

# Análisis de las propiedades térmicas del Arundo Donax (carrizo) y Zea Mays (caña maíz) para su uso como material aislante de cubiertas

*Analysis of the Thermal Properties of Arundo Donax (reed) and Zea Mays (corn reed) for use as Insulation Material for Roofs*

César Armando Guillén Guillén  
Facultad de Arquitectura,  
Universidad Nacional Autónoma de México  
guillendos@gmail.com

Alberto Muciño Vélez  
Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje  
Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México  
amucino@unam.mx

Perla Santa Ana Lozada  
Facultad de Arquitectura,  
Universidad Nacional Autónoma de México  
psal@unam.mx

Gemma L. S. Verduzco Chirino  
Facultad de Arquitectura,  
Universidad Nacional Autónoma de México  
gemma@unam.mx

ARTÍCULO

## Resumen

El estudio de las cubiertas de la vivienda social evaluadas por medio de un diagnóstico térmico donde se utiliza como único indicador la resistencia térmica (valor R) de los materiales que la componen arroja como resultados valores de conductividad altos en los materiales que la configuran, reconociendo un modelo de vivienda ineficiente. El diseño de envolventes térmicamente eficientes bajo normas internacionales define el aislamiento como estrategia para controlar temperaturas interiores utilizando la transmitancia térmica (valor U) como unidad de análisis. Los materiales aislantes convencionales aún no resultan ambiental y económicamente viables para su aplicación útil en la vivienda social ubicada en zonas rurales en la región sur de México. Por ello es primordial la búsqueda de materiales apropiados térmicamente con el objetivo de determinar sus propiedades térmicas por medio de evaluación experimental bajo régimen dinámico aprovechando sus recursos naturales. Los resultados permiten proponer una alternativa de aislamiento en cubiertas con materiales locales naturales para reducir la temperatura interior a rangos que oscilan entre 26 y 31°C. El análisis de las propiedades térmicas de los materiales evaluados por el método transitorio de fuente de calor lineal los clasifica como aislantes por los coeficientes resultantes al ser contrastados con los convencionales. Actualmente es necesario incorporar la difusividad térmica como unidad de análisis para la selección de materiales aislantes en arquitectura.

**Palabras clave:** propiedades térmicas, materiales naturales, aislamiento térmico, difusividad térmica, comportamiento dinámico

Fecha de recepción: 27 de marzo de 2018  
Fecha de aceptación: 17 de junio de 2018

DOI: 10.22201/fa.2007252Xp.2018.18.67947

Esta investigación forma parte del proyecto PAPIIT No. 404218 y del proyecto CONACYT-SENER con No. 260155 Titulado "Laboratorio para la enseñanza de la Edificación Sustentable".

**Abstract**

*The study of the roofs of public housing complexes evaluated through a thermal diagnosis with the sole indicator of the thermal resistance (R-value) of the component materials yields high conductivity values for these materials, revealing an inefficient housing model. The design of thermally-efficient enclosures in accordance with international norms defines insulation as a strategy for controlling interior temperatures using thermal transmittance (U-value) as the unit of analysis. Conventional insulation materials are not yet environmentally or economically viable for useful application in public housing located in rural areas of southern Mexico. It is therefore essential to search for thermally appropriate materials in order to determine their thermal properties by means of an experimental evaluation under a dynamic scheme that takes advantage of natural resources. The results allow us to propose an alternate roofing insulation method using local, natural materials that reduce interior temperatures to between 26°C and 31°C. The analysis of the thermal properties of the materials evaluated through the transient linear heat source method classifies them as insulators due to the resulting coefficients when contrasted with conventional insulators. It is currently necessary to incorporate thermal diffusivity as a unit of analysis in order to select insulation materials in architecture.*

**Key words:** *thermal properties, natural materials, thermal insulation, thermal diffusivity, dynamic behavior*

**Antecedentes**

La vivienda social estaba destinada a satisfacer las demandas de habitación de aquellas personas con menos de cuatro salarios mínimos bajo un esquema funcionalista que se modificó a través de un enfoque económico. Lo anterior estaba basado en la reducción de la calidad del espacio y en los materiales, generando un modelo de vivienda tipo que no mide consecuencias del comportamiento térmico de la cubierta y su efecto en el espacio interior, donde difícilmente se logra habitabilidad dentro de rangos de temperaturas aceptables.

En este trabajo se analizan techos por ser el elemento de mayor transferencia térmica hacia el interior en la vivienda y se plantea que su inadecuado desempeño térmico es causado por un deficiente análisis de las propiedades térmicas de los materiales que lo configuran. Se

considera inadecuada la temperatura superficial interior de las cubiertas con más de 31°C<sup>1</sup> para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.<sup>2</sup> Reconociendo que la respuesta térmica de los materiales dentro de un sistema constructivo es dinámica y multifactorial, esta investigación acota las variables de análisis en las propiedades térmicas de los materiales y su capacidad de aislamiento.

Las características térmicas de un material se determinan por su reacción ante estímulos provocados por el calor, considerado éste como la energía interna de un cuerpo que es generada por el movimiento de las moléculas que lo conforman y que modifica la temperatura, el cual es el parámetro de rendimiento en los espacios interiores.<sup>3</sup> El calor es energía y se transfiere por conducción, convección y radiación cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos. En la arquitectura se considera la envolvente como el medio regulador del flujo de energía térmica entre la temperatura exterior y la temperatura interior, y para su valoración se considera la transferencia de calor que atraviesa la envolvente, en función de sólo una propiedad térmica de análisis: la conductividad. Sin embargo, los materiales poseen más propiedades térmicas no consideradas en el cálculo de la resistencia térmica (valor R), como son la densidad, el calor específico y la difusividad.

### Aislamiento térmico

En arquitectura, el aislamiento térmico es una estrategia de control de temperaturas (definida por normas internacionales) para reducir el consumo energético que ha fundamentado el análisis de los diferentes componentes en las edificaciones. Para ello se utiliza la transmitan-

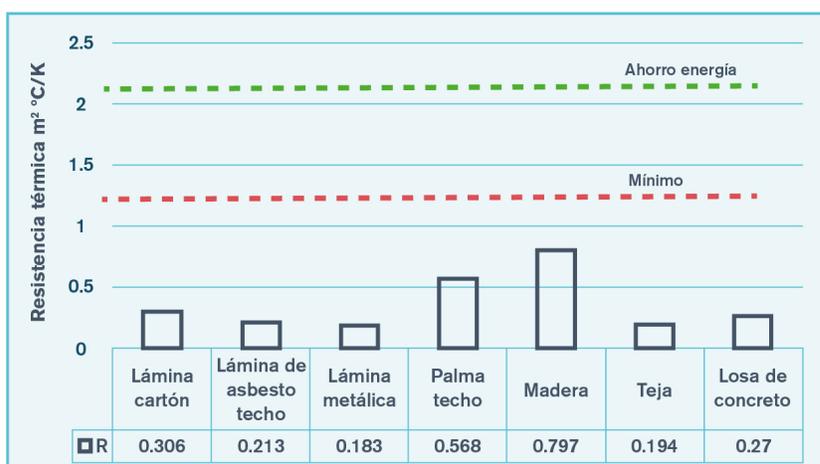
1. Ver: Andris Auliciems y Steven V. Szokolay, *Thermal Comfort* (Queensland: Plea Notes, 1997).
2. En un clima cálido subhúmedo, como el de Tuxtla Gutiérrez, existen temperaturas que superan los rangos límite superficiales interiores de cubiertas establecidos en 31°C. Además, evaluaciones de cubiertas en diferentes tipos de viviendas sociales han demostrado que presentan alta carga térmica interior. Ver: Gabriel Castañeda Nolasco y F. Arthur Vecchia, "Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México", *Ingeniería. Revista académica de la FI-UADY* 11, núm. 2 (2007): 21-30.
3. Ver: Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* (Nueva York: McGraw Hill, 2015).

cia térmica como parámetro para evaluar un sistema constructivo.<sup>4</sup> Lo anterior en función de lo establecido por la norma ISO 6946. Asimismo, relaciona un valor de cumplimiento por clima y región en relación con los materiales que configuran la envolvente. Sin embargo, no se considera apropiado para todas las regiones por el método de análisis de conductividad térmica definido como estacionario e independiente del tiempo.<sup>5</sup>

Para viviendas en México se establece el uso de aislamiento utilizando como instrumento la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 que especifica el valor total de resistencia térmica (valor R) aplicable a la envolvente de la vivienda para mejorar condiciones térmicas interiores y reducir la energía eléctrica utilizada para acondicionar térmicamente su interior.<sup>6</sup> Sin embargo existen argumentos que definen como inadecuado el enfoque y método de la normatividad para evaluar comportamiento térmico y como criterio de selección de materiales.<sup>7</sup> Además, en México las configuraciones convencionales de la envolvente no utilizan la capa de aislamiento en las cubiertas y no cumplen con los parámetros establecidos por la NMX-C460-ONNCCE-2009.

4. La transmitancia térmica es el inverso de la conductividad ( $1/k$ ) y por lo tanto representa la capacidad del material para resistir el flujo de calor y se expresa en metro grado Celsius por Watt ( $m^{\circ}C/W$ ).
5. Ver: Guadalupe Huelsz y otros, "Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente de una edificación", *Estudios de Arquitectura Bioclimática IX*, (2009): 9-20.
6. Su vigencia en el Diario Oficial de la Federación fue el 18 de agosto del 2009, con clave: NMX-C-460-ONNCCE-2009 (ONNCCE, Norma NMX460 Industria de la Construcción – Aislamiento Térmico – Valor R para las Envolventes en Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana – Especificaciones y Verificación, México. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2009).
7. Ver: Raúl P. Ruiz Torres y otros, "Comparación del comportamiento térmico de una vivienda en clima cálido subhúmedo con la NOM-020-ENER", *Memorias de la xxxv Semana Nacional de Energía Solar*, ANES, Chihuahua, México, 3 a 7 de Octubre, 2011; y Guadalupe Huelsz y otros, "Altos valores de la resistencia térmica no aseguran un buen desempeño térmico de la envolvente de una edificación", *Memorias de la xxxiii Semana Nacional de Energía Solar*, ANES, Guadalajara, Jalisco, 28 de Septiembre - 3 de Octubre, 2009.

Los materiales convencionales de construcción más utilizados en cubiertas en México, ante estímulos térmicos, elevan la temperatura interior fuera del rango térmico conveniente y la estrategia de uso de materiales definidos como aislantes no resulta económicamente viable en la región, reduciendo la calidad de vida de aquellos que no pueden asumir gastos para utilizar equipos de aire acondicionado en su vivienda. Debido a esto se considera como alternativa el uso de materiales regionales de origen natural para su evaluación térmica y que éstos sean empleados como aislamiento térmico en vivienda social.



Gráfica 1: Resistencia térmica de materiales en cubiertas. Análisis comparativo de resistencias térmicas. La resistencia térmica es el indicador de cumplimiento térmico que utiliza la NMX-C-460-ONNCCCE-2009.

### Propiedades térmicas elementales y el comportamiento dinámico

Para determinar si un material responde adecuadamente al aumento de temperatura del medio, es necesario analizar sus propiedades térmicas y comprender cómo se relacionan. En la literatura se establecen como propiedades térmicas básicas la densidad, el calor específico y la conductividad,<sup>8</sup> conceptos que determinan el desempeño térmico del material (tabla 1).

<sup>8</sup> Ver: Eduardo González Cruz, *Materiales y diseño bioclimático* (Maracaibo: Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, 1997).

Relación	Concepto	
Características térmicas elementales	Conductividad térmica	( $\lambda$ )
	Densidad	( $\rho$ )
	Calor específico	( $C_p$ )
Combinación (régimen dinámico)	Calor específico volumétrico	( $\rho C_p$ )
	Difusividad térmica	$a = \lambda / \rho C_p$
	Efusividad térmica	$b = (\lambda / \rho C_p)^{1/2}$

Tabla 1: Relación de propiedades térmicas de materiales. Se describen analíticamente la obtención de coeficientes. González, *Materiales y diseño bioclimático*

Es habitual que la selección de materiales para su uso como aislante se evalúe en función de la conductividad térmica (tabla 2), pero un diagnóstico no debe basarse sólo en una propiedad, porque en la realidad se establece un comportamiento térmico conocido como *régimen dinámico* que involucra a las demás propiedades. Por lo tanto, para evaluar materiales térmicamente se requiere definir la difusividad que está en régimen dinámico,<sup>9</sup> es decir, que se combinan las propiedades de conductividad, calor específico y densidad.<sup>10</sup>

La evaluación de la difusividad se realiza por métodos dinámicos y éstos son periódicos (flujo de calor constante) o transitorios (suministro de calor modulado con un periodo fijo). Para esta investigación se utilizó el método de flujo de fuente de calor lineal que es transitorio y es también conocido como de *hilo caliente* y se basa en el flujo térmico de

9 En esta investigación se aborda el concepto de régimen dinámico por relacionar las propiedades térmicas básicas de manera analítica obteniendo conceptos térmicos como son calor específico volumétrico y difusividad térmica que explican cómo los materiales acumulan, absorben y transmiten el calor. Ver: González, *Materiales y diseño bioclimático*.

10. Ver: Cengel y Ghajar, *Heat and Mass Transfer*.

manera controlada hacia una muestra, tomando lectura de los cambios de temperatura dentro del material en relación con el tiempo de disipación del calor dentro de la probeta evaluada.<sup>11</sup>

Material	Conductividad	
	W/mK	0.043-0.288 w/mk aislante 0.288-0.721 w/mk moderado
Poliuretano	0.026	Buen aislante
Aire	0.026	Buen aislante
Poliestireno	0.035	Buen aislante
Espuma fenólica	0.038	Buen aislante
Lana de vidrio	0.041	Buen aislante
Corcho comprimido	0.085	Buen aislante
Mortero de cemento	0.090	Buen aislante
Madera de construcción	0.130	Buen aislante
Madera de pino	0.148	Buen aislante
Concreto celular	0.220	Buen aislante
Tierra con paja	0.300	Moderado aislante
Yeso	0.488	Moderado aislante
Mortero cemento/arena	0.530	Moderado aislante
Agua	0.582	Moderado aislante
Ladrillos de arcilla	0.814	No aislante
Acero	0.50	No aislante
Aluminio	0.160	No aislante
Cobre	0.399	No aislante

Tabla 2: Conductividad térmica materiales. Análisis de materiales por conductividad. González, *Materiales y diseño bioclimático*

11. El modelo matemático *del hilo caliente* considera una fuente lineal de calor, delgada, infinitamente larga y con una distribución de temperatura uniforme, que disipa un flujo de calor por unidad de longitud en un medio homogéneo e infinito. Ver: Horatio S. Carslaw y John C. Jaeger, *Conduction of Heat in Solids* (Oxford: Clarendon Press, 1959).

## Materiales y método

El origen de la investigación fue reconocer el problema de sobrecalentamiento de espacios interiores por desempeño térmico de techos en vivienda social. Después, el diagnóstico definió una situación inicial de altos valores de conductividad en los materiales usados en las cubiertas y planteó una situación ideal como estrategia para reducir el flujo de calor al interior por medio del uso de materiales aislantes. Asimismo, se confrontaron ambas situaciones y se planteó como solución la búsqueda de materiales alternativos. Después se discutió la viabilidad de la conductividad y difusividad como unidades de análisis, determinando encontrar el objeto de estudio por comportamiento dinámico para después evaluar experimentalmente con el método transitorio de fuente de calor lineal y realizar la valoración por resultados, discutir y plantear las conclusiones.

## Criterios de selección del material

Al tomar en cuenta el contexto al que va dirigida la propuesta tecnológica (vivienda social) se definió el requerimiento para seleccionar el material que sea accesible a una región rural específica, además de que debía presentar un bajo impacto ambiental en su elaboración, por lo que se encontró un área de oportunidad en los materiales locales. También hubo de elegirse aquellos que son un recurso con características térmicas aislantes. Por estas razones, se investigó el comportamiento por conductividad térmica (propiedad térmica elemental) y por difusividad térmica (propiedad térmica dinámica) para determinar su aplicación como aislante. El caso de estudio se ubicó en la zona periférica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, donde las configuraciones de cubiertas locales desplazan el calor al interior de la vivienda.<sup>12</sup> Se ubicaron los siguientes materiales como objeto de estudio:

12. Se indicó el máximo desplazamiento de temperaturas arriba de 31.4°C y el rango térmico adecuado entre 26.4 y 31.4°C según Auliciems y Szokolay en *Thermal Comfort*, partiendo de la temperatura neutral propuesta por Michael A. Humphreys y J. Fergus. Nicol en "Outdoor temperature and indoor thermal comfort - raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies", *ASHRAE Transactions* 106, núm. 2 (2000): 485-492, bajo un régimen de confort adaptativo para Tuxtla Gutiérrez, se reconoció que la temperatura interior es regulada por la envolvente y la influencia de la temperatura exterior.

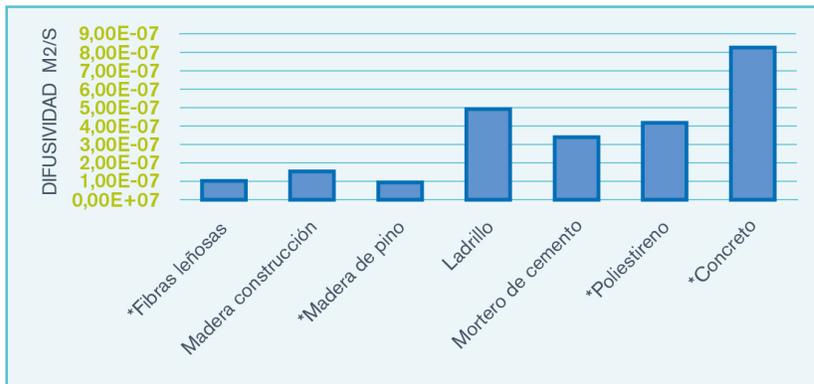
**Arundo Donax:** de nombre común “Carrizo” o “Caña brava” es una planta perene de la familia de las gramíneas que crece de manera silvestre por su capacidad de adaptación a una gran variedad de suelos y climas con un acelerado crecimiento. Por lo anterior se le clasifica como una especie invasiva y de difícil erradicación, pero también como un recurso disponible y accesible, porque se encuentra en la mayoría del territorio nacional.

**Zea Mays:** es una planta de la familia de las Poaceas, cultivada en todo el mundo; el residuo agrícola, específicamente el tallo de la planta, es lo que se considera como objeto de estudio. Conocido como caña maíz consiste en un tallo simple, erecto, pudiendo alcanzar alturas entre 2 y 6 metros, con numerosos nudos y entrenudos, y actualmente no tiene un uso generalizado para construcción en México.

Una vez seleccionados los materiales hay que considerar los rangos de coeficientes de conductividad de materiales aislantes (tabla 2) que de acuerdo con la literatura están entre los valores de 0.043-0.288 (I: buen aislante) y de 0.288- 0.721 (II: moderado aislante) en w/mK (watts por metro Kelvin). De igual manera, para la difusividad se determinó que un desempeño térmico apropiado es cuando el valor es menor a 2.00 mm<sup>2</sup>/s (milímetros cuadrados por segundos).<sup>13</sup>

La gráfica 2 muestra los resultados de acuerdo con valores registrados por otras evaluaciones que comprenden la difusividad térmica, donde las fibras leñosas (material natural) presentan coeficiente de 1.00 mm<sup>2</sup>/s. Bajo esas premisas el carrizo (Arundo Donax) y la caña maíz (Zea Mays) podrían poseer características de resistencia al flujo de calor.

13. La difusividad térmica es una propiedad de los materiales que describe qué tan rápido el material transmite el calor absorbido de una fuente de calor hacia el interior, lo que permitirá describir y clasificar el desempeño térmico de materiales en estado dinámico. Ver: González, *Materiales y diseño bioclimático*.



Grafica 2: Análisis de difusividad térmica. Se expresa la baja difusividad de las fibras leñosas clasificadas como material aislante. Inocente Bojórquez Báez y otros, "Análisis de los comportamientos físicos y de durabilidad de muros contruidos con fibras leñosas de la región. Fondo sectorial de desarrollo científico y tecnológico para el fomento de la producción y financiamiento de vivienda y el crecimiento del sector habitacional," (Primer encuentro académico Conavi-Conacyt, México, D. F., 2 y 3 de Febrero, 2010); y González, *Materiales y diseño bioclimático*

### Obtención de los coeficientes térmicos en los materiales seleccionados

Para evaluar las propiedades térmicas (conductividad y difusividad) del Arundo Donax y Zea Mays se utilizó el instrumento KD2 Pro desarrollado por la empresa Decagon Devices, por ser un método dinámico en régimen transitorio. El equipo mide propiedades térmicas de conductividad, resistividad, calor específico volumétrico y difusividad, por medio de un kit de sensores para usarse en casi cualquier material o del cual pueda desarrollarse una probeta que garantice un buen contacto térmico entre los sensores; lo que es crítico para la precisión de las lecturas.

Es importante permitir un lapso de quince minutos para calibrar entre lecturas, aun cuando el sensor se encuentre dentro de la muestra, además de realizar múltiples mediciones sucesivamente en un ambiente equilibrado con un número suficiente para reducir errores. Este equipo es una herramienta que se encuentra en los Laboratorios para la Enseñanza e Investigación para la Arquitectura Sostenible (LEIAS) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, donde los autores realizaron las evaluaciones.

El equipo se basa en la teoría del método transitorio de fuente de calor lineal para medir propiedades térmicas y consiste en una aguja calen-



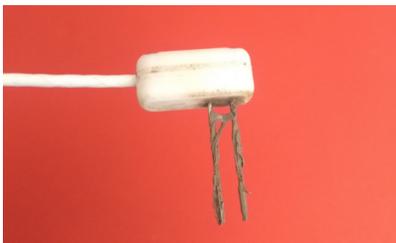
Dispositivo KD2 Pro. Imagen del autor

tada que contiene un sensor de temperatura por dentro que monitorea lecturas con intervalos y registra en función del tiempo de disipación del calor. El proceso de evaluación se determinó de acuerdo con la norma ASTM D5334-08.

Las mediciones se llevaron a cabo utilizando el sensor SH-1 que consta de agujas dobles de 3 cm de largo y 1.3 mm de diámetro con un espacio entre agujas de 6 mm calibrado por medio de una muestra testigo de conductividad conocida.

Se construyeron las probetas con un radio de 2 cm alrededor del sensor evitando espacios de más de dos milímetros en el área de la sección a medir para evitar espacios con aire que interfieran en la medición, como lo establece la literatura al analizar los materiales.

Para reducir flujo térmico las mediciones se realizan en una cámara aislada permitiendo equilibrio térmico entre sensor y muestra. Se aplicó grasa térmica en las agujas para mejorar el área de contacto con la probeta al introducir el sensor.



Sensor SH1. Imagen del autor



Probeta de Arundo según ASTM 5334-08. Imagen del autor



Probeta Zea M según ASTM5334-08 en cámara de aislamiento. Imagen del autor



Sensor SH1 con grasa térmica para mejorar contacto. Imagen del autor

El equipo de medición KD2 Pro considera como aceptables aquellas lecturas con un valor de error menor a 0.01, esto para garantizar que el procedimiento ha sido el correcto. Dicho valor de cumplimiento se obtiene al incrementar el número de lecturas y permitir intervalos para restablecer el equilibrio térmico entre la probeta y el sensor, además de las consideraciones que el manual del equipo recomienda. Se aplicaron 367 lecturas para ambas muestras (Arundo Donax y Zea Mayz), de dos minutos en lapsos de quince minutos dentro de una cámara de poliestireno. Lo anterior con la finalidad de disminuir la incertidumbre y obtener un mejor análisis estadístico.

## Resultados

La tabla 3 describe el desempeño térmico del material por el resumen que establecen los coeficientes de las tablas 4 y 5. De acuerdo con los resultados del análisis estadístico, que se definió por la moda, los coeficientes obtenidos para ambos materiales son aceptables y los clasifican de aislantes. Zea Mays presenta menor conductividad que el Arundo Donax pero una difusividad mayor, por lo que se transfiere más rápido el flujo térmico. El Arundo, en la suma de sus propiedades, presenta mejor comportamiento como material aislante que Zea Mays. Lo anterior presupone que la difusividad térmica es un factor más apropiado para selección de materiales.

Material	Absorbe	Acumula	Transmite
Arundo D	Adecuada Resistencia Térmica	Capacidad de retener energía térmica	Baja difusividad
Mais Z.	Adecuada Resistencia Térmica	Capacidad de retener energía térmica	Baja difusividad

Tabla 3: Ambos materiales tienen adecuado comportamiento para su uso en aislamiento.

Arundo D.	Conductividad $\lambda$	Resistividad Rho	Calor específico Volumétrico $C_{pv}$	Difusividad A
	W/(m*K)	°C*cm/W	MJ/(m <sup>3</sup> *K)	mm <sup>2</sup> /s
Promedio	0.123	847.074	0.964	0.129
Máximo	0.138	1769.3	1095	0.157
Mínimo	0.057	727.2	0.386	0.120
Moda	0.122	820.6	0.997	0.122
Desviación	0.01774	232.106	0.17257	0.01259

Tabla 4: Resultados probeta Carrizo (Arundo Donax) con KD2 Pro. Análisis estadístico.

Mays Zea	Conductividad $\lambda$	Resistividad Rho	Calor específico Volumétrico $C_{pv}$	Difusividad A
	W/(m*K)	°C*cm/W	MJ/(m <sup>3</sup> *K)	mm <sup>2</sup> /s
Promedio	0.058	1716.7	0.4	0.1
Máximo	0.061	2208.0	0.4	0.3
Mínimo	0.045	1634.1	0.2	0.1
Moda	0.059	1684	0.426	0.14
Desviación	0.001626308	2117014	0.44464	0.08753

Tabla 5: Resultados probeta caña maíz (Mays Zea) con KD2 Pro. Análisis estadístico.

## Discusión

En ambos materiales se observó un comportamiento térmico apropiado al evaluar y relacionar los resultados de conductividad con materiales convencionales de la construcción considerados para ser usados como aislantes (tabla 6). Tanto Arundo Donax como Zea Mays presentan resistencia al flujo térmico.

	Material	Conductividad $\Delta$	
		W/mK	Referencia
1	Poliuretano	0.026	González (1997)
2	Aire	0.026	
3	Poliestireno	0.035	
4	Espuma fenólica	0.038	
5	Lana de vidrio	0.041	
6	Caña de maíz (Mays Zea)	0.046	Evaluación propia
7	Mortero de cemento	0.090	González (1997)
8	Madera de construcción	0.130	
9	Carrizo (Arundo Donax)	0.137	Evaluación propia
10	Madera de pino	0.148	González (1997)
11	Madera pesada	0.200	
12	Concreto celular	0.220	
13	Fibras leñosas	0.295	Bojórquez et al (2010)

Tabla 6: Materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente.



Gráfica 3: Comparación desempeño conductividad-difusividad. Clasifican por su baja conductividad de materiales aislantes. Una menor difusividad reduce transferencia de calor. Por lo tanto, el Arundo Donax tiene mejor desempeño.

### Conclusión

Por su capacidad térmica los materiales naturales conforman una alternativa para ser usados como una capa de aislamiento en las cubiertas de vivienda social para reducir el flujo térmico. El estudio llevó a identificar propiedades térmicas elementales de los materiales: el calor específico, la densidad y la conductividad térmica y que definen la propiedad dinámica de la difusividad.

Los resultados obtenidos al evaluar la difusividad clasifican a los materiales como materiales aislantes, por lo tanto, al ser utilizados en cubiertas de vivienda tenderían a disminuir el flujo térmico y, por consiguiente, a reducir temperaturas interiores en rangos de temperatura de confort térmico. Además, ambos materiales (al ser de origen natural y estar presentes en regiones rurales) presentan mejores prestaciones ambientales y económicas que otros materiales aislantes industrializados como el poliestireno que por su proceso de elaboración provoca impactos ambientales. Al comparar el desempeño térmico por conductividad, los materiales evaluados compiten con los materiales convencionales considerados aislantes y se establece que este tipo de materiales sirven para fabricar elementos que permitan adosarse a sistemas estructurales y mejorar la temperatura en las edificaciones a un menor costo. Se define la difusividad como un parámetro que describe al material de una manera más cercana a la realidad, marcando diferencias del comportamiento de un mismo material por la relación de su conductividad y su capacidad de almacenar calor por unidad de volumen. Por lo tanto, para un criterio de selección de materiales para un adecuado desempeño térmico hay que analizarlos por su difusividad térmica. Entender cómo el material conduce la energía térmica presupone mejores prácticas en procesos constructivos.

## Referencias

- AULICIEMS, Andris y Steven Szokolay, *Thermal Comfort*. Queensland: Plea Notes, 1997.
- ASHRAE Handbook. "Fundamentals, American Society of Heating." *Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*. Atlanta, 1997.
- ASTM International. Subcommittee D18. 12 on Rock Mechanics. *Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure*. ASTM International, 2008.
- BOJORQUEZ BÁEZ, Inocente y otros, "Análisis de los comportamientos físicos y de durabilidad de muros construidos con fibras leñosas de la región. Fondo sectorial de desarrollo científico y tecnológico para el fomento de la producción y financiamiento de vivienda y el crecimiento del sector habitacional." Primer encuentro académico Conavi-Conacyt. México, D. F., 2 y 3 de Febrero, 2010.
- CARSLAW, Horatio S. y John C. Jaeger. *Conduction of Heat in Solids*. Oxford: Clarendon Press, 1959.

- CASTAÑEDA, Gabriel y Arthur Vecchia, "Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México." *Ingeniería. Revista académica de la FI-UADY* 11, núm. 2 (2007): 21-30.
- CENGEL, Yunus A. y Afshin J. Ghajar. *Heat and Mass Transfer*, 5a ed. Nueva York: McGraw Hill, 2015.
- Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A. C. *Evaluación de la sustentabilidad en la vivienda de interés social en México: Sistema de calificación simplificado para la evaluación del cambio de uso de suelo. Reporte preliminar*. México, Febrero de 2012.
- CNM-PNE-16. "Patrón Nacional de Conductividad Térmica de Materiales Sólidos Aislantes." *Diario Oficial de la Federación*, 2 de Febrero, 2007.
- DECAGON Device Inc. *Manual del operador*. 2017
- GONZÁLEZ CRUZ, Eduardo. *Materiales y diseño bioclimático*. Maracaibo: Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, 1997.
- HUELSZ, Guadalupe y otros. "Importancia del análisis de transferencia de calor independiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente en una edificación." *Estudios de Arquitectura Bioclimática IX* (2009): 9-20.
- \_\_\_\_\_, y otros. "Altos valores de la resistencia térmica no aseguran un buen desempeño térmico de la envolvente de una edificación," Memorias de la xxxiii Semana Nacional de Energía Solar, ANES, 237-240. Guadalajara, Jalisco. 28 de Septiembre-3 de Octubre, 2009.
- HUMPHREYS, Michael A. y J. Fergus Nicol. "Outdoor Temperature and Indoor Thermal comfort - raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE Database of Field Studies". *ASHRAE Transactions* 106, núm. 2 (2000): 485-492.
- ISO 6946. *Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal Transmittance – Calculation Method*. 2007.
- LIRA Cortés, L. y otros. "Diseño del sistema de conductividad térmica de materiales para construcción." Simposio de Metrología, 27 a 29 de Octubre, 2010.
- MARSZAL, Alfaro J. y otros. "Zero Energy Building –A review of Definitions and Calculation Methodologies." *Energy and Buildings* 43, núm. 4 (2011): 971-979.
- MORILLÓN David y Andrés Andrade. "Diagnóstico del comportamiento térmico, energético y ambiental de la vivienda de interés social en México: retrospectiva y prospectiva (2000-2012)." En *Los Edificios en el Futuro, Estrategias Bioclimáticas y Sustentabilidad*, 83-94. Portugal: Cyted/Ineti, 2008.
- ONNCE. *Norma NMX460 Industria de la Construcción- Aislamiento Térmico – Valor R para las Envolventes en Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana – Especificaciones y Verificación, México. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación*. 2009.
- RUIZ TORRES, Raúl P. y otros, "Comparación del comportamiento térmico de una

vivienda en clima cálido subhúmedo con la NOM-020-ENER." Memorias de la xxxv Semana Nacional de Energía Solar, ANES. Chihuahua, México. 3 a 7 de Octubre, 2011.

### **César Armando Guillén Guillén**

cesarimagina@hotmail.com

Doctorando en Arquitectura en Pensamiento y Producción Científico Tecnológica, UNAM. Maestro en Arquitectura y Urbanismo con Especialidad en Arquitectura Sustentable, UNACH. Participante del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales de la Facultad de Arquitectura en la UNAM, así como en Componentes y Condicionantes de la Vivienda por la UNACH. Líneas de Investigación: eficiencia energética en arquitectura, conductividad y difusividad térmica, arquitectura bioclimática y vivienda social.

### **Alberto Muciño Vélez**

amucino@unam.mx

Doctor en Arquitectura por la UNAM. Investigador de tiempo completo del Centro de Investigaciones en Arquitectura Urbanismo y Paisaje, CIAUP. Imparte clases en licenciatura y maestría, además de colaborar con el Instituto de Física de la UNAM, lo que contribuye al enriquecimiento de las tesis que dirige. Actualmente elabora proyectos mediante un diseño y metodología específicos que buscan la implementación de procedimientos experimentales para realizar investigaciones a través de pruebas de laboratorio, abriendo camino a la práctica profesional de la arquitectura desde un enfoque poco explorado, así como el estudio de los mecanismos de deformación de los nuevos materiales mediante técnicas físico-químicas que aportan beneficios en la construcción.

### **Perla Santa Ana Lozada**

psal@unam.mx

Maestra en Ingeniería (estructuras) por el Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Profesor de Carrera Titular "A" tiempo completo de la Facultad de Arquitectura. Imparte clases en la Facultad de Arquitectura, así como en el Programa de Estudios de Posgrado de esta Facultad, en el campo de conocimiento Tecnologías. Es miembro del Comité Académico Egel Arqui Ceneval con las siguientes líneas de investigación: evolución de los sistemas constructivos-estructurales para zonas sísmicas, comportamiento de las edificaciones empleando distinto tipo de amortiguadores de base, comportamiento sísmico en sitios de fuente cercana y estrategias didácticas de materias estructurales en la arquitectura.

### **Gemma L. S. Verduzco Chirino**

gemma@unam.mx

Doctor en Arquitectura por el Politécnico de Portsmouth. Profesor de Carrera Titular "C" tiempo completo del Posgrado de la Facultad de Arquitectura. Imparte clases en licenciatura y maestría, además de colaborar con el Posgrado de Urbanismo y Psicología de la UNAM, lo que contribuye al enriquecimiento de las tesis que dirige. Actualmente sus líneas de investigación son gestión, y normatividad y ambiente, las cuales buscan la implementación de procedimientos experimentales para realizar investigaciones a través de pruebas de laboratorio y prácticas de campo de forma multidisciplinaria, generando mejora en las propiedades de los materiales y generando procesos que vinculen la academia, la industria y la actividad profesional, en beneficio de la Universidad y del país.