

# Desempeño térmico-mecánico de tres bloques de concreto mezclado con fibras de bambú y poliestireno expandido

## *Thermal-mechanical performance of three concrete blocks mixed with bamboo fibers and expanded polystyrene*

DOI: 10.32870/RVCS.V0I15.249

### **OSCAR DANIEL SOLANO ACOSTA**

Universidad de Colima, México. ORCID: 0009-0002-1684-8842  
Correo electrónico: osolano0@ucol.mx

### **JOSUÉ TRINIDAD CARRILLO MADRIGAL**

Universidad de Colima, México. ORCID: 0009-0001-4396-135x  
Correo electrónico: jcarrillo6@ucol.mx

### **JORGE ARMANDO OJEDA SÁNCHEZ**

Universidad de Colima, México. ORCID: 0000-0002-5026-5459  
Correo electrónico: jojeda1@ucol.mx

### **CARLOS JAVIER ESPARZA LÓPEZ**

Universidad de Colima, México. ORCID: 0000-0003-0058-5072  
Correo electrónico: cesparza@ucol.mx

Recepción: 25 de abril de 2023. Aceptación: 17 de agosto de 2023.

## **Resumen**

Actualmente, la demanda de los recursos naturales en la industria de la construcción ha incrementado debido a la explosión demográfica en las zonas rurales y urbanas. El desarrollo de nuevos materiales nos permite satisfacer o mejorar las necesidades requeridas por la población reduciendo el impacto y repercusiones en el medio ambiente.

En el presente trabajo se analiza el desempeño térmico y mecánico de los materiales y su impacto, específicamente en bloques de concreto con fibras de bambú y perlas de poliestireno expandido en cuatro diferentes proporciones para mejorar su desempeño térmico manteniendo sus propiedades mecánicas. Estos bloques se planean utilizar particularmente para la creación de muros divisorios, con el fin de generar espacios habitables más cómodos en un clima cálido subhúmedo como el de Colima. Los procedimientos de análisis se realizaron conforme a norma,

especialmente en el uso de la prensa hidráulica eléctrica para las pruebas mecánicas, regulada por la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004 y el analizador de propiedades térmicas KD2 Pro con un sensor de doble aguja SH-1, diseñado bajo las normas ASTM-D5334-08, 2008 e IEEE Std 442-198, al igual que las herramientas utilizadas al realizar los bloques propuestos (Decagon, 2006).

Los resultados obtenidos muestran un incremento en la resistencia a la compresión y una disminución en la conductividad térmica de dicho compuesto con un incremento de la fibra en proporción. En dicho caso, el bloque que presentó una mejor conductividad térmica fue el bloque 3.0, que arrojó un resultado de  $0.523 \text{ W/(mK)}$ . Por otra parte, el bloque que indicó un mejor desempeño mecánico fue el bloque 4.0, con una carga máxima del material de  $78,340 \text{ Kg}_f$  que equivalen a 78,340 toneladas. Dichos bloques pueden favo-



recer en la creación de espacios más resistentes y confortables para el desarrollo del ser humano.

Palabras clave: conductividad térmica, carga máxima, guadua angustifolia kunth, poliestireno, material compuesto.

## ABSTRACT

The demand for natural resources in the construction industry has increased due to the population explosion in rural and urban areas. The development of new materials allows us to meet or improve the needs required of the population by reducing the impact and environmental impacts.

This paper analyzes materials' thermal and mechanical performance and impact, specifically in concrete blocks with bamboo fibers and polystyrene beads expanded in 4 different proportions to improve their thermal performance while maintaining their mechanical properties. These blocks are proposed to be used mainly to create dividing walls to generate more comfortable living spaces in a warm subhumid climate, such as Colima. The analysis procedures were carried out according to standard, especially in the use of the electric hydraulic press for mechanical tests, regulated by NMX-C-159-ONNCCE-2004 and the KD2 Pro thermal properties analyzer with an SH-1 dual-needle sensor, designed under the standards ASTM-D5334-08, 2008 and IEEE Std 442-198, as well as the tools used when making the proposed blocks.

The results obtained show an increase in the resistance to compression and a decrease in the thermal conductivity of said compound, with an increase in fiber in proportion. In this case, the block that presented the best thermal conductivity was the block 3.0, which yielded a result of 0.523 W/(mK). On the other hand, the block that indicated a better mechanical performance was block 4.0, with a maximum material load of 78,340 Kgf, which is equivalent to 78,340 tons. These blocks can favor the creation of more resistant and comfortable spaces for the development of the human being.

Keywords: thermal conductivity, maximum load, guadua angustifolia kunth, polystyrene, composite material.

## INTRODUCCIÓN

En el presente se analiza el desempeño térmico y mecánico de los materiales en bloques de concreto mezclado con fibras de bambú y perlas de poliestireno expandido a diferentes proporciones.

Para determinar lo anterior se realizan pruebas térmicas y mecánicas en bloques, además de contrastar entre ellos los resultados obtenidos de los diferentes bloques obtenidos, con el único fin de solucionar algunas problemáticas existentes en la región, además de observar sus beneficios y deficiencias en la creación de espacios habitables en un clima cálido subhúmedo como el del estado de Colima.

La arquitectura, desde la antigüedad, se ha encargado de diseñar, proyectar y construir los espacios a nuestro alrededor con el objetivo de cumplir con las necesidades requeridas del ser humano en ese entorno, ya sea la funcionalidad, la seguridad, la comodidad, la resistencia mecánica o el desempeño térmico, entre otros. Una de las más importantes es el desempeño térmico y mecánico de los materiales, pues desde tiempos lejanos nuestros antepasados han buscado crear un refugio que se relacione con las particularidades ambientales del entorno y los materiales existentes en la región, ya sea viviendo en cuevas, construyendo casas de madera, tierra o palapa.

De acuerdo con los datos obtenidos del estudio al INEGI de la revista *Problemas del Desarrollo*, México produjo en 2015 alrededor de 44.9 millones de toneladas de cemento (Corrales, 2017; INEGI 2020). Como resultado de esto, a finales del año 2020 y a principios del año 2021, el valor del acero y el concreto ha presentado un aumento de hasta un 40 % más de lo que solían costar anteriormente, lo que representa un condicionante económico y nos orilla a buscar alternativas para construir (López, 2021).

El bambú, por otra parte, es un material que en poco tiempo ha adquirido gran relevancia dentro del ámbito de la construcción. Los bambúes son un grupo de especies de la familia de las gramíneas con cualidades como bajo costo y gran versatilidad, además de ser una especie que puede ser usada para una gran cantidad de partes de una vivienda o para la creación de materiales compuestos con un bajo costo energético en su producción, extracción y venta (SEMARNAT, 2013).

Se estima que 1,000 millones de personas viven en casas construidas de bambú (Romo y Carlos, 2006). Los bambúes son una especie de rápido crecimiento que aumenta hasta 21 cm por día y que produce más biomasa seca por hectárea al año que el eucalipto. Esta producción de biomasa depende de muchos factores, sin embargo, la producción de *Gradua angustistifolia kunth* llega a tener entre 1,200 y 1,350 cañas por hectárea al año (Hidalgo, 2003). Esta especie de bambú fue recientemente sembrada en Colima, en un terreno aproximado de 100 hectáreas, en respuesta a su alta eficiencia y resistencia a la flexión, tracción y compresión (Elizondo *et al.*, 2015).

Por consiguiente, el bambú tomó gran relevancia en el ámbito de la construcción, con el fin de aprovechar sus cualidades mecánicas y térmicas. Una de estas cualidades es su alta resistencia a la tracción; es capaz de resistir hasta  $40 \text{ KN/cm}^2$  ( $400 \text{ N/mm}^2 = 400 \text{ MPa}$ ), alcanzando la resistencia del acero. Por otro lado, tiene una resistencia a la compresión que varía de los  $5.6 \text{ KN/cm}^2$  hasta los  $2.7 \text{ KN/cm}^2$  y una conductividad térmica de 0.004, esto depende de la esbeltez del bambú y la región en donde se desarrolló (Minke, 2010).

Es por ello que es fundamental explorar a fondo el uso de diversos materiales y sus posibles variaciones como materiales compuestos en la construcción, con el objetivo de ayudar a mejorar el desempeño térmico y mecánico de un espacio, puesto que se vuelve una necesidad el construir viviendas o espacios más aptos al usuario, con relación a las condiciones climáticas del entorno; esto, en función a la Norma APROY-NMX-C-460-ONNCE-2007, que establece las especificaciones

en cuanto a la resistencia térmica que deben tener los materiales para las viviendas.

La resistencia mecánica es la capacidad de un cuerpo de resistir fuerzas sin deformarse, evaluada principalmente mediante la carga máxima en toneladas. En casos en los que las construcciones deben resistir una zona sísmica de riesgo alto, esto es fundamental. Por otra parte, la resistencia térmica es la propiedad del material de oponerse al flujo del calor, evaluada mediante la conductividad térmica de los materiales que componen un sistema constructivo. En climas donde la temperatura exterior del espacio no se desea transmitir al interior de este, es indispensable utilizar materiales con resistencia al flujo de calor, para crear espacios con un buen confort térmico. Esto en función a la Norma ISO 7730 que expresa el confort térmico como “Esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” (CTN 81 - Seguridad y salud en el trabajo, 2006).

De acuerdo con la investigación realizada se observó un estudio para incorporar el bambú a una mezcla de mortero con la finalidad de mejorar sus propiedades bajo la norma ASTM C1116-89 “Standard Specification for Fiber Reinforced Concrete” utilizado para matrices de morteros reforzados para paneles. En dicha experimentación se realizaron pruebas para que las fibras de bambú no fueran afectadas a la compresión e impacto, ya que esto influye en la resistencia o durabilidad del material compuesto (Arbeláez, 1997).

En base a la investigación realizada por un alumno de la Universidad de Colima en 2018 para determinar la conductividad térmica de un bloque de concreto con agregados de poliestireno a diferentes proporciones, se determinó que a mayor proporción de poliestireno es una mayor resistencia térmica, en base a los resultados obtenidos en dicho trabajo (Roblez, 2018).

En el año 2020 se hicieron diversos estudios de la interacción del concreto en conjunto con las fibras del bambú de la cual los autores Choo *et al.* (2020) afirmaron que el uso de las fibras en el concreto contribuyó al aumento de sus cualidades térmicas. Lo cual reafirma la hipótesis y el objetivo sugeridos en el presente documento.

En 2021, en una investigación hecha por unas alumnas de la Universidad de Colima para identificar el comportamiento del concreto con las fibras de bambú en Colima, se estudió el desempeño térmico y mecánico de seis bloques diferentes de concreto con fibras de bambú y como tercer material arena, jal, acetato de polivinilo, entre otros. De acuerdo con los resultados observados en la investigación se obtuvo la dosificación del bloque con mejores propiedades mecánicas, este fue el que tenía una mayor proporción de fibras de bambú, estas propiedades fueron mayores a las exigidas por la normativa para un elemento estructural. Por otro lado, el bloque con mejor desempeño térmico fue el de acetato de polivinilo, puesto que este ayudó al desempeño del material en la prueba realizada (Mercado *et al.*, 2019).

En octubre de 2021, una alumna de la Universidad de Colima realizó una investigación para observar el desempeño térmico en bloques multiperforados a base de concreto con fibras de bambú en Colima. De acuerdo a los resultados de dicho estudio se concluyó que el bloque que tenía una mayor concentración de fibras de bambú, en conjunto con las configuraciones desarrolladas ayudan a que la temperatura exterior se logre reducir al interior (Alcántara, 2021).

Uno de los principales objetivos del uso de diferentes materiales en la construcción es disminuir el impacto que estos tendrán en el ambiente, además de proporcionarle al ser humano un espacio interior más cómodo y resistente.

Como anteriormente se indicó, el estudio se llevó a cabo en Colima tomando como referencia sus temperaturas. Posteriormente se realizaron un conjunto de pruebas en los bloques tomando como referencia para su dosificación las diversas investigaciones estudiadas para sacar la mejor proporción por separado de fibras de bambú y poliestireno expandido, con el fin de medir su conductividad térmica y resistencia mecánica en conjunto, para determinar si a diferentes combinaciones aumenta o disminuye la resistencia térmica y mecánica del bloque, por lo tanto, evitar las ganancias de calor en los muros y soportar más peso sobre estos.

Es por ello que en base a las investigaciones realizadas por otros autores, se cree óptimo dar continuidad al estudio de la interacción del concreto con fibras de bambú y poliestireno expandido en un bloque, puesto que estos tres materiales reflejaron tener un alto rendimiento en las pruebas por separado y no han sido estudiados en conjunto como un material compuesto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo principal del estudio realizado es modificar y mejorar las propiedades térmicas y mecánicas de un elemento tradicional, como es el ladrillo, en base a la utilización de un material compuesto, como es el bloque de concreto con fibras de bambú y poliestireno expandido; esto, en función de las investigaciones realizadas por Alcántara (2021), Mercado y Orozco (2019) y REVISTACYT (2013). Ellos afirman que el compuesto de concreto con fibras de bambú genera una mejora térmica y mecánica en dicho compuesto, en proporción a la modificación de sus materiales y las proporciones que se le agregan a dichos elementos. Es por ello que se optó por tomar como base las proporciones indicadas en la investigación de Mercado y Orozco (2019), ya que ellos analizaron cada paso de la fabricación de los bloques y generaron tres diferentes proporciones para dar la consistencia adecuada a dicho compuesto y así lograr la resistencia adecuada para el cumplimiento de la norma.

La investigación fue de tipo experimental y cuantitativo, de acuerdo con lo expuesto por Hernández *et al.* (2015), puesto que en este estudio se manejaron distintas variables medibles numéricamente. Estas variables pueden ser de control, dependientes o independientes, ya que unas pueden ser controladas y monitoreadas para saber su influencia en los resultados arrojados en dicha experimentación, o, por el contrario, no pueden ser controladas y solo se pueden monitorear sus propiedades o efectos en dicho estudio.

El proceso por realizar en el siguiente estudio es de tipo secuencial, correlacional y experimental, ya que utiliza una serie de pasos con un deter-

minado tiempo y determinadas condiciones para dar un sentido u orden a la investigación y experimentación, haciendo posible que den datos más precisos y replicables (Hernández *et al.*, 2015).

## UNIVERSO DE ESTUDIO

De acuerdo con datos registrados en 2019 en algunas ciudades de México, las temperaturas variaron desde 1.8 °C como temperatura más baja hasta 38.6 °C como temperatura más alta. En el caso especial de Colima, la temperatura media anual es de 25 °C, la temperatura más alta es mayor a 35 °C y la mínima es de 18 °C; esto, conforme a reportes de CONAGUA (2019).

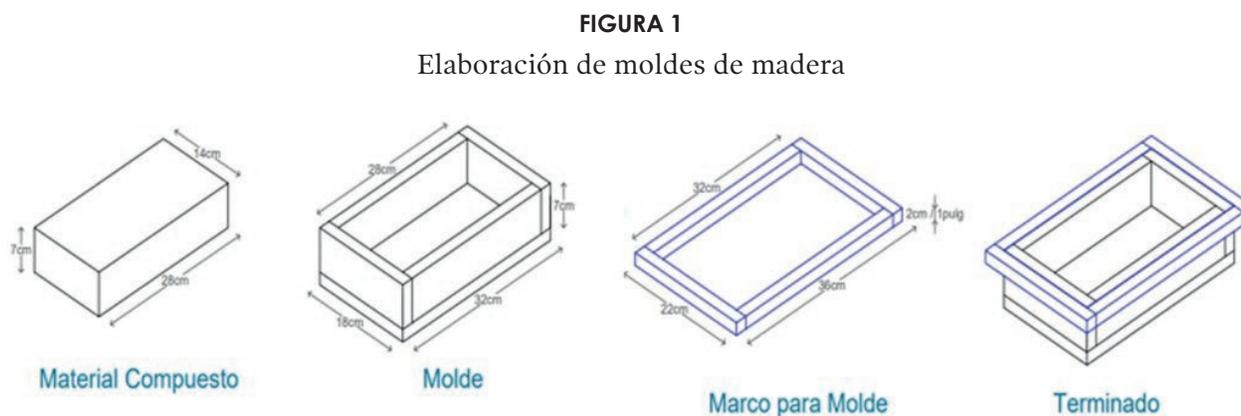
Nuestro caso de estudio se realizó en el estado de Colima, más específicamente en el municipio de Coquimatlán; dicho municipio tiene un clima cálido subhúmedo y una temperatura promedio de 26 °C (Municipios, 2022). Cuenta con una pre-

cipitación de 856 mm, teniendo lluvias en verano en al menos el 86 % de su territorio (Alcántara, 2021; Mercado y Orozco, 2019). Se encuentra delimitado al noreste con Villa de Álvarez, al noroeste con Minatitlán, al sureste con Armería, al suroeste con Tecomán, al este con el municipio de Colima y al oeste con Manzanillo, entre las coordenadas 19°11'52" latitud norte y 103°48'41" longitud oeste y tiene una altitud aproximada de 400 metros sobre el nivel del mar (Municipios, 2022).

## PROCEDIMIENTO

### Construcción de moldes

Se realizaron cuatro moldes de madera con las dimensiones establecidas en la figura 1 para posteriormente engrasarlos tres veces y dejarlos reposar sobre una superficie, puesto que así las piezas podrán absorber el aceite que nos ayudará a que los bloques puedan desmoldarse fácilmente y de forma segura.



Fuente: Elaboración propia (2022).

### Preparación de los materiales

En este proceso se obtuvieron el cemento, la arena, el agua, el poliestireno expandido y la fibra de bambú. El bambú se recortó en pedazos más pequeños de 15 cm de longitud para poder triturarlos en una trituradora marca ACCOR-P215. Al

obtener la fibra del bambú pasamos a cernirlo con una malla de 5 mm, puesto que dicha fibra todavía contenía fragmentos sin triturar por completo y la fibra debería emular el tamaño máximo del grano de arena y esbeltez de un hilo; véase la figura 2.

**FIGURA 2**  
Preparación de las fibras de bambú



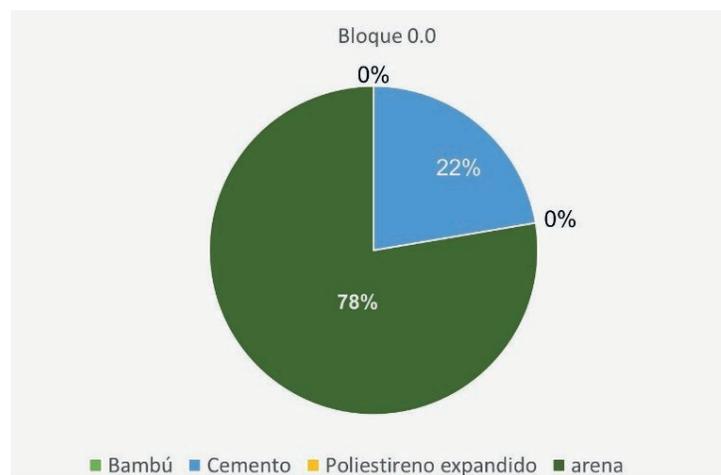
Fuente: Elaboración propia (2022).

### Preparación de los compuestos

Todos los materiales se introdujeron en una re-  
volvedora para realizar la mezcla, este proceso  
se realizó cuatro veces puesto que realizaremos  
un bloque de concreto natural y tres diferentes  
bloques con diferentes proporciones de bambú.

El primer bloque (o.o) es un bloque de con-  
creto natural cuya proporción es de 1 ½ kg de  
cemento, 4.444 kg de arena, 0 kg de poliestireno  
expandido, 0 kg de fibra y 1 ½ L de agua. Este  
bloque se elaboró principalmente para poder ten-  
er un elemento de referencia con el cual poder  
comparar los resultados obtenidos en los tres  
bloques elaborados.

**FIGURA 3**  
Bloque o.o

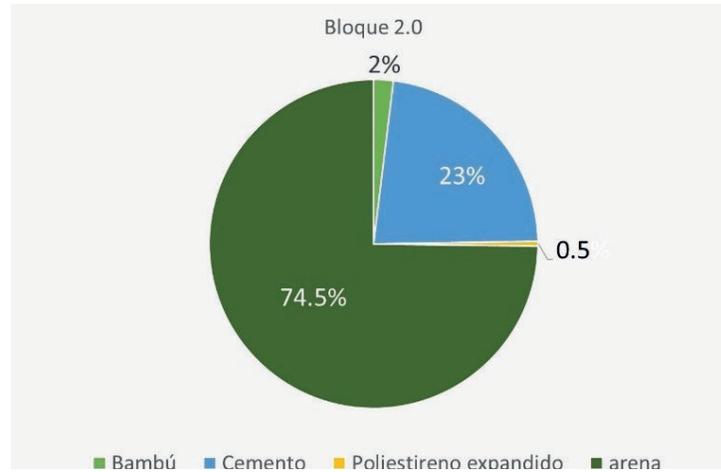


Fuente: Elaboración propia (2022).

El segundo bloque (2.0) es un bloque con proporción 2 de fibra, cuya proporción es 1 ½ kg de cemento, 4.04 kg de arena, 0.006 kg de poliestireno expandido, 0.096 kg de fibra y 1 ½ L de agua.

**FIGURA 4**

Bloque 2.0



Fuente: Elaboración propia (2022).

El tercer bloque (3.0) es un bloque con proporción 3 de fibra, cuya proporción es 1 ½ kg de cemento, 4.04 kg de arena, 0.006 kg de poliestireno expandido, 0.144 kg de fibra y 1 ½ L de agua.

**FIGURA 5**

Bloque 3.0

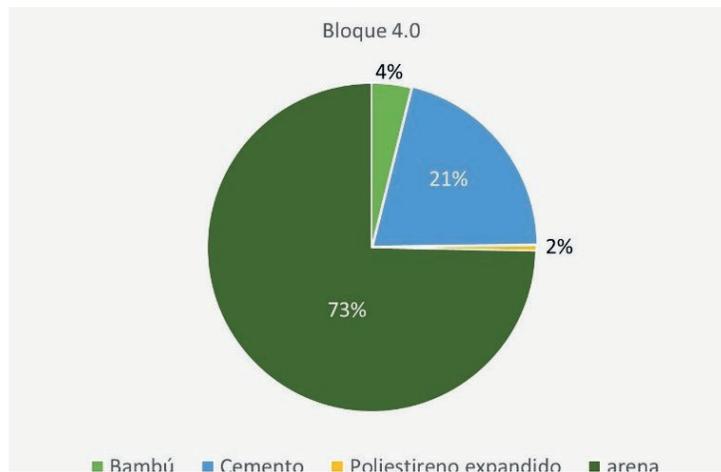


Fuente: Elaboración propia (2022).

El cuarto bloque y último es el bloque 4.0 o bloque con proporción 4 de fibra, cuya proporción es 1 ½ kg de cemento, 4.04 kg de arena, 0.006 kg de poliestireno expandido, 0.192 kg de fibra y 1 ½ L de agua.

**FIGURA 6**

Bloque 4.0



Fuente: Elaboración propia (2022).

### REALIZACIÓN DE BLOQUES

Todos los materiales se introdujeron en una re-  
volvedora para realizar la mezcla, este proceso se  
realizó tres veces puesto que realizaremos tres  
diferentes bloques con diferentes proporciones

de bambú. Posteriormente se vertió la mezcla en  
sus respectivos moldes antes mencionados para  
empezar a vibrarlos y compactarlos, con el fin  
de no dejar huecos del tabique. Véase la figura 7.

**FIGURA 7**

Realización de los bloques



Fuente: Elaboración propia (2022).

### SECADO Y DESCIMBRADO DE LOS BLOQUES

Los tabiques se dejaron secar en la madera en  
un patio al aire libre y expuesto al sol por tres  
días, puesto que ese es el tiempo necesario para

asegurar su secado, posteriormente se deberán  
descimbrar y dejar secar cuatro bloques por 28  
días y cuatro moldes por 56 días.

**FIGURA 8**

Secado de bloques



Fuente: Elaboración propia (2022).

#### *EQUIPO Y MATERIAL A UTILIZAR*

Los equipos y materiales por utilizar en las pruebas de resistencia a la compresión y a la conductividad térmica son los siguientes:

##### *Pruebas mecánicas*

- Prensa hidráulica eléctrica (pruebas de compresión).
- Placa metálica plana.
- Azufre.
- Barra metálica plana.
- Maso o martillo.
- Aceite quemado.
- Espátula.

##### *Pruebas térmicas*

- KD2 Pro (Analizador de propiedades térmicas) con sensor SH-1.
- Taladro.
- Broca de acero de alta velocidad de 1/16".
- Grasa térmica a base de silicona.

#### *USOS*

El uso de los bloques prefabricados de cualquier tipo en la construcción es sumamente importante para construcciones no tan altas, debido a todas las ventajas que tienen en su elaboración, abastecimiento y bajo costo.

#### *PRINCIPALES USOS*

- Muros simples o divisorios.
- Muros de contención.
- Muros estructurales.
- Bardas perimetrales.

En el caso del bloque a base de concreto con fibras de bambú y poliestireno expandido, se planea implementar su uso en muros simples o divisorios con el fin de regular la temperatura al interior del espacio edificado, haciendo de este un espacio más confortable y seguro.

#### *PRUEBAS MECÁNICAS*

De acuerdo con los documentos revisados de nuestra investigación, las pruebas de compresión se aplican a los 28 y 56 días, con el fin de que alcancen la solidez y resistencia adecuadas (Alcántara, 2021; Mercado y Orozco, 2019; Mexicodocuments (2004)). Para el siguiente análisis se revisó la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004. Esta norma mexicana establece los procedimientos para elaborar y curar, en el laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para las pruebas de resistencia a la compresión, a la flexión y a la tensión diametral.

Antes de empezar directamente con las pruebas a compresión, se realizó el cabeceo de los cuatro bloques a los 28 y 56 días, el cual consiste en tener una superficie plana de contacto. Esto se consigue al derretir azufre y volverlo líquido, este líquido deberá de ser vertido en un marco formado por barras metálicas planas con el fin de que las caras de los bloques a medir sean lo más planas posible. Este proceso para cuatro bloques solamente dura una hora y media, dejando secar el azufre máximo dos minutos para que alcance su solidez, para posteriormente llevarlos a la prensa hidráulica eléctrica en donde se medirá su resistencia a la compresión; este proceso se llevó a cabo en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil en el campus de Coquimatlán, Colima. Véase la figura 9.

**FIGURA 9**

Proceso de cabeceo de bloques



Fuente: Elaboración propia (2022).

Después de terminar el cabeceo se procedió a llevar los bloques a una prensa hidráulica eléctrica, la cual está calibrada a un máximo de compresión de 70-90 toneladas, puesto que dicha maquinaria podría descalibrarse si se sobrepasa de dicho rango. Este proceso fue llevado a cabo por el Ing. Luis Enrique Montaña Cárdenas en el Laboratorio de Materiales en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Colima. Al calibrar la prensa hidráulica eléctrica se procedió

a colocar el bloque lo más centrado posible en medio de dos placas de metal, con el fin de que la fuerza aplicada se distribuyera uniformemente sobre la pieza. Posteriormente se procedió a liberar dicha presión, de forma paulatina, para observar su comportamiento hasta el punto de ruptura de dicho bloque; este proceso tardó aproximadamente de 5 a 7 minutos por bloque, aumentando su tiempo de acuerdo con su esfuerzo a la compresión. Véase la figura 10.

**FIGURA 10**

Proceso de compresión de bloques



Fuente: Elaboración propia (2022).

La prensa registra los resultados de dicha prueba en kilos, dejando como único resultado la carga máxima del material. Posteriormente se procedió a realizar la siguiente fórmula  $E = P/A$  donde E es el esfuerzo a la compresión, P la carga máxima del material y A el área cuadrada o superficie del objeto.

#### PRUEBAS TÉRMICAS

En relación a la investigación y los documentos revisados, se decidió realizar las pruebas térmicas a los 28 días posteriores a elaborar los

bloques, con el fin de observar qué comportamiento térmico tenían los bloques una vez que alcanzaran la solidez y resistencia adecuada (Alcántara, 2021; Mercado y Orozco, 2019). Para el siguiente análisis se revisó la norma NMX-C-159-ONNCE-2004. Esta norma mexicana establece los procedimientos para elaborar y curar, en el laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para las pruebas de resistencia a la compresión, a la flexión y a la tensión diametral.

Antes de empezar directamente con las pruebas térmicas, se realizaron dos perforaciones a

una distancia de 6 mm y con una profundidad de 3 cm con una broca de acero de alta velocidad de 1/16" en cuatro cilindros con una proporción de 0.0 o natural, 2.0, 3.0, 4.0. Cabe destacar que para

realizar las perforaciones en dichos cilindros se necesitó de seis brocas, ya que estas eran muy delgadas y al momento de hacer las perforaciones se deformaban o se rompían. Véase la figura 11.

FIGURA 11

Bloques 0.0, 2.0, 3.0 y 4.0



Fuente: Elaboración propia (2022).

La realización de dichas perforaciones en los bloques anteriormente mencionados fue con el fin de usar el dispositivo KD2 Pro con un sensor de doble aguja SH-1, este dispositivo opera bajo las normas ASTM-D5334-08, 2008, e IEEE Std 442-198, que indican un procedimiento para determinar la conductividad térmica de sólidos. El sensor de doble aguja debe ser recubierto por grasa

térmica a base de silicona, cuya única función es permitir al dispositivo tener contacto con el cilindro. Este proceso fue llevado a cabo en conjunto con el Dr. Jorge Armando Ojeda Sánchez en el Edificio de Posgrado en el campus de la Facultad de Arquitectura y Diseño en Coquimatlán, Col. Véase la figura 12.

FIGURA 12

Procedimiento para determinar la conductividad térmica de sólidos



Fuente: Elaboración propia (2022).

El dispositivo KD2 Pro con un sensor de doble aguja SH-1 fue configurado para que tomara lecturas del objeto analizado cada dos minutos, con el fin de poder hacer un registro de al menos once lecturas; este proceso duró alrededor de dos horas y 45 minutos aproximadamente por cada cilindro. Por otro lado, los resultados arrojados por dicho

instrumento de medición fueron la difusividad ( $\alpha$ ) y conductividad térmica ( $K$ ), sin embargo, debido a que se sabe las medidas y el peso de dichos elementos, se pudo conocer la densidad ( $\rho$ ) y capacidad calorífica ( $C_p$ ) de dichos objetos con la siguiente expresión:  $\alpha = K/(\rho C_p)$  en  $[m^2/s]$ .

## RESULTADOS

### ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS

En relación con la investigación y los documentos revisados de nuestra investigación, las pruebas de compresión se aplican a los 28 y 56 días, esto tiene el fin de que alcancen la solidez y resistencia adecuada (Alcántara, 2021; Mercado y Orozco, 2019). Para el siguiente análisis se revisó la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004. Esta norma mexicana establece los procedimientos para elaborar y curar, en el laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para las pruebas de resistencia a la compresión, a la flexión y a la tensión diametral (Mexicodocuments, 2004).

Previo a realizar las pruebas de compresión, se realizó el cabeceo de los cuatro bloques a los 28 y 56 días, con el método descrito anteriormente. Dichas pruebas se realizaron con una prensa hidráulica eléctrica, calibrada a un máximo de compresión de 70-90 toneladas, como límite máximo. Este proceso fue llevado a cabo por el Ing. Luis Enrique Montañó Cárdenas en el Laboratorio de Materiales en la Facultad de Ingeniería Civil. Al calibrar la prensa hidráulica eléctrica se procedió a colocar el bloque lo más centrado posible en medio de dos placas de metal, con

el fin de que la fuerza aplicada se distribuyera uniformemente sobre la pieza. Posteriormente se procedió a liberar dicha presión de manera paulatina para observar su comportamiento hasta el punto de ruptura de dicho bloque; este proceso tardó aproximadamente de 5 a 7 minutos por bloque, aumentando su tiempo de acuerdo con su esfuerzo a la compresión. Véase la figura 13.

**FIGURA 13**

Procedimiento de compresión de bloques



Fuente: Elaboración propia (2022).

La prensa registra los resultados en kilogramos, dejando como único resultado la carga máxima del material. Con los datos registrados, se procesan con la expresión de esfuerzo mencionada anteriormente. Los datos de cálculo pueden apreciarse en la tabla 1.

Tabla 1  
 Pruebas de compresión

Tiempo transcurrido	Contenido de fibra (% en volumen)	Peso de bloques (Kg)	Carga máxima del material (Kgf)	Área del bloque (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
Valores	=	=	P	A	P/A
28 días	0.0	5.7	96,070	392	245.07
	2.0	4.17	46,990	392	119.87
	3.0	4.7	74,590	392	190.28
	4.0	4.13	47,300	392	120.66
56 días	0.0	5.03	93,050	392	237.37
	2.0	4.89	75,090	392	191.55
	3.0	5.11	71,850	392	183.29
	4.0	4.88	78,340	392	199.84

### BLOQUE 0.0 - 28 DÍAS

En relación con la tabla 1 y a los diversos procedimientos hechos al momento de elaborar el bloque 0.0 (o bloque de concreto cuya propor-

ción es 1 ½ kg de cemento, 4.444 kg de arena, 0 kg de poliestireno expandido, 0 kg de fibra y 1 ½ L de agua), se notó que, al momento de realizar la prueba a compresión en la prensa, no se llegó

al punto en el cual se cuarteaba el bloque; esto se debió a que si se sobrepasaba la carga máxima del material la prensa empezaría a descalibrarse y no daría resultados confiables.

#### BLOQUE 0.0 - 28 DÍAS

En relación con la tabla 1 y a los diversos procedimientos hechos al momento de elaborar el bloque 0.0 (o bloque de concreto cuya proporción es 1 ½ kg de cemento, 4.444 kg de arena, 0 kg de poliestireno expandido, 0 kg de fibra y 1 ½ L de agua), se notó que, al momento de realizar la prueba a compresión en la prensa, no se llegó al punto en el cual se cuarteaba el bloque; esto se debió a que si se sobrepasaba la carga máxima del material la prensa empezaría a descalibrarse y no daría resultados confiables.

#### BLOQUE 2.0 - 28 DÍAS

Respecto a este bloque y a los diversos procedimientos hechos al momento de elaborar el bloque 2.0 (o bloque con proporción 2 de fibra), se notó que, al momento de realizar la prueba a compresión en la prensa, lo máximo que alcanzó fue la mitad de la carga máxima del material a comparación del anterior; este bloque, al estar llegando a su punto de compresión, empezó a cuartearse y a desmoronarse por los bordes. Es relevante mencionar que la prensa es utilizada manualmente para realizar la compresión. Véase la figura 14.

**FIGURA 14**

Bloque con proporción 2 de fibra  
(bloque 2.0 - 28 días)



Fuente: Elaboración propia (2022).

#### BLOQUE 3.0 - 28 DÍAS

Al momento, del bloque 3.0 (o bloque con proporción 3 de fibra), se realiza la prueba a compresión en la prensa, obteniendo una carga máxima del material de 74,590 *Kgf* que equivaldrían a 74,590 toneladas. Este bloque, en comparación con el anterior, no obtuvo cuarteaduras tan visibles como el anterior. El único percance a considerar son las grietas internas que tendría después de la prueba a compresión. El bloque mencionado se puede apreciar en la figura 15.

**FIGURA 15**

Bloque con proporción 3 de fibra  
(bloque 3.0 - 28 días)



Fuente: Elaboración propia (2022).

#### BLOQUE 4.0 - 28 DÍAS

Con resultados sorprendentes, el bloque 4.0 (o bloque con proporción 4 de fibra), en comparación con el bloque 2.0 no llegó a cuartearse tanto, y obteniendo una carga máxima del material similar al bloque 2.0. Pero hubo inconvenientes con la prensa, la cual le dio varios momentos de compresión antes de que llegara a su carga máxima, pudiendo ocasionar grietas internas antes de dar el resultado final. Véase la figura 16.

**FIGURA 16**

Bloque con proporción 4 de fibra  
(bloque 4.0 - 28 días)



Fuente: Elaboración propia (2022).

#### BLOQUE 0.0 - 56 DÍAS

En relación con la tabla 1 y a los diversos procedimientos hechos al momento de elaborar el bloque 0.0, al estar realizando la prueba tuvo el mismo resultado que el bloque 0.0 de los 28 días, el cual sobrepasó las 90 toneladas.

#### BLOQUE 2.0 - 56 DÍAS

Respecto a este bloque y a los diversos procedimientos hechos al momento de elaborar el bloque 2.0, este tuvo un aumento en su resistencia a la compresión, pero las grietas no fueron visibles, la mayoría fueron en el interior del bloque. Véase la figura 17.

**FIGURA 17**

Bloque con proporción 2 de fibra  
(bloque 2.0 - 56 días)



Fuente: Elaboración propia (2022).

#### BLOQUE 3.0 - 56 DÍAS

Al momento, del bloque 3.0 (o bloque con proporción 3 de fibra), se realiza la prueba a compresión en la prensa, se obtuvo una carga máxima del material de 71,850  $Kg_f$  que equivaldrían a 71,850 toneladas. Este bloque, a comparación del de los 28 días, disminuyó su tonelaje y su resistencia a la compresión. Véase figura 18.

**FIGURA 18**

Bloque con proporción 3 de fibra (bloque 3.0 - 56 días)



Fuente: Elaboración propia (2022).

#### BLOQUE 4.0 - 56 DÍAS

Con resultados sorprendentes, el bloque 4.0. Este bloque obtuvo una mayor resistencia a la compresión a comparación del bloque 4.0 de los 28 días. No se logran a visualizar grietas exteriores, pero lo que sí tenemos seguros es que debido al constante golpeteo que tuvo el bloque 4.0 de los 28 días, ocasionó que nos proporcionaran resultados no tan confiables. Véase figura 19.

**FIGURA 19**

Bloque con proporción 4 de fibra  
(bloque 4.0 - 56 días)



Fuente: Elaboración propia (2022).

### ANÁLISIS DE PROPIEDADES TÉRMICAS

En relación con la investigación y los documentos revisados, se decidió realizar las pruebas térmicas a los 28 días posterior a realizar los bloques, con el fin de observar qué comportamiento térmico tenían los bloques una vez que alcanzaran la solidez y resistencia adecuada (Alcántara, 2021; Mercado y Orozco, 2019). Para el siguiente análisis se revisó la norma NMX-C-159-ONNCE-2004. Esta norma mexicana establece los procedimientos para elaborar y curar, en el laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para las pruebas de resistencia a la compresión, a la flexión y a la tensión diametral.

Para realizar la medición de las propiedades térmicas se realizaron dos perforaciones a una distancia de 6 mm y con una profundidad de 3 cm con una broca de acero de alta velocidad de 1/16" de diámetro en cuatro cilindros con una proporción de 0.0 o natural, 2.0, 3.0, 4.0 en proporción.

Las características de dichas probetas fueron mencionadas en secciones anteriores. Dadas las características del material, se requirieron seis brocas; debido al diámetro, al momento de perforar, dichas brocas se deformaban o se rompían. Las probetas se pueden apreciar en la figura 11.

La finalidad de realizar las perforaciones en los bloques es utilizar el sensor de doble aguja SH-1, que debe de ser recubierto por grasa tér-

mica a base de silicona, cuya única función es permitir al sensor tener contacto con el cilindro. Este proceso fue llevado a cabo en el Laboratorio de Arquitectura en el Edificio de Posgrado en el campus de la Facultad de Arquitectura y Diseño en Coquimatlán, Colima.

La tabla 2 muestra el conjunto de resultados obtenidos de dicha experimentación.

**TABLA 2**  
Pruebas térmicas

Tiempo	Muestras	Difusividad $\text{mm}^2/\text{s}$	Conductividad térmica $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Calor específico ( $C_p$ )	Densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )
28 días	0.0	0.649	0.772181818	0.0005313	2,238
	2.0	0.302	0.595181818	0.0010518	1,872
	3.0	0.295	0.523545455	0.0009651	1,840
	4.0	0.374	0.625636364	0.0009136	1,830

En relación con la tabla y a los diversos procedimientos hechos al momento de elaborar los cilindros 0.0, 2.0, 3.0 y 4.0, se notó que, al momento de realizar la prueba térmica en el KD2 Pro, el compuesto 0.00 mostró ser el que tenía una mayor conductividad térmica de hasta  $0.772 \text{ W}/(\text{mK})$ , difusividad térmica de hasta  $0.649 \text{ mm}^2/\text{s}$  y una densidad de  $2,238 \text{ Kg}/\text{m}^3$ . Por otro lado, este mismo mostró ser el de menor calor específico, teniendo un resultado de  $0.00053134 \text{ mJ}/\text{m}^3\text{K}$ . Véase la tabla 2.

El cilindro 4.0 fue el que menos densidad tuvo en dicha prueba, teniendo un resultado de  $1,830 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ; por otra parte, el cilindro 2.0 fue el que mayor calor específico obtuvo en dichas pruebas, teniendo un resultado de  $0.00105183 \text{ mJ}/\text{m}^3\text{K}$ . Al analizar el cilindro 2.0 y el 4.0 se observó una similitud en sus resultados arrojados por el dispositivo KD2 Pro, sin embargo, esto se cree que es debido a la distribución de las fibras y las perforaciones elaboradas en dichas muestras. Véase la tabla 2 y la figura 19.

Para finalizar, los resultados obtenidos de la difusividad y conductividad térmica del cilindro 3.0 fueron los más bajos de los cuatro elementos

analizados, teniendo una difusividad de  $0.295 \text{ mm}^2/\text{s}$  y una conductividad térmica de hasta  $0.5235 \text{ W}/(\text{mK})$ . Véase la tabla 2.

## CONCLUSIONES

Con relación a la hipótesis planteada, el material compuesto de los materiales en los bloques presenta una diferencia entre los resultados de la propuesta base del desempeño mecánico de los 28 días. El bloque 0.0 de  $219.56 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ , al bloque 3.0 de  $190.28 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ , conteniendo este una proporción del  $0.144 \text{ Kg}/\text{Kg}$  de fibras de bambú. Tendiendo a la razón, se esperaba que el bloque 4.0 de  $120.66 \text{ Kg}/\text{cm}^2$  contara con un mejoramiento al terminar las pruebas, en función a los resultados obtenidos en bloques de concreto con poliestireno o bambú por otros investigadores como Choo *et al.* (2020), Mercado *et al.* (2019), Roblez (2018) y Alcántara (2021). Sin embargo, pese a lo esperado, en dicha prueba se obtuvo una similitud con el bloque 2.0 de  $219.56 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .

Por otro lado, el bloque 3.0, comparado al bloque 0.0, se puede decir con seguridad que, aun-

que no tuviera una mejoría de la resistencia a la compresión, se podría utilizar con más eficiencia en la creación de muros divisorios internos. Pero cambia drásticamente con los resultados obtenidos a los 56 días, todos los bloques con ciertas proporciones de bambú tuvieron un aumento en su resistencia a la compresión, aunque el que resaltó esta vez fue el bloque 4.0 de  $199.84 \text{ Kg/cm}^2$ , esto nos confirma que el bloque 4.0 que se realizó a los 28 días arrojó resultados no confiables, debido a que cuando se realizó la compresión de dicho bloque se estuvo dando golpeo simultáneamente por la máquina. Otra cosa también a recabar fue que el bloque 2.0 de los 56 días obtuvo  $191.55 \text{ Kg/cm}^2$ , teniendo algo de similitud al bloque 4.0 de los 56 días.

Y con relación a la hipótesis que se tenía planteada en el desempeño térmico de los 28 días, el cilindro 0.0 de  $0.772 \text{ W/(mK)}$ , al cilindro 3.0 de  $0.523 \text{ W/(mK)}$ ; el cilindro 3.0 teniendo presente un retraso térmico mejor que el cilindro 0.0 haciendo espacios habitables, por consiguiente, un espacio más confortable para el desarrollo del ser humano. Aunque también sorprendió que entre los cilindros 2.0 y 4.0 tuvieran una similitud en los resultados obtenidos.

Con esto podemos concluir que el material compuesto propuesto en sus diferentes proporciones presenta resultados favorables mecánica y térmicamente, en climas similares al del estado de Colima.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo agradecen el apoyo del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Colima, para la realización de las pruebas mecánicas de los bloques de material compuesto.

## REFERENCIAS

- Alcántara, A. (2021). *Desempeño térmico en bloques multiperforados a base de concreto con fibras de bambú*. Coquimatlán: Universidad de Colima.
- Arbeláez, A. (1997). Morteros reforzados con fibras de bambú. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 131-151. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28797/29129>
- Choo Chin, S., Fah Tee, K., Sheng, F., Ruey, H., & Gim bun, J. (2020). Thermal and mechanical properties of bamboo fiber reinforced composites. *Materials Today Communications*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100876>
- CONAGUA (2019). Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. CONAGUA. México: Gobierno de México. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Corrales, B. V. (enero/marzo de 2017). Industria del cemento en México: Análisis de sus determinantes. *Problemas del Desarrollo*, 113-138. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/312934193\\_INDUSTRIA\\_DEL\\_CEMENTO\\_EN\\_MEXICO\\_ANALISIS\\_DE\\_SUS\\_DETERMINANTES](https://www.researchgate.net/publication/312934193_INDUSTRIA_DEL_CEMENTO_EN_MEXICO_ANALISIS_DE_SUS_DETERMINANTES)
- CTN 81 - Seguridad y salud en el trabajo (2006). *Ergonomía del ambiente térmico (ISO 7730:2005)*. Madrid, España: AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). Obtenido de <https://www.une.org/Paginas/Normalizacion/Ficha-CTN.aspx?n=3&c=CTN%2081>
- Decagon (2006). KD2 Pro manual. Obtenido de [https://library.metergroup.com/Manuals/13351\\_KD2%20Pro\\_Web.pdf](https://library.metergroup.com/Manuals/13351_KD2%20Pro_Web.pdf)
- Elizondo M., Miguel, Ojeda S., Jorge A., Esparza L., Carlos Javier, & Gómez A., Adolfo (2015). Evaluación térmica de materiales compuestos como aislante térmico para casas habitación en el Estado de Colima a partir de bambú y tierra cruda. *Aza (Evaluación Térmica)*, 1-9. [https://www.researchgate.net/publication/282577276\\_Evaluacion\\_termica\\_de\\_materiales\\_compuestos\\_como\\_aislante\\_termico\\_para\\_casas\\_habitacion\\_en\\_el\\_estado\\_de\\_colima\\_a\\_partir\\_de\\_bambu\\_y\\_tierra\\_cruda](https://www.researchgate.net/publication/282577276_Evaluacion_termica_de_materiales_compuestos_como_aislante_termico_para_casas_habitacion_en_el_estado_de_colima_a_partir_de_bambu_y_tierra_cruda)
- Hernández, Fernández, Baptista (2015). *Metodología de la investigación* (Vol. 3, Issue 2). <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>

- Hidalgo, O. (2003). The plant. En *Bamboo, the gift of the gods*. Colombia: Oscar Hidalgo.
- INEGI (2020). Recuperado el 11 de septiembre de 2022, de <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/col/poblacion/hogares.aspx?tema=me&e=06>
- López, V. (25 de septiembre de 2021). Milenio. Recuperado en 2022, de <https://www.milenio.com/negocios/puebla-materiales-construccion-vivienda-suben-40-canadevi>
- Mercado, S., & Orozco, M. (2019). *Bloque de construcción con bambú*. Coquimatlán: Universidad de Colima.
- Mexicodocuments (2004). Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio. Recuperado el 29 de mayo de 2022, de <https://vdocuments.mx/nmx-c-159-onncce-2004-elab-y-curado-de-especim-de-concreto-en-lab-565c6a9630055.html?page=9>
- Minke, G. (2010). *Manual de construcción con bambú*. Cali, Colombia: Merlín.
- Municipios.com (2022). Recuperado el 3 de septiembre de 2022. Obtenido de <http://www.municipios.mx/colima/coquimatlan/>
- REVISTACYT (2013). Poliestireno en fabricación de concreto. *Construcción y Tecnología en Concreto*, 12-13. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/diciembre2013/posibilidades.pdf>
- Roblez, E. (2018). *Determinación de la conductividad térmica de un block de concreto con agregados de poliestireno a diferentes proporciones*. Coquimatlán: Universidad de Colima.
- Romo, R., & Carlos, J. (2006). El bambú como material de construcción. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94403115.pdf>
- SEMARNAT (2013). *Manual para la construcción sustentable con bambú*. CONAFOR. México: Gobierno Federal de México. Obtenido de [https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/MANUAL\\_PARA\\_LA\\_CONSTRUCCION\\_SUSTENTABLE\\_CON\\_BAMBU.PDF](https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/MANUAL_PARA_LA_CONSTRUCCION_SUSTENTABLE_CON_BAMBU.PDF)

