Artículo **Revista de Aplicaciones de la Ingenieria**
Septiembre 2017 Vol.4 No.12, 20-28

Método para determinar conductividad térmica por comparativo longitudinal de flux de calor

MACÍAS-MELO, Edgar Vicente* †, TORRES-AGUILAR, Carlos Enrique, AGUILAR-CASTRO-Karla María y PÉREZ-OLÁN, Isa Yadira

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Recibido Julio 8, 2017; Aceptado Septiembre 14, 2017

Resumen

En los últimos años, una de las alternativas para reducir el consumo de energía ha sido el análisis de sistemas térmicos. Por lo que es necesario conocer las propiedades térmicas de los materiales empleados. Esto ha propiciado el desarrollo de métodos para determinar propiedades tales como la conductividad térmica en materiales de construcción, aunque la mayoría de los métodos son costosos y poco representativos. Por lo que, en este estudio, se desarrolló la aplicación de un método que consiste en determinar la conductividad térmica de una placa de un material desconocido (madera), a partir de las mediciones de flux de calor que pasan a través de ella y de dos placas de referencia (poliestireno extruido). Estos resultados fueron comparados con una simulación numérica en 2D para obtener la conductividad térmica. Los resultados mostraron que el sistema alcanzó la estabilización en 3 horas después de haber iniciado el experimento y al compararse con la simulación se determino que la conductividad térmica de la placa de madera fue de 0.119 W/mK. Por lo que, este método permite conocer la conductividad térmica en materiales desconocidos, lo cual podria facilitar el análisis de sistemas térmicos teóricos o experimentales.

Conductividad térmica, flux de calor, simulación numérica, sistemas térmicos

Abstract

In recent years, the analysis of thermal systems has been employed to reduce the energy consumption so that it is necessary to know the thermal properties of the materials. There are different methods apply to typical materials, but these are expensive and insufficient. So, in this study, the application of a method to determinate the conductivity thermal of a plate of unknown material was made. The method consisted of measuring of heat fux through of the unknown sample (wood plate) and two reference plates (extruded polystyrene) with known properties. These results are compared and evaluated with a 2D numerical simulation considering the same time of the experiment to obtain the thermal conductivity of the unknown sample. The result showed that the stability of analized system was achieved after 3 hours and when was compared with simulation was determined the thermal conductivity of wood plate, 0.119 W/mK. So, this method permits to know the thermal conductivity of unknow materials facilitate the experimental or theorical thermal systems analisys.

Thermal conductivity, heat flux, numerical simulation, thermal systems

Citación: MACÍAS-MELO, Edgar Vicente, TORRES-AGUILAR, Carlos Enrique, AGUILAR-CASTRO- Karla María y PÉREZ-OLÁN, Isa Yadira. Método para determinar conductividad térmica por comparativo longitudinal de flux de calor. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería.2017.4:12, 20-28.

*Correspondencia al Autor:(Correo Electrónico: edgarvmaciasmelo@gmail.com)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

© ECORFAN-Bolivia

Introducción

En los últimos años, el aumento en el consumo energético a nivel mundial se ha convertido en un problema de constante crecimiento en varias naciones del mundo. Pues tan solo en los Estados Unidos el consumo principal de energía ha aumentado 10% tan solo hasta el 2012 de acuerdo con "Energy Information Administration" (EIA) (Cao et al 2016), por lo que el estudio de sistemas térmicos con fines de ahorro de energía es una alternativa de solución ante tal problemática.

En México se han creado normas oficiales publicadas en el Diario Oficial de la Federación para regular la eficiencia energética en edificaciones y envolventes de edificios para uso habitacional y edificios no residenciales (Norma Oficial Mexicana 2001 y 2011), por lo que es necesario el desarrollo de métodos para conocer las propiedades térmicas de los materiales empleados en la construcción. Una de las propiedades de interés a conocer para realizar cualquier análisis térmico, es la conductividad térmica, la cual controla la razón de flujo de calor en el medio y permite conocer que materiales conducen mejor el calor que otros.

Existen estudios de aplicación en los que interviene esta propiedad térmica tal como se menciona en el trabajo de Ruiz et al (2016), en el que se estudia el comportamiento térmico de un muro con distintos materiales de mampostería y Torres Aguilar et al (2016), que, por medio de simulaciones numéricas, se determinó la eficiencia energética de edificios residenciales, a partir de las distintas configuraciones y propiedades térmicas de los materiales empleados. Desde su formulación por el físico matemático Jean Baptiste Fourier, el primero en dar una definición de la conducción de calor y una teoría matemática de la misma (Reif-Acherman 2014).

Se han desarrollado distintas metodologías para conocer esta propiedad tal como el de la placa caliente con guarda, hasta técnicas con laser empleadas hoy en día. Estas ultimas pruebas, debido a su elevado costo economico, limita su uso obligando la búsqueda de otras técnicas para conocer propiedades térmicas en materiales solidos.

Entre los métodos teóricos, se encuentran las soluciones numéricas tales como presentan Ukraincyk *et al* (2009), en cuyo trabajo proponieron una solución numérica por el método inverso de Levenberg-Marquardtl para obtener la difusividad térmica de materiales como la glicerina. Aunque el método reportado tiene un error máximo de 0.7%, este método se limita a materiales como liquidos no metàlicos y aceites.

O trabajos como el de Monde et al (2010) en el que mediate la solución inversa de la conducción de calor en una dimensión, determinaron la difusividad térmica y la conductividad térmica de muestras con tan solo la medición de 3 minutos y con un error de 1%, sin embargo, solo se limitan a muestras de $6cm^{2,}$ lo que implicaría analizar solo muestras metalicas, ya que presentan mayor homogenoidad en sus propiedades térmicas.

Existen normas que establecen métodos experimentales como la ASTM C 177 para la medición del flujo de calor y propiedades de transmisión térmicas o la ASTM C 408 para la conductividad térmica en materiales cerámicos, entre otras. Los métodos empleados en estas normas presentan un amplio rango de evaluación de conductividades térmicas para materiales, mediante especímenes representativos de mayor dimensión.

ISSN-2410-3454
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Trabajos como el de Peña et al (2014) y Barea et al (2006), presentan métodos experimentales para la determinación de la conductividad térmica acogiendo las normas antes mencionadas por métodos comparativos, aplicados específicamente en bloques de arcilla roja y materiales cerámicos, elementos empleados en el ramo de la construcción.

En México, el Centro Nacional de Metrología (CENAM), describe un método experimental para la determinación de la conductividad térmica para materiales aislantes en el que emplean un Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG). A partir de ello, se han presentado trabajos empleando este método experimental por Lira et al (2008) y Lira et al (2010) en los que se construyó el sistema de medición y son aplicados en materiales para la construcción como metales, poliestireno, yeso, pvc, entre otros. Determinando valores con una incertidumbre no mayor al 2% en materiales aislantes y 10% en materiales no aislantes o que sobrepasan los límites definidos de operación del padrón nacional.

Por lo que en este trabajo se presenta un método para determinar la conductividad térmica de materiales mediante comparativo longitudinal de flux de calor, que consiste en la evaluación de las mediciones de flux de calor que pasan a través de dos materiales de referencia y una placa cuyas propiedades son desconocidas con los resultados obtenidos en una simulación numérica en 2D habiendo alcanzado el estado permanente.

Descripciòn del método

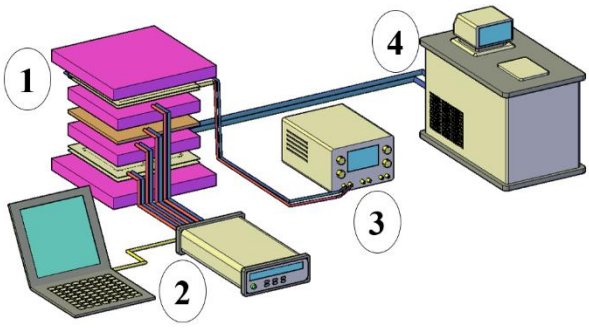


Figura 1 Esquema general del sistema del comparativo longitudinal de flux de calor. (1) Placas de referencia y muestra desconocida, (2) sistema de adquisición de datos, (3) fuente de poder y (4) baño térmico
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1 se muestra el esquema general del modelo experimental para determinar la conductividad térmica por comparativo longitudinal. Se aprecian los equipos empleados para la medición: tèrmopares tipo T, conectados a un multímetro digital Agilent 34979A; una PC como sistema de sistema de adquisición de datos; un baño térmico con sistema de enfriamiento de capacidad de 5lt; y una fuente de corriente directa de 32 V y 6 A empleada en las placas isotérmicas.

Para la calibración de los termopares, se empleó un baño térmico y una sonda de cobre. Las puntas de los termopares se 0conectaron al interior de la sonda, y esta fue introducida al baño térmico, el cual tiene una precisión de 0.01°C de estabilización de la temperatura alcanzada.

Se tomaron lecturas por dos horas, y con los datos recabados, se realizó un análisis de desviación estándar y error estándar de estimación en los termopares. Finalmente, se determinaron los coeficientes del comportamiento lineal de los termopares para introducirlos al sistema de adquisición de datos.

ISSN-2410-3454
ECORFAN® Todos los derechos reservados

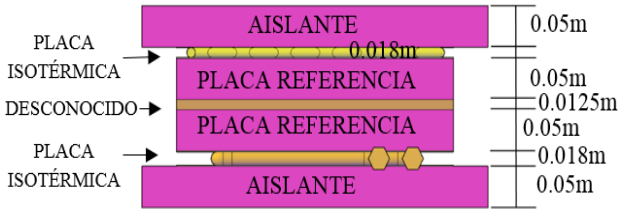


Figura 2 Espesores y configuración de las placas empleadas en el sistema

La distribución de las placas aislantes, de referencia, isotérmicas y el espécimen desconocido, se muestran en la Figura 2. Tanto las placas aislantes y de referencia estaban conformadas de poliestireno extruido o comumente conocido como "foamular" de 0.5 m × 0.5 m; para las placas aislantes al igual que las isotérmicas y de material desconocido son de 0.4 m × 0.4 m.

La placa isotérmica superior estaba conformada principalmente por dos placas de aluminio de 1.5mm que envolvían una resistencia elèctrica distribuida uniformemente por toda el área de contacto entre las placas de aluminio.

La placa isotérmica inferior cumplía la función de un intercambiador de calor ya que en su interior se conformaba por un sistema de tubería de cobre conectada directamente al baño térmico, el cual estaba configurado para hacer circular agua a 15 ºC.

De esta manera se inducía un flux de calor en dirección hacia el intercambiador de calor, atravesando las placas de referencia y del material desconocido. Este método permite emplear distintas dimensiones de espesor para las placas de referencia y material desconocido a costa de mantener el sistema en funcionamiento durante mas tiempo. El caso de estudio presentado como material desconocido fue una placa de madera comercial de 0.0125 m de espesor.

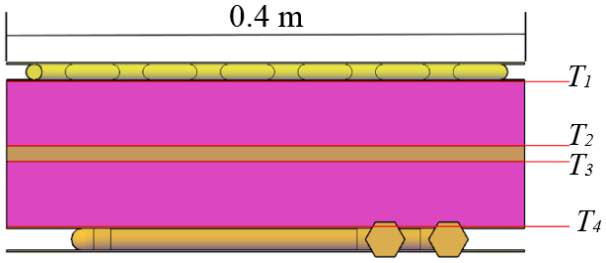


Figura 3 Posición de los termopares entre las placas

Para conocer la evolución de las temperaturas entre las placas del material desconocido y de refencia, se colocaron termopares tipo T como se muestra en la Figura 3. De tal manera que el arreglo permite conocer la temperatura en el centro de las placas, comenzando con T_1, entre la placa isotérmica con la resistencia elèctrica y la primera placa de referencia; T_2 entre la primera placa de referencia y el material desconocido; y asì sucesivamente hasta T_4.

Al iniciar la medición de las temperaturas en los puntos señalados, se encendieron el baño térmico y la resistencia electrica. Por lo que se registró la evolución de las temperaturas al interior del sistema hasta alcanzar el estado permanente, de aquí la importancia de las lecturas para la determinación de la conductividad térmica ya que se emplearon por lo menos 30 minutos de medición habiendo ya alcanzado el estado permanente para determinar esta propiedad. El sistema de adquisición de datos se configurò para obtener las lecturas de los termopares cada minuto.

Material	**Λ (W/m ºC)**	**P (kg/m^3)**	**C_p (KJ/kg ºC)**
Poliestiereno extruido (A 26.85°C, Máxima 78°C)	0.028	55	1210
Madera de pino (A 26.85°C)	0.119	510	1380

Tabla 1 Propiedades térmicas de las placas del material de referencia y para la madera comercial
Fuente: Bergman et al 2011 y Ozisik 1993

En la Tabla 1, se muestran las propiedades tèrmicas de los materiales comerciales empleados en el estudio. Como se mencionò anteriormente, la propiedad a determinar por este método fue madera de pino. Al final se mostrará la comparación entre el resultado obtenido y el valor comercial de la muestra.

Para obtener el valor de la conductividad térmica de la muestra, se tomaron mediciones de temperatura un tiempo después de haber alcanzado el estado permanente. Para entonces el flux de calor se expresa de la siguiente manera:

$$q''_{1-2} = q''_{2-3} = q''_{3-4} \tag{1}$$

La ecuación 1, representa la relación de los flux de calor que atraviesan por los materiales de referencia y desconocido, a partir de las temperaturas que se tomaron de acuerdo a los puntos mostrados en la Figura 3. Esta relación es aplicable cuando el sistema alcanzó el estado permanente. q''_{1-2} y q''_{3-4} representan el flux de calor a través de los materiales de referencia.

$$q''_{1-2} = \frac{\lambda_{r1}\left(T_1 - T_2\right)}{L_{r1}} \tag{2}$$

$$q''_{3-4} = \frac{\lambda_{r3}\left(T_3 - T_4\right)}{L_{r3}} \tag{3}$$

Por medio de la Ley de Fourier, se puede obtener la ecuación para obtener el flux de calor en los materiales de referencia, ecuación 2 y 3, ya que se conocen todas las variables:

λ_r: conductividad térmica de la placa de referencia (W/mºC).

T: temperatura registrada por el termopar en la posición indicada por el subíndice (ºC).

L_r: espesor de la placa de referencia (m).

Por ultimo el flux de calor q''_{2-3}, que corresponde al de la muestra desconocida, es igual al flux de calor de las placas de referencia, por lo que para determinar la conductividad térmica de la placa desconocida se empleó el siguiente despeje de la ecuación:

$$\lambda_d = \frac{q''_{2-3}L_d}{T_2 - T_3} = \frac{q''_{1-2}L_d}{T_2 - T_3} \tag{4}$$

λ_d: conductividad térmica de la placa desconocida (W/mºC).

L_d: espesor de la placa desconocida (m).

Por medio de la ecuación 3, se determinó la conductividad térmica de la muestra desconocida.A continuación, se mostrarán las ecuaciones gobernantes de la transferencia de calor empleadas en la simulación en 2D, para comparar los datos obtenidos experimentalmente con la solución numérica del fenómeno.

Ecuaciones gobernantes

Para realizar la simulación del modelo físico del método descrito en este trabajo, se empleó la ecuación gobernante de la transferencia de calor en 2D (Patankar 1980):

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}\right) \tag{5}$$

La ecuación 5 representa el campo de temperaturas al interior de un sólido a través del tiempo para materiales isotrópicos. Se empleó el método de diferencias finitas para la discretización de la ecuación gobernante.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

$$a_P T_P = a_E T_E + a_W T_W + a_N T_N + a_S T_S + b \quad (6)$$

$$a_E = \frac{\lambda_e \Delta y}{\delta x_e};\ a_W = \frac{\lambda_w \Delta y}{\delta x_w}$$

$$a_N = \frac{\lambda_n \Delta x}{\delta y_n};\ a_S = \frac{\lambda_s \Delta x}{\delta y_s}$$

$$a_P^0 = \frac{\rho C_P \Delta x \Delta y}{\Delta t}$$

$$b = a_P^0 T_P^0$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0$$

Donde las variables:
T: Temperatura en el nodo evaluado (ºC)
λ: Conductividad térmica en el nodo evaluado (W/m ºC)
ρ: Densidad (kg/m^3)
C_P: Calor especìfico (KJ/kgºC)
Δx: Volumen de control en x (m)
Δy: Volumen de control en y (m)
δx: Distancia entre nodos en x (m)
δy: Distancia entre nodos en y (m)
Δt: Intervalo de tiempo

La ecuaciòn 6 esta simplificada de tal manera para la solución de un sistema de ecuaciones que determinan el campo de temperaturas al interior.

Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera que se tomaron en cuenta para analizar el modelo físico, fueron las siguientes:

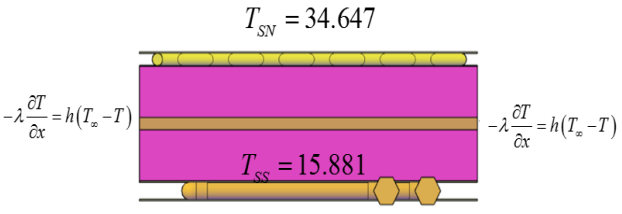


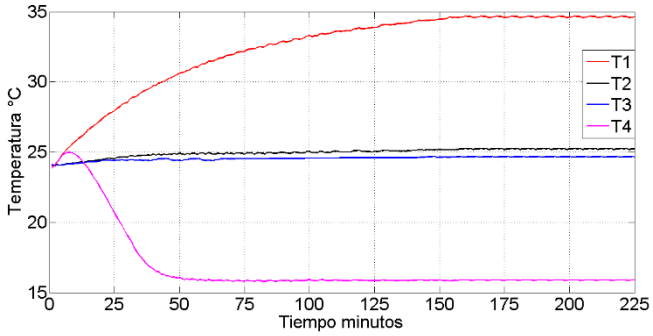
Figura 4 Condiciones de frontera empleados para la simulación

Como se muestra en la Figura 4, las fronteras norte y sur son de primera clase, el valor de estas temperaturas es la misma registrada durante el método experimental. Las fronteras este y oeste son de tercera clase, debido a que físicamente estas expuestas al ambiente. Para ello se emplearon coeficientes convectivos, h, de 6 W/m^2 ºC, y una temperatura ambiente de 24.085 ºC, temperatura registrada durante el experimento.

La simulación se llevó a cabo con un intervalo de tiempo de 30 segundos y la cantidad de nodos del sistema fue de 91 × 91, se tomaron estos valores de tiempo y cantidad de nodos ya que se alcanzó la independencia temporal y espacial del sistema en esos valores. A continuación, se mostrarán las temperaturas registradas por los termopares, la comparación con los resultados de la simulación en 2D y el cálculo final de la conductividad térmica desconocida.

Resultados

Se presentan los datos obtenidos a partir de la medición de temperaturas entre las placas:



Gràfico 1 Evolución de la temperatura entre placas.

El gràfico 1 muestra la evolución de las temperaturas desde el inicio de la prueba, cada una de acuerdo a las posiciones mostradas en la Figura 3, las cuatro lecturas se estabilizaron después de las 3 horas permitiendo asì el cálculo de la conductividad térmica de la placa de madera.

ISSN-2410-3454
ECORFAN® Todos los derechos reservados

El tiempo para que cualquier sistema alcance el estado permanente, dependerá del tipo de material y de las dimensiones de la misma. Tan solo es necesario superar los 30 minutos de medición durante el periodo en el que el sistema se estabiliza para proceder con los cálculos correspondientes.

Material	Posición de termopar	Temperatura promedio	Desviación estándar en la temperatura	Flux de calor
Referencia	1	34.6299	0.0320	5.2654
	2	25.2274	0.0181	
Desconocido (madera)	2	25.2274	0.0181	**5.28925**
	3	24.6693	0.0125	
Referencia	3	24.6693	0.0125	5.3131
	4	15.8894	0.0139	

Tabla 2 Datos adquiridos en estado permanente

La Tabla 2, muestra las lecturas de los termopares cuando el sistema alcanzò el estado permanente. Se tomaron 30 minutos de medición para determinar la temperatura promedio de cada posición y la desviación estándar de estos datos. Posteriormente, se calculó el flux de calor que pasa a través de las muestras de referencia para conocer el flux de la placa desconocida.

Para conocer este ultimo valor, se promediaron los dos flux conocidos, dando asì el valor de 5.28925 W/m^2. Conociendo este valor de flux, y empleando la ecuaciòn 3, el valor de la conductividad térmica de la placa de material desconocido resulto con un valor de 0.1184655 W/mºC.

Posteriormente empleando todos los datos adquiridos en la medición y del cálculo de la conductividad térmica del material desconocido, se procedió a realizar la simulación en 2D.

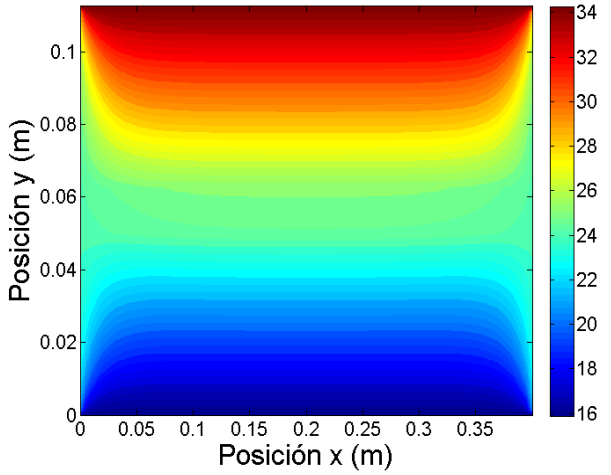


Figura 6 Campo de temperaturas en estado permanente

Como se muestra en la Figura 6, el campo de temperaturas se presenta de esa forma al alcanzar el estado permanente. El tiempo de simulación en el que alcanzó variaciones menores a 0.001 ºC, fue de 3 horas con 42 minutos y 30 segundos.

Además, se realizaron simulaciones en el que los resultados alcanzaron el estado permanente al tener variaciones en el paso del tiempo maximas de 0.01ºC y 0.1ºC. A continuación, se muestran los tiempos de simulación en los se que alcanzó el estado permanente de acuerdo a las variaciones de temperatura mencionadas anteriormente:

Variaciones ºC	t_{ep}	L (m)
0.1	00:12:30	0.04
0.01	00:39:00	0.0888
0.001	3:42:30	0.18222

Tabla 3 Tiempo necesario en alcanzar el estado permanente y longitud de cambio de temperatura por convección

La tercera columna de la Tabla 3, presenta los resultados de la distancia en dirección sobre el eje x, de la pared oeste hacia el centro de la placa desconocida, que representa el punto en el que no se muestran cambios de temperatura con respecto al centro del sistema.

ISSN-2410-3454
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Esto debido a las perdidas o ganancias de calor por convección, ya que el sistema no estaba aislado por las paredes del costado, lo que pudo retrasar el tiempo en el que el sistema alcanzó el estado permanente.

Las variaciones entre cada lapso de tiempo en la simulación, permitieron analizar cuanto tiempo demoró el sistema en alcanzar el estado permanente y su similitud con la medición experimental, para que, de esta manera, se lograra reproducir el campo de temperaturas al interior de las placas, exactamente en el lugar donde fueron colocados los sensores. Permitiendo determinar de esta manera, que el valor de la conductividad térmica encontrada a partir de las mediciones de flux de calor fue acertado.

Comparando el valor de la placa de madera presentado comercialmente, Tabla 1, con el determinado por comparativo longitudinal de flux de calor, existe una diferencia máxima de 0.45% entre ambos valores.

Conclusiones

En este trabajo se presentó un método para determinar la conductividad térmica de materiales sólidos. Se abordò un caso en el que se determinò la propiedad térmica de una placa comercial de madera, cuyo valor solo presenta una diferencia de no más del 0.45% del valor presentado en el mercado. El método es aplicable para distintas dimensiones de muestras representativas. Es ideal para materiales con una conductividad no mayor a los 200 W/mºC como el acero.

Para determinar el valor de la propiedad, es necesario conocer el flux de calor cuando el sistema ha alcazado el estado permanente y al ser comparado con la simulación en 2D, es posible determinar de forma precisa el comportamiento de la muestra de estudio.

De esta forma es posible conocer las propiedades térmicas de casi cualquier material de manera económica, comparado con otras técnicas, que son necesarias para cualquier estudio en sistemas térmicos en beneficio del medio ambiente y como métodos alternativos de ahorro de energìa.

Agradecimiento

A la Universidad Juàrez Autònoma de Tabasco por el apoyo y las facilidades para la realización de este trabajo.

Referencias

Barea R., Marín R., Osendi M.I., Martinez R., Miranzo P., (2006) Equipo comparativo para la medida de conductividad térmica de materiales cerámicos. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio 45 [2] 80-86

Bergman T., Lavine A., Incropera F., Dewitt D., (2011) Fundamental of Heat and Mass transfer, John Wiley & Sons, Inc.

Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zeroenergy buildings during the past decade. Energy and Buildings, 128, 198-213.doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089

Centro Nacional de Metrología (2007) Padrón Nacional de Conductividad Térmica CNM-PNE-16

Lira Cortés L., García Duarte S., Méndez Lángo E., González Durán E., (2010), Conductividad térmica de metales. Simposio de Metrologia 2010, SM2010-Car-29

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Lira Cortés L., González Rodríguez O. J., Méndez Lango E., (2008) Sistema de Medición de la Conductividad Térmica de materiales Sólidos Conductores, Diseño y Construcción. Simposio de Metrología 2008, SM2008-M218-1095-1

Lira Cortés L., González Rodríguez O. J., Méndez Lango E., (2008) Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones. Simposio de Metrología 2008, SM2008-S4C2-1100-1

Masanori Monde, Masataka Kosaka, Yuichi Mitsutake, (2010) Simple measurement of termal diffusivity and termal conductivity using inverse solution for one-dimensional heat conduction, International Journal oh Heat and Mass Transfer 53 5343-5349

Neven Ukraincyk, (2009) Thermal diffusivity estimation using numerical inverse solution for 1D heat conduction, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52 5675-5681

Norma Oficial Mexicana (2001), Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales, NOM-008-ENER-2001

Norma Oficial Mexicana (2011), Eficiencia energética en edificaciones-envolvente de edificios para uso habitacional, NOM-020-ENER-2011

Ozisik M. N., (1993) Heat Conduction, JOHN WILEY & SONS, INC, New York, USA
Patankar, Suhas V., (1980), Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation, EUA.

Peña Rodriguez G., Peña Quintero J. Y., Gómez Tovar M. A., (2014) Determinación Experimental de la Conductividad Térmica Efectiva en Bloques Extinguidos de Arcilla Roja, Revista Ciencia en Desarrollo ISSN 0121-7488

Ruiz F., Hernandez E., Aguilar K., Macías E., (2016) Comparacipon de la solución analítica y numérica de la ecuación de diffusion de calor unidimensional en estado transitorio aplicado a un muro, Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, ECORFAN ISSN-2410-3454
Simón Reif-Acherman, (2014), Early and current experimental methods for determining thermal conductivities of metals, International Journal of Heat and Mass Transfer 77 542-563

Torres-Aguilar C., Serrano-Arellano J., Macías-Melo E., Aguilar-Castro K.., (2016) Diseño arquitectónico con elementos bioclimáticos para el confort térmico en viviendas de Hidalgo, Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, ECORFAN ISSN-2410-3454

Torres-Aguilar C., Serrano-Arellano J., Macías-Melo E., Trejo-Torres B., (2016) Simulación energética de prototipo de vivienda de interés social para evaluar el confort térmico, Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, ECORFAN ISSN-2410-3454

ECORFAN® Todos los derechos reservados