temperaturas extremas que puedan afectar el metabolismo y la comodidad para el caso de las personas, el funcionamiento de los equipos o las propiedades de los materiales. Para conseguir que el interior de las construcciones cuente con un rango ideal de temperaturas, se han desarrollado una gran diversidad de equipamiento para obtener una climatización artificial, sin embargo estos equipos requieren de una significativa cantidad de energía, por ejemplo para el caso de viviendas en México, la calefacción y el aire acondicionado representa en promedio el 44% de total de consumo energético (Martín-Domínguez, 2004).

Uso eficiente de energía en edificaciones

La actual tendencia a hacer un uso más eficiente de la energía, ha llevado a utilizar materiales de construcción con una mayor resistencia al flujo de calor, de esta forma se evita que se pierda calor en invierno o que se gane en verano, resultando en un menor consumo de energía para alcanzar el rango de temperatura ideal que se requiere.

Recubrimientos aislantes

El techo de las construcciones representa uno de los elementos con mayor dinámica en la transferencia de calor con el ambiente, por lo que se han desarrollado comercialmente diversos productos para el recubrimiento de techos, que tienen por finalidad el proporcionar un mayor aislamiento térmico a las viviendas. La mayor parte de estos materiales tienen una estructura celular, que atrapa e inmoviliza aire u otro gas en su estructura, tales como el poliuretano esparcido, poliestireno extruido y la fibra de vidrio. Algunas pinturas incrementan la reflexión de la radiación solar incidente, reduciendo de tal forma la ganancia de calor por la absorción fototérmica de la radiación. En México, las losas de concreto representan uno de los principales materiales utilizados para los techos en diversas construcciones, por lo que es importante la evaluación de productos existentes en el mercado, así como de nuevos materiales que estén en proceso de investigación, utilizados para el recubrimiento de este tipo de techos con el propósito de incrementar la resistencia térmica del conjunto.

Medición del efecto aislante en techumbres

Si bien es posible hacer comparaciones teóricas (analíticas) del efecto aislante de cualquier recubrimiento del cual se conozca su conductividad térmica, los desarrolladores de nuevos productos aislantes prefieren tener resultados experimentales que les permitan comparar pragmáticamente el comportamiento de diferentes recubrimientos. Para lograr tal propósito se está desarrollando un dispositivo experimental que permitirá comparar simultáneamente varios tipos de recubrimientos aislantes. El dispositivo consiste en una caseta construida en termopanel (muro de poliuretano entre dos láminas metálicas), en la cual se mantendrán condiciones ambientales internas constantes y controladas, y en cuyo techo se colocarán entre 9 y 12 probetas rectangulares, en orificios cortados a la medida en el termopanel. Se fabricará una losa de concreto de 5 cm de espesor y de ella se cortarán piezas rectangulares, asegurándose que el espesor de todas sea idéntico, y se medirá en laboratorio certificado la conductividad térmica de las mismas. Colocando un termopanel en cada cara de una probeta, situados en su centro geométrico, bastará medir la diferencia de temperaturas entre las caras para poder calcular el flujo de calor existente a través de la losa, puesto que su espesor y conductividad son conocidos con precisión. Sobre cada probeta será posible colocar un diferente recubrimiento aislante, y si todas las probetas se colocan en los orificios preparados en el techo de la caseta y se exponen a las mismas condiciones climáticas exteriores, y en el interior de la caseta se tiene una misma condición de temperatura y velocidad del aire, entonces la medición de las temperaturas en las caras de cada probeta y los flujos de calor asociados a ellas permitirán a los desarrolladores de los materiales aislantes conocer objetivamente el desempeño de sus productos, comparados contra varios otros disponibles en el mercado y contra una losa sin aislamiento.

Definición del problema

Para garantizar que las mediciones realizadas de la forma aquí descrita sean representativas, es necesario sin embargo garantizar que en el centro geométrico de cada probeta se tienen condiciones de flujo de calor unidimensionales, esto es, que el calor fluye en la dirección normal (perpendicular) al espesor de la probeta. En teoría esto se logra cuando la probeta es una pared plana infinita, en la cual no se tienen efectos de los bordes, pero si se quieren acomodar hasta 12 probetas en el techo de la misma caseta, las probetas deberán ser no solo finitas, sino pequeñas, para que la caseta resulte de un tamaño manejable. La pregunta es entonces: ¿Cuál es el tamaño mínimo de probeta que, colocado en el techo de la caseta, permite tener condiciones de flujo de calor unidimensionales en su centro geométrico?

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo es determinar analíticamente cual es el tamaño mínimo que deberán tener las probetas que se utilizarán para determinar experimentalmente el flujo de calor a través de losas de concreto con diversos recubrimientos, para garantizar que las mediciones hechas en las probetas sean representativas del comportamiento de una techumbre completa.

Para ello se analizará el flujo de calor bi-dimensional, sobre el espesor y longitud de la probeta, utilizando el método del elemento finito, para probetas de varias longitudes, y se compararán los resultados obtenidos en el centro de la probeta contra los valores resultantes del análisis unidimensional. La

longitud de probeta que garantice alcanzar diferencias de temperatura inferiores a $\pm 0.1^\circ\text{C}$, entre el caso unidimensional y el bi-dimensional, se considerará como la longitud de diseño a usarse en los experimentos, y con ello se podrá dimensionar la caseta experimental.

METODOLOGÍA

Se determinarán las condiciones extremas de operación de la caseta, para invierno y verano, y en base a ellas se determinarán las temperaturas superficiales esperadas en las probetas, considerando flujo de calor unidimensional en estado estable. Para ello se considerarán las propiedades termo físicas de los materiales involucrados y el espesor de las probetas, así como los valores recomendados por la ASHRAE para coeficientes de transferencia de calor convectivos.

Se modelará una probeta y la estructura de soporte del techo utilizando el paquete FEHT (Finite Element Heat Transfer), con las condiciones de frontera antes mencionadas, para realizar el análisis bi-dimensional de flujo de calor en el conjunto, a diferentes tamaños de probeta.

Se compararán los resultados obtenidos para las temperaturas del centro de ambas caras de la probeta, para determinar las diferencias existentes entre el análisis uni- y bi-dimensional, tanto en los valores de temperaturas superficiales como en las diferencias entre caras (gradiente).

Se determinará gráficamente la longitud de probeta a la cual las diferencias entre los resultados del análisis bi-dimensional se acercan lo suficiente a los obtenidos mediante el análisis unidimensional ($\pm 0.1^\circ\text{C}$).

DISEÑO TÉRMICO

El diseño térmico de la caseta considera dos aspectos: asegurar que el flujo de calor sea aproximadamente unidimensional en la parte central de las probetas, y por otra parte realizar el cálculo de las cargas térmicas en condiciones extremas para la selección del equipo de climatización artificial. El dimensionamiento físico es realizado en base al tamaño mínimo de las probetas, al espacio disponible para la caseta, y considerando la mayor eficiencia en el uso de los materiales de construcción.

Las variables que serán medidas con la caseta son: temperatura de la superficie exterior (T_{se}) y temperatura de la superficie interior (T_{si}) de las probetas, la temperatura del aire exterior (T_{ae}) y la temperatura del interior de la caseta (T_{ai}), la irradiación solar (I_s), y humedad relativa del aire (hr), también se enviara una probeta sin recubrimiento a laboratorio para determinar su conductividad térmica (k).

Condiciones de diseño

La transferencia de calor a través de una sección de las losas para techo en cualquier construcción, se ve afectada por los mecanismos de *radiación* y *convección* en las superficies expuestas, tanto al ambiente exterior como al interior de la construcción, y por *conducción* en la misma losa. Para efectos de diseño se consideran las condiciones extremas de temperatura, y los coeficientes combinados de transferencia de calor por convección y radiación, también se supone un *flujo de calor unidimensional y en estado estacionario* (FCUE), de modo que el flujo de calor puede quedar expresado como:

$$\dot{Q} = h_e A (T_{ae} - T_{se}) = k A \frac{T_{se} - T_{si}}{d} = h_i A (T_{si} - T_{ai}) \quad [1]$$

Donde h_e y h_i representan los coeficientes combinados de transferencia de calor por convección y radiación del exterior e interior de la caseta, respectivamente. Considerando los valores de los coeficiente combinados sugeridos por el manual de fundamentos de la ASHRAE 1993 (Cengel, 2007, p. 181), las temperaturas extremas en invierno y verano de la ciudad de Chihuahua T_{ae} (Martín-Domínguez, 2004), la conductividad térmica de la probeta k (NOM 008-ENER-2001), el espesor de la probeta d , y la temperatura interior de diseño T_{ai} , se pueden calcular, las temperatura de la superficie exterior e interior de las probetas, T_{se} y T_{si} respectivamente, La Tabla 1 muestra los valores de diseño y los resultados de los cálculos para T_{se} y T_{si} en condiciones de verano e invierno.

Tabla 1. Datos para la Ecuación [1] y valores de las temperaturas en superficies de las probetas, para un FCUE en condiciones extremas.

| Componente | Símbolo | Valor | Unidades |
|--|----------|--------|----------------|
| Conductividad térmica de la probeta (concreto armado) | k | 1.740 | W/m \cdot °C |
| Conductividad térmica de la estructura (panel Multymuro 2 $^{\circ}$) | k | 0.018 | W/m \cdot °C |
| Área (base de cálculo = 1 metro cuadrado) | A | 1 | m 2 |
| Coefficiente de transferencia de calor combinado para interior. | h_i | 8.29 | W/m 2 ·°C |
| Espesor de la Probeta | d | 0.05 | M |
| Espesor de la Estructura | d | 0.0508 | M |
| CONDICIONES EXTREMAS DE VERANO | | | |
| Coefficiente de transferencia de calor combinado para exterior. | h_e | 22.7 | W/m 2 ·°C |
| Temperatura del aire exterior | T_{ae} | 40 | °C |
| Temperatura del aire interior | T_{ai} | 24 | °C |
| Temperatura superficie externa de la Probeta | T_{se} | 36.22 | °C |
| Temperatura superficie interna de la Probeta | T_{si} | 34.35 | °C |
| CONDICIONES DE INVIERNO | | | |
| Coefficiente de transferencia de calor combinado para exterior. | h_e | 34.0 | W/m 2 ·°C |
| Temperatura del aire exterior | T_{ae} | -10 | °C |
| Temperatura del aire interior | T_{ai} | 20 | °C |
| Temperatura superficie externa de la Probeta | T_{se} | -4.86 | °C |
| Temperatura superficie interna de la Probeta | T_{si} | -1.07 | °C |

Los resultados de las temperaturas superficiales T_{se} y T_{si} de la Tabla 1, corresponden a un flujo de calor unidimensional en estado estable (FCUE) y pueden ser utilizadas para analizar los efectos relacionados con la transferencia de calor en el contacto de las probetas y la estructura de soporte. Se consideran las temperaturas extremas ya que representan las condiciones en la que más se ve afectado el flujo de calor a través de la probeta, por el efecto del contacto con la estructura de soporte, que tiene diferente valor de k . Esta diferencia en los valores de la conductividad térmica entre la probeta y la estructura provoca que el flujo de calor no se comporte de forma unidimensional en la interface y en los bordes de la probeta y la estructura de soporte, para revisar este efecto, se realiza un cálculo de la distribución de temperatura a través de la sección vertical de las probetas, y el contacto con la estructura de soporte, utilizando el programa de elemento finito para transferencia de calor FEHT (*Finite Element Heat Transfer*). Las probetas serán de concreto armado con un valor aproximado de conductividad térmica k de 1.740 W/m \cdot °C (NOM 008-ENER-2001); para la estructura de

soporte se busca un material del mayor aislamiento posible. El material que se utilizará para la construcción de paredes y la estructura de soporte es un panel térmico de 2 pulgadas de espesor que consiste de dos laminas galvanizadas y un núcleo de poliuretano, con una conductividad térmica k equivalente de 0.018 W/m \cdot °C. La Figura 1 muestra la sección vertical de una probeta de longitud L , en contacto perimetral con la estructura de soporte. Se muestran las condiciones de frontera que se utilizaron para realizar el análisis de la distribución de temperatura en ambos cuerpos, que son flujo convectivo de calor arriba y abajo, y conductivo en las zonas de contacto con la estructura del techo.

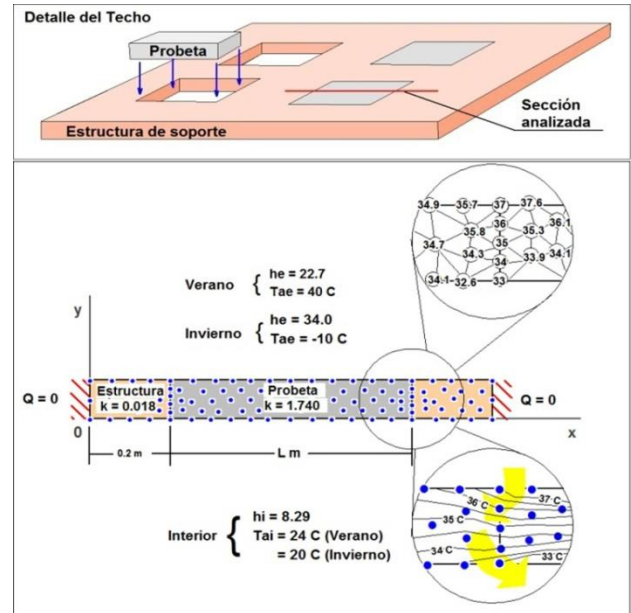


Figura 1. Condiciones para el análisis de distribución de temperatura y flujo de calor en la interfase probeta-estructura.

Para realizar el cálculo de las isothermas, es necesario configurar una serie de nodos, representados por los puntos azules en la Figura 1, y realizar una triangulación como se detalla en el círculo superior de la misma figura. Con los datos de las condiciones de frontera, y los valores de conductividad térmica, el programa FETH realiza un cálculo aproximado de la temperatura en cada nodo, por el método de elemento finito, con lo que se pueden delimitar las isothermas, y obtener gradientes de temperatura para conocer el comportamiento del flujo de calor en la interface, como se detalla en el círculo inferior de la Figura 1.

RESULTADOS

Condiciones de verano

Se realizó el análisis de la distribución de la temperatura para 5 diferentes longitudes de probeta L : 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5m; en la Figura 2 muestra los resultados con datos para las condiciones extremas de verano, para tres longitudes L de las probetas: 0.2, 0.3 y 0.4 metros, donde se detalla las isothermas en un rango de temperatura entre 31°C y 37°C, también se adiciona las temperaturas en los nodos del centro de la probeta, la línea roja sobre las probetas representa una desviación de 0.25°C en la superficie de la probeta con respecto a las temperaturas para un FCUE calculadas en la Tabla 1.

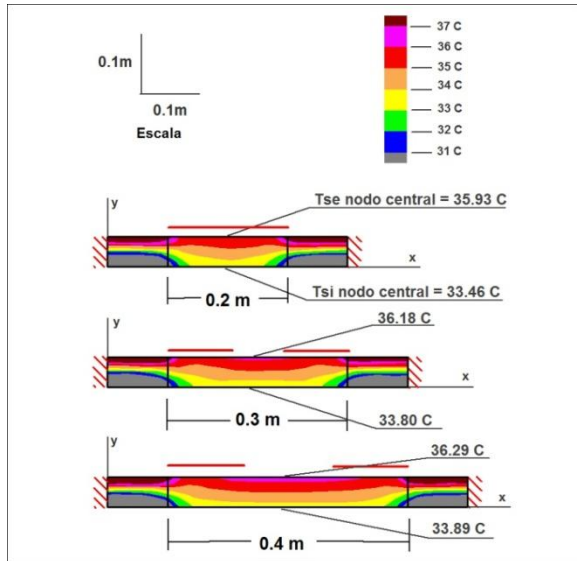


Figura 2. Distribución de temperatura para probetas con longitud L de 0.2, 0.3 y 0.4m, en condiciones de verano.

Condiciones de invierno

Para las condiciones de invierno, los resultados de la distribución de temperatura son mostrados en la Figura 3, donde se detalla el rango de temperatura entre 1°C y -5°C .

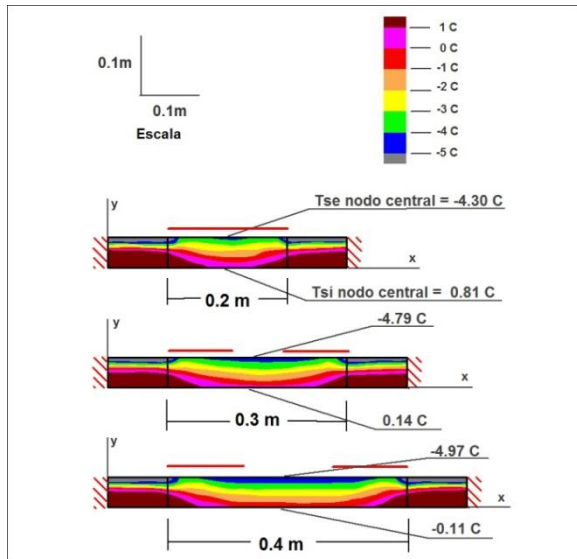


Figura 3. Distribución de temperatura para probetas con longitud L de 0.2, 0.3 y 0.4m, en condiciones de invierno.

Las Figuras 2 y 3 muestran como las isotermas en el centro de las probetas tienden a ser horizontales, o paralelas a las superficies expuestas, conforme aumenta las longitud de probeta L , al tener isotermas paralelas se puede considerar al flujo de calor como unidimensional.

Efecto en las temperaturas superficiales

La diferencia entre la temperatura calculada para flujo de calor unidimensional, y la temperatura de los nodos centrales en las superficies de la probeta (Tabla 1) del análisis bi-dimensional, se debe al efecto del borde de la probeta en contacto con la estructura de soporte, y se denota por E_i .

$$E_i(T_{se}) = T_{se, FCUE} - T_{se, nodo\ central} \quad [2]$$

$$E_i(T_{si}) = T_{si, FCUE} - T_{si, nodo\ central} \quad [3]$$

El gradiente de temperatura ΔT y el respectivo error por el flujo de calor en la interface E_i , están dados por:

$$\Delta T = T_{se} - T_{si} \quad [4]$$

$$E_i(\Delta T) = \Delta T_{FCUE} - \Delta T_{nodo\ central} \quad [5]$$

En la Tabla 2 se muestra los resultados de las temperaturas en el centro de las superficies de las probetas y los gradientes de temperatura, en esta tabla se puede comparar los valores para un FCUE (longitud infinita de probeta) con los valores obtenidos con el análisis bi-dimensional para diferentes longitudes de probeta. La Tabla 3 corresponde a los errores por el flujo de calor en la interface E_i tanto en las superficies de probetas como en los gradientes.

Tabla 2. Resultados del cálculo de temperaturas (en $^{\circ}\text{C}$) para un FCUE y en nodos centrales de las superficies de probetas para diferente longitud de probeta L .

| | FCUE | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Longitud de Probeta (m) | | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| VERANO | | | | | | |
| Tse ($^{\circ}\text{C}$) | 36.36 | 35.57 | 35.93 | 36.18 | 36.29 | 36.33 |
| Tsi ($^{\circ}\text{C}$) | 33.98 | 32.79 | 33.46 | 33.8 | 33.89 | 33.94 |
| ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | 2.38 | 2.78 | 2.47 | 2.38 | 2.4 | 2.39 |
| INVIERNO | | | | | | |
| Tse ($^{\circ}\text{C}$) | -5.06 | -3.35 | -4.3 | -4.79 | -4.97 | -5.03 |
| Tsi ($^{\circ}\text{C}$) | -0.24 | 2.49 | 0.81 | 0.14 | -0.11 | -0.19 |
| ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | -4.82 | -5.84 | -5.11 | -4.93 | -4.86 | -4.84 |

Efecto en los gradientes de temperatura en la losa

Al restarse o sumarse el error E_i en ambas temperaturas de superficies, el error en los gradientes de temperatura es compensado, por lo que la magnitud del error en los gradientes es menor que el de las temperaturas superficiales (Tablas 2 y 3).

Tabla 3. Resultados de los errores por efecto del flujo de calor en la interfase E_i de probetas para diferente longitud de probeta L .

| Longitud de Probeta (m) | | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| VERANO | | | | | | |
| $E_i(T_{se})$ ($^{\circ}\text{C}$) | | 0.79 | 0.43 | 0.18 | 0.07 | 0.03 |
| $E_i(T_{si})$ ($^{\circ}\text{C}$) | | 1.19 | 0.52 | 0.18 | 0.09 | 0.04 |
| $E_i(\Delta T)$ ($^{\circ}\text{C}$) | | -0.40 | -0.09 | 0.00 | -0.02 | -0.01 |
| INVIERNO | | | | | | |
| $E_i(T_{se})$ ($^{\circ}\text{C}$) | | -1.71 | -0.76 | -0.27 | -0.09 | -0.03 |
| $E_i(T_{si})$ ($^{\circ}\text{C}$) | | -2.73 | -1.05 | -0.38 | -0.13 | -0.05 |
| $E_i(\Delta T)$ ($^{\circ}\text{C}$) | | 1.02 | 0.29 | 0.11 | 0.04 | 0.02 |

Determinación gráfica de la longitud mínima de probeta

Los errores por el efecto del flujo de calor en la interface E_i pueden ser graficados para cada longitud de probeta L , la Figura 4 muestra los resultados para las temperaturas de los nodos centrales en las superficies exterior e interior de la probeta calculadas con FETH para distintos valores de L . Considerando un rango aceptable de $\pm 0.1^\circ\text{C}$, que representa una exigencia mayor que la precisión de los termopares comunes, la longitud de probeta (L) mínima aceptada es de 0.4 m. Los errores E_i correspondientes a las condiciones de verano con L igual a 0.4 m son 0.07°C para la temperatura de la superficie exterior T_{se} , y 0.09°C para la temperatura de la superficie interior T_{si} , mientras que para las condiciones de invierno son de -0.09°C para la T_{se} y -0.13°C para la T_{si} , a excepción de este último valor, el resto está dentro del rango de aceptación. Estos resultados concluyen que para no tener un efecto significativo en el flujo de calor por efecto de la interface, es recomendable tener probetas con longitudes mayores o iguales a 0.4 m.

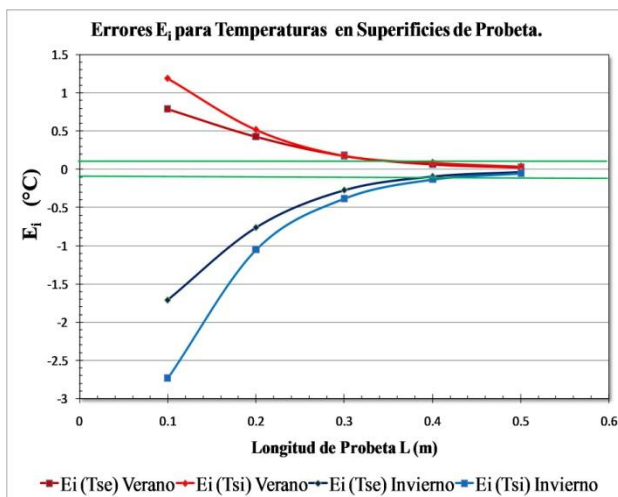


Figura 4. Gráfica de errores E_i para temperaturas de nodos centrales en superficies de probeta. Las líneas verdes representan el rango de $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

Los errores E_i para los gradientes de temperatura son mostrados en la Figura 5, los valores de E_i para la longitud de probeta L igual a 0.4 m, son 0.02°C para las condiciones de verano y 0.04°C para las condiciones de invierno, por lo que el error E_i en los gradientes es todavía de menor magnitud por la compensación antes mencionada.

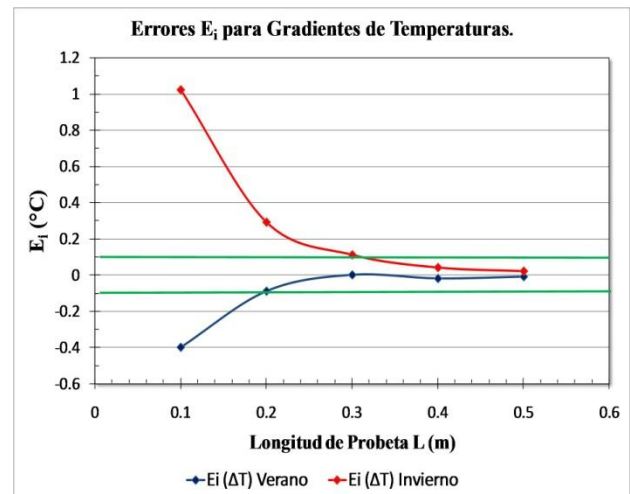


Figura 5. Gráfica de errores E_i para gradientes de temperaturas. Las líneas verdes representan el rango de $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

Dimensiones de la caseta experimental

Un vez que se obtiene la longitud mínima para las probetas, con el análisis de distribución de temperaturas, la cual resultó ser de 0.4 m, se procede a realizar la planeación física de la caseta. El panel con aislante térmico tiene un espesor de 0.0508 m y un ancho efectivo de 1.1 m. El arreglo del número de probetas que se recomienda es de 3×3 , con un espaciado de 0.25 m entre cada probeta, de este modo la planta de la caseta es de $2.20 \text{ m} \times 2.20 \text{ m}$, y se construye con dos paneles por cada lado, la altura de la caseta es similar a la de una vivienda de interés social. También se contempla una caseta adyacente para el equipo de adquisición de datos y computadora, ambas casetas deben estar climatizadas artificialmente, por lo que es necesario el cálculo de las cargas térmicas. En las Figuras 6 y 7 se presenta la planta y una sección N-S de la caseta experimental, con las principales dimensiones y parte de la instrumentación que será utilizada.

Instrumentación

La instrumentación necesaria para evaluar las variables que serán analizadas, incluye 20 termopares tipo K, para la medición de la temperatura en las superficies externa e interna de las probetas, así como la temperatura del interior de la caseta. Además se contempla una estación meteorológica portátil para medir la temperatura ambiental, la irradiación solar, y la humedad relativa del aire. Estos instrumentos estarán conectados a un sistema de adquisición de datos multicanal para el almacenamiento de los datos, y un equipo de cómputo para la transferencia y el procesamiento de los datos. Con esta instrumentación se tomarán medidas por periodos extendidos de tiempo, entre 2 y 4 semanas, durante las estaciones de verano e invierno.

CONCLUSIONES

Para el diseño de una caseta experimental donde se pueda determinar el flujo de calor a través de probetas que representen losas para techos con diversos recubrimientos, se realizó un cálculo del flujo de calor bi-dimensional, con el método de elemento finito, para conocer la distribución de temperaturas en una sección vertical de una probeta base (sin recubrimiento), y en el contacto con la estructura que soporte, de esta forma se analiza el efecto del flujo de calor a través de dos materiales con diferente valor de conductividad térmica, y se define un error para las temperaturas superficiales de las probetas. Para

efectos de los cálculos se consideraron cinco diferentes longitudes de probetas. De este análisis se concluye que las probetas deben tener como longitud mínima para sus lados 0.4 metros, para que el error por el efecto del contacto con la estructura de soporte sea menor de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. El diseño para un arreglo de 3×3 probetas resulta en una caseta con dimensiones de $2.2 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$.

REFERENCIAS

ASHRAE (2009) Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Atlanta, GA, USA.

Cengel, Y. (2007) Transferencia de Calor y Masa: un Enfoque Practico, Tercera Edición, p 132-189. McGraw Hill. México.

Martín-Domínguez, I.R. (2004) Desarrollo de un Simulador para la Optimización Termo-económica de Viviendas de Interés Social, p 28-40. Reporte Final Proyecto SIVILLA - CONACyT. CIMAV, Chihuahua, Chih. México.

NOM-008-ENER-2001. Norma Oficial Mexicana. Eficiencia Energética en edificaciones, envolventes de edificios no residenciales. Diario Oficial. Miércoles 25 de Abril de 2001, 2ª Edición, p.59-100.

Önder, K.; Yumrutas, R. y Arpa, O. (2009) Theoretical and Experimental Investigation of Total Equivalent Difference (TETD) Values for Buildings Walls and Flat Roof in Turkey, Applied Energy, Vol. 86, p 737-747.

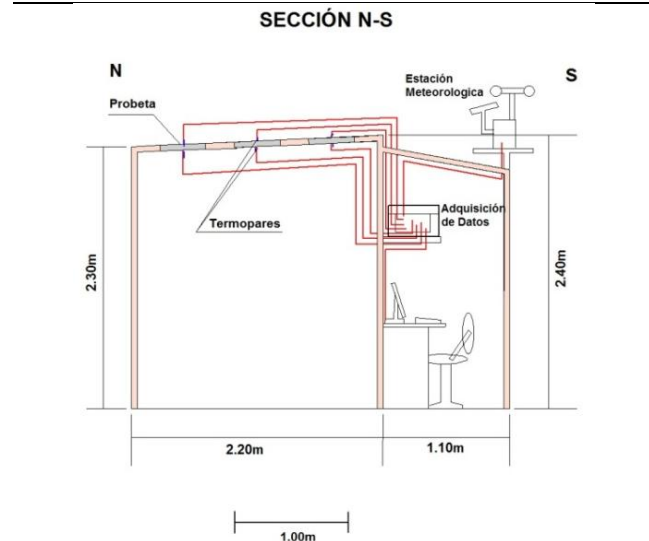


Figura 7. Vista en sección de la caseta experimental.



Figura 6. Vista en planta de la caseta experimental.



XXXIV Semana Nacional de Energía Solar



Guanajuato 2010
Estrategia Independencia

Por la Independencia y Revolución Energéticas de México

La Asociación Nacional de Energía Solar, AC, y la Universidad de Guanajuato, organizan la XXXIV Semana Nacional de Energía Solar a celebrarse del 4 al 9 de Octubre de 2010 en la Ciudad de Guanajuato, Gto.

- Conferencias Magistrales
- Cursos de Actualización
- Sesiones Técnicas
- Foro Industrial
- Premio al Emprendedor Solar
- Concurso de Embarcaciones Solares
- Concurso de Pintura Infantil



Informes e Inscripciones:
<http://www.anes.org>

Guanajuato es México, México eres tu... ¡Celebra!

