



Estudio mecánico del desplazamiento de fluidos en Bambú para su preservación

Mechanical study of fluid displacement in bamboo for its preservation

Sánchez-Medrano María Teresa

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas

Correo: tsanchez@docentes.uat.edu.mx

Izquierdo-Kulich Elena F.

Departamento de Química-Física, Facultad de Química, Universidad de la Habana

Correo: elenaijk@fq.uh.cu

Aranda-Jiménez Yolanda Guadalupe

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas

Correo: yaranda@docentes.uat.edu.mx

Suárez-Domínguez Edgardo Jonathan

Laboratorio de Materiales, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas

Correo: edgardo.suarez@uat.edu.mx

Resumen

El bambú representa un gran potencial de uso en la construcción dentro de los materiales alternativos sustentables. Esta gramínea del tipo leñosa posee grandes ventajas ligadas a su velocidad de crecimiento y maduración del ciclo biológico, que llega a ser de 3 a 5 años. Sin embargo, sus excelentes propiedades mecánicas y físicas así como la durabilidad del mismo, requieren de estudios adicionales por tratarse de un material de origen natural, susceptible del ataque de insectos y a la exposición de condiciones ambientales del entorno en que se encuentra. Particularmente, para la preservación de este material, así como de otros similares, se utilizan técnicas de desplazamiento e inyección de fluidos, no obstante, son pocos los modelos matemáticos que describen estos procesos. El presente estudio analiza el flujo de fluidos a través de las paredes de bambú de la especie Guadua aculeata también conocida popularmente como "Tarro", que se ha utilizado tradicionalmente como elemento principal en la vivienda rural de México. Se desarrolló un modelo matemático que describe el proceso a partir de la caída de presión y la porosidad. Dicha evaluación en el bambú genera conocimiento acerca de su comportamiento, dadas las características anatómicas y morfológicas de la especie estudiada. Lo anterior tiene implicaciones futuras porque dependiendo de su porosidad, es posible la adición de preservantes y soluciones líquidas que logren mejorar su respuesta física, mecánica y de durabilidad.

Descriptores: Desplazamiento de fluidos, bambú, preservantes, durabilidad.

Abstract

Bamboo represents a great potential of use for the construction within the alternative sustainable materials. This grass of the woody type has great advantages linked to its growth speed and maturation of its biological cycle, from 3 to 5 years. However, its excellent mechanical and physical properties and the durability of the same, require additional studies because it is a material of natural origin, susceptible to insect attack and exposure to environmental conditions in the environment. Particularly, for the preservation of this material, as well as of similar others, techniques of displacement and injection of fluids are used, nonetheless, few are the mathematical models that describe these process. The present study analyzes the flow of fluids through the bamboo walls of the Guadua aculeata species, better known as "Tarro", traditionally used as the main element in rural housing in Mexico. A mathematical model was developed that describes the process from the pressure drop and porosity. This evaluation in bamboo generates knowledge about its behavior, given the anatomical and morphological characteristics of the species under study. This has implications for the future because depending on its porosity, it is possible to add preservatives and liquid solutions that will improve its physical, mechanical and durability response.

Keywords: Fluid displacement, bamboo, preservation, durability.

INTRODUCCIÓN

El flujo de gas o líquido a través de un medio poroso constituye una de las operaciones más frecuentes en el campo de la ingeniería de procesos industriales. En esta técnica, el comportamiento de la caída de presión por unidad de longitud del tubo depende del flujo volumétrico aplicado y de las características del medio poroso, determinadas por el tamaño y forma de las partículas que lo constituyen. Debido a que la disposición espacial del medio poroso, que puede ser ejemplificado por medio de un conjunto de fibras en un medio, pueden idealizarse como partículas y, la forma de estas se caracterizan por presentar irregularidades; generalmente el desarrollo de modelos para describir este tipo de proceso conlleva la determinación de correlaciones empíricas y la determinación experimental de la porosidad del medio.

EL BAMBÚ

Los materiales fibrosos tales como la madera o el bambú se han utilizado tradicionalmente en arquitectura como componentes estructurales, constructivos u ornamentales. Por ser de origen natural, normalmente es necesario tratar los elementos para diferentes propósitos; en el caso del bambú, se han utilizado productos químicos y métodos especializados de desplazamiento de savia (Montoya, 2005), para sustituirla por soluciones preservantes como el bórax y ácido bórico que logren impedir el ataque de insectos. Por otro lado, el tratamiento también se utiliza para incrementar el proceso de lignificación por el paso de fluidos líquidos o gaseosos calientes (Luo, *et al.*, 2012). El tratamiento con calor puede incluir el uso de aceite líquido que se coloca en las fibras (Wahab, *et al.*, 2005) con la finalidad de incrementar la durabilidad y otras propiedades como la resistencia mecánica (Yang, *et al.*, 2016). El color del material también se puede modificar según la cantidad de fluido oleoso que se impregna en fibras de bambú (Wahab, *et al.*, 2013), además de otros procesos regidos por fenómenos de transporte (Meng, *et al.*, 2016). Asimismo, se han estudiado los haces vasculares de diferentes especies de bambú encontrándose que entre el 50-80% se encuentran situados en el tercio exterior de la pared, 10-25% en el medio y solo 10-20% en el tercio interior, existiendo diferencias significativas entre las especies y entre las diferentes partes de un culmo de bambú; el porcentaje de fibras y células conductoras en la dirección vertical aumenta con la altura, mientras que el contenido parénquima disminuye (Grosser, y Liese, 1974). Por otra parte, para el caso específico de la Guadua aculeata, según el estudio de Zaragoza *et al.*

(2014), anatómicamente, el culmo está compuesto por 50% de parénquima, 41% de fibra y 9% de tejido conductor. Las fibras miden en promedio 2.152 mm de longitud, 13.68 μm de diámetro, 3.29 μm de diámetro de lumen y 10.39 μm de grosor de pared, lo cual impacta en el paso de los fluidos a través del material.

En algunas ocasiones las piezas se utilizan de forma entera, requiriendo alguna de las diversas técnicas de preservación (Burgos, 2003), donde se requiere incrementar la resistencia a la compresión (Saikia, *et al.*, 2015) para su uso como trabe o columna (Agarwal, *et al.*, 2014).

Las características anatómicas y morfológicas de la especie presentada habrán de estudiarse por separado para tener mayor información, para el establecimiento de conclusiones acerca de su comportamiento, sin embargo, la información de referencia sobre longitudes de fibras y densidad de las mismas según la zona del culmo y su ubicación, muestran que las fibras del centro a la periferia de las paredes son las de mayor longitud y las de menor longitud, las que se encuentran en el interior, lo cual puede tener su explicación en el proceso de envejecimiento de la pared del culmo de bambú que se presenta en la zona interna del nudo. Este estado tiene como consecuencia una disminución de la densidad en esa parte interna comparada con la zona periférica, que debe considerarse en el uso del material (Zaragoza *et al.*, 2014).

El bambú como material alternativo para uso en la construcción en zonas tropicales constituye una disminución fuerte del costo energético, principalmente en sus etapas de extracción y producción comparadas con las de materiales convencionales (industrializados), por lo que ofrece una respuesta a las condicionantes que el desarrollo sustentable exige en el campo de la construcción. El análisis de cómo se transporta un fluido y la propuesta de un modelo es significativo porque permite conocer las condiciones en las que este se realice y las características necesarias para el paso del fluido.

Aunque existen trabajos que modelan el flujo de gas en medio poroso (Kotaka, *et al.*, 2015; Kowalewski, *et al.*, 2016), estos requieren de sistemas complicados de solución. En el presente estudio, se desarrolló un modelo matemático práctico para representar el flujo de fluido en un medio poroso, aplicado a un material fibroso con potencial aplicación en áreas de preservación y modificación de características físicas del mismo, que impacten en su respuesta mecánica e incluso de durabilidad.

DESARROLLO DEL MODELO

La porosidad (ε) se define como el volumen no ocupado por las partículas, dividido por el volumen total del medio

$$\varepsilon = \frac{V_h}{V_t} \quad (1)$$

Mientras que el volumen ocupado por las fibras o partículas se determina como

$$V_s = (1-\varepsilon)V_t \quad (2)$$

Las pérdidas por fricción asociadas al flujo a través del medio poroso dependen de la superficie del sólido que se encuentra en contacto con el fluido, así como del diámetro de los intersticios que quedan entre las partículas sólidas. En este caso el área superficial específica del medio poroso dependerá del área superficial de las partículas y la porosidad:

$$A_s = (1-\varepsilon) S_o \quad (3)$$

Donde S_o es el área superficial específica de una partícula, la cual está dada por

$$S_o = \frac{6}{s_p \psi} \quad (4)$$

donde

d_p = diámetro de la partícula y
 ψ = factor de forma

En la Tabla 1 se muestran diferentes factores de forma calculados para diferentes tipos de partículas.

Aunque se entienda como "partícula" al medio poroso donde se lleva a cabo el transporte de fluido, y es entre ellos donde existe espacio vacío que se llama "poro", este medio puede ser cualquier componente que constituya una matriz sólida. Más adelante se mostrará el enfoque donde las "partículas" se refieren al medio fibroso de las paredes del bambú.

El diámetro equivalente de un flujo a través de un medio poroso se define como 4 veces el área de la sección transversal del flujo dividido por el perímetro húmedo. En un medio aleatorio esta es igual a cuatro veces el volumen ocupado por el fluido dividido por el área superficial de las partículas que se encuentran en

contacto con el flujo. De esta manera, el diámetro equivalente depende del área superficial específica de las partículas y de la porosidad del medio:

El diámetro equivalente del área de flujo se define como

$$d_e = \frac{4\varepsilon}{(1-\varepsilon)S_o} \quad (5)$$

Debido a la presencia de las partículas, la velocidad volumétrica del flujo a través del medio se define como

$$V_b = \frac{v}{\varepsilon_o} \quad (6)$$

Donde v es el flujo por unidad de sección transversal S del medio sin considerar la presencia de las partículas

$$v = \frac{Q}{S} \quad (7)$$

Para un sistema en estado estacionario, el comportamiento de la caída de presión por unidad de longitud se expresa en función de un factor de fricción de acuerdo con la relación

$$\frac{f_b}{2} = \frac{\Delta P}{L} \left(\frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)S_o \rho v^3} \right) \quad (8)$$

El factor f_b se determina mediante correlaciones empíricas en función del número de Reynolds

$$\frac{f_b}{2} = \frac{5}{R_{eb}} + \frac{0.4}{(R_{eb})^{0.1}} \quad (9)$$

donde

$$R_{eb} = \frac{\rho v_b d_e}{\mu} = 4.0 \frac{v}{\mu S_o (1-\varepsilon)} \quad (10)$$

Combinando las ecuaciones (8), (9) y (10) se obtiene una expresión que permite estimar el comportamiento de la caída de presión:

Tabla 1. Factor de forma de diferentes tipos de partículas

Material	Factor de Forma ψ	Material	Factor de Forma ψ
Esferas, cubos, cilindros	1	Vidrio Triturado	1.5
Arena de Cantos vivos	1.5	Polvo de Carbón	1.4
Arena de cantos lisos	1.2	Escamas de Mica	3.6

$$\left[5 + 0.4 \left(4 \frac{v}{\mu} \frac{\rho}{S_o(1-\varepsilon)} \right)^{0.9} \right] \frac{1}{4} v^2 \frac{\mu}{\varepsilon^3} (1-\varepsilon)^2 = \Phi \quad (11)$$

donde

$$\Phi = \frac{\Delta P}{L} \quad (12)$$

MÉTODO

SOLUCIÓN TEÓRICA

La ecuación (11) puede expresarse de forma adimensional

$$\frac{1}{R_{eb}} \left[\frac{5}{R_{eb}} + \frac{0.4}{(R_{eb})^{0.1}} \right] = \frac{\Delta P}{Lv^4} \left(\frac{1}{4} \mu \frac{\varepsilon^3}{\rho^2} \right) \quad (13)$$

La ecuación (11) es una ecuación algebraica no lineal que necesita de la aplicación de métodos numéricos de solución cuando la caída de presión es un valor dado en el sistema. Carman-Kozeny proponen una expresión simplificada (Mauran *et al.*, 2001) que se aplica a medios de baja porosidad como es el caso del bambú, considerando que el sistema se encuentra en régimen laminar e introduciendo un factor de corrección K_c

$$v = \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \left(\frac{1}{K_c \mu} \right) \left[\frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2 S_0^2} \right] \quad (14)$$

Donde el factor K_c toma valores entre 3.5 y 5.5. Para este caso partículas esféricas: $K_c = 5$, se obtiene

$$\frac{\Delta P}{L} = (5\mu) \left[\frac{(1-\varepsilon)^2 S_0^2}{\varepsilon^3} \right] v \quad (15)$$

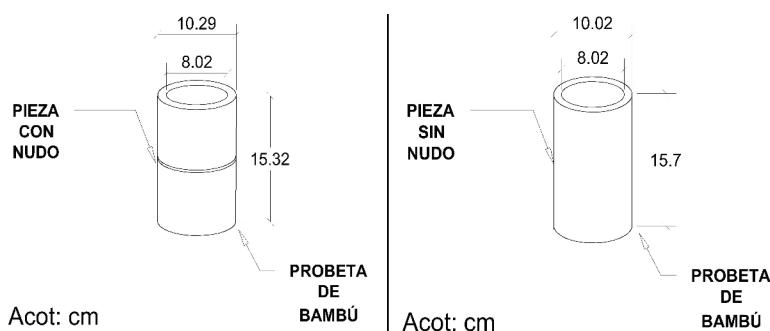


Figura 1. Probetas de bambú con nudo y sin nudo. Con excepción de la zona nodal, las fibras de las paredes de bambú presentan un acomodo longitudinal

La ecuación (15) es válida para bajos valores del número de Reynolds.

EXPERIMENTOS DE LABORATORIO

Para los ensayos se obtuvieron 2 series de 3 probetas de bambú en estado verde de la especie *Guadua aculeata*, adquirido en un vivero localizado en ciudad Madero, Tamaulipas. Se consideraron dos tipos de probetas; la primera serie con nudo intermedio y la segunda sin nudo (Figura 1), para todos los casos se utilizó la zona media del culmo con el propósito de observar comportamiento y contrastar resultados; en esta figura pueden también observarse las dimensiones de los mismos y que mantienen una relación aproximada de altura igual a dos veces el diámetro interior.

Para la determinación de la permeabilidad fue necesario desarrollar un dispositivo que permitiera la inyección a presión del líquido, pero que a la vez lograra eliminar pérdidas del fluido (Figura 2). Este aditamento para la experimentación estuvo constituido por una bomba que introduce el fluido a una ampliación de acero con manómetro y que se une por un tubo de teflón a la muestra de bambú, con diámetro exterior aproximado de 10cm. La presión ensayada fue de 0.5 kg/cm² y 2.5 kg/cm². Se determinó el flujo por unidad de área a partir de la medición de volumen de fluido al final del sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

INFLUENCIA DE LA POROSIDAD, LA VELOCIDAD DEL FLUJO Y EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA EN LA CAÍDA DE PRESIÓN

En la Figura 3 se muestra cómo cambia la caída de presión por unidad de longitud respecto a la velocidad volumétrica v y la porosidad del medio. En este caso, se aprecia que a medida que disminuye la porosidad, la

resistencia del flujo como es de esperarse aumenta, por lo que se incrementa la caída de presión.

En la Figura 4 se muestra el comportamiento de la velocidad del flujo en relación con la porosidad, manteniendo constante la caída de presión en el sistema. En este caso se muestra cómo la caída de presión se incrementa a medida que el diámetro de la partícula disminuye, manteniendo constante la porosidad del medio.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento del flujo por unidad de área de acuerdo con la porosidad, considerando como parámetro la caída de presión. En este caso se observa cómo la disminución de porosidad causa una disminución en el flujo para un mismo valor de la caída de presión.

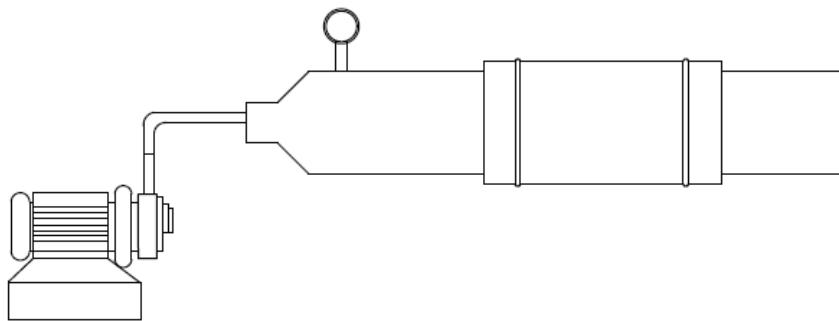


Figura 2. Dispositivo utilizado para determinación de paso de fluido para observar permeabilidad

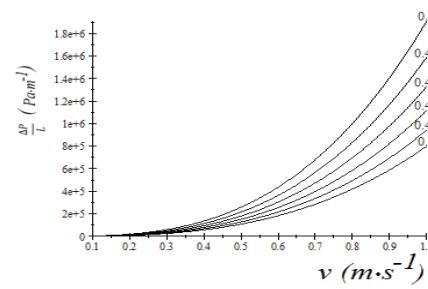
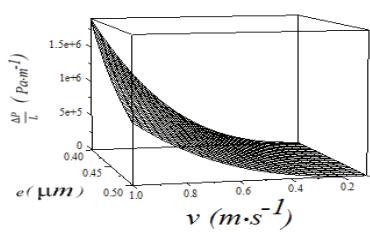


Figura 3. Comportamiento de la caída de presión por unidad de longitud del tubo respecto a la velocidad del fluido y la porosidad del medio y el comportamiento de la caída de presión de acuerdo con la velocidad, considerando la porosidad como parámetro. $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 0.001 \text{ Pa.s}$; $d_p = 0.005 \text{ m}$; partículas esféricas

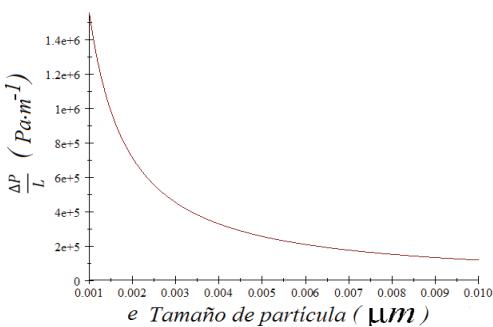


Figura 4. Comportamiento de la caída de presión por unidad de longitud del tubo respecto al tamaño de partícula
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 0.001 \text{ Pa.s}$; $v = 0.5 \text{ m/s}$

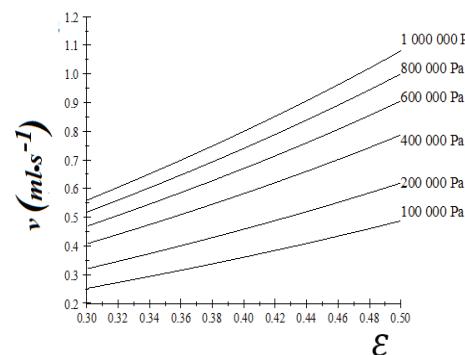


Figura 5. Comportamiento del flujo por unidad de área respecto a la porosidad, tomando como parámetro la caída de presión
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 0.001 \text{ Pa.s}$

RESULTADO EXPERIMENTAL

Los experimentos se desarrollaron en el sistema especificado anteriormente. Cuando se coloca en posición horizontal una presión de 50kPa no existe paso de fluido a través de las fibras. Cuando la presión inicial se incrementa a 245kPa se encontró que existe un flujo de 6ml/min. De acuerdo con la ecuación del número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Donde ρ , v , D y μ son la densidad, la velocidad, el diámetro y la viscosidad del líquido que pasa, respectivamente, se encuentra un régimen laminar, con un Reynolds menor que 1.

Al aplicar el modelo se encontró que el factor de forma (cuyos valores típicos se mostraron en la Tabla 1), de acuerdo con la ecuación (4), en conjunto con la ecuación (3), (2) y (1):

$$\Psi = \left[1 - \left(\frac{V_h}{V_t} \right) \right] \frac{6}{d_p A_s}$$

obtuvo un valor de 10.05, esto es equivalente a 10 veces un sistema de partículas de esferas bajo las mismas condiciones, lo que indica subsecuentemente un factor de forma de la misma magnitud.

Lo anterior permite considerar entonces, que es posible predecir las caídas de presión que se tendrían al inyectar los diversos productos. Se determinó además la porosidad por absorción de agua, obteniendo un resultado de 4% en volumen.

CONCLUSIONES

Se encontró un modelo general que permite representar el flujo de un fluido en una matriz sólida cuando se considera como un medio poroso.

El modelo, al aplicarse a probetas de bambú mostró que los resultados son equivalentes a 10 veces el encontrado para medios porosos representados con partículas esféricas lisas, de tal manera que se pueden estimar las condiciones de flujo para el cual se deben inyectar líquidos en el medio.

Se puede decir que en las dos series ensayadas, las probetas sin nudos presentaron mayor porosidad que cuando hubo presencia de nudos intermedios, dado que estos inhibieron el paso del fluido por la distribución altamente densa y compacta de las fibras en esta zona, mismas que no guardan una forma longitudinal como las paredes del culmo.

Determinar propiedades físicas como la permeabilidad en el bambú aportan conocimiento significativo para los trabajos de preservación o inyección de soluciones que optimicen alguna propiedad natural; en este sentido los trabajos existentes en México, en su mayoría han sido dirigidos a conocer propiedades mecánicas, sin embargo, por tratarse de un material natural es preciso garantizar un comportamiento y vida útil que le permitan ser considerado con seguridad en la construcción de vivienda así como en otro tipo de edificaciones.

En un trabajo posterior se presentará la contrastación del modelo con la inyección de diversos productos en el medio estudiado, aplicables principalmente a su conservación, por la necesidad de inyectar productos para inhibir el crecimiento de microorganismos a través del tratamiento por contacto del mismo con las fibras del material.

REFERENCIAS

- Agarwal A., Nanda B., Maity D. Experimental investigation on chemically treated bamboo reinforced concrete beams and columns. *Construction and Building Materials*, volumen 71, 2014: 610-617.
- Burgos A. Revisión de las técnicas de preservación del bambú. *Revista Forestal Latinoamericana*, volumen 33, 2003: 11-20.
- Hernández L.A., Montoya A.J., Camargo G.J. Análisis del ciclo de vida aplicado a la fase de extracción de Guadua, en eje cafetero. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*, volúmenes 65-66, ISSN 1659-1216, 2001: 68-76.
- Kotaka T., Tabuchi Y., Mukherjee P.P. Microstructural analysis of mass transport phenomena in gas diffusion media for high current density operation in PEM fuel cells. *Journal of Power Sources*, volumen 280, 2015: 231-239.
- Kowalewski T.A., Nakielski P., Pierini F., Zembrzycki K., Pawłowska S. (2016, April). Micro and nano fluid mechanics, en: *Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues: Proceedings of the 3rd Polish Congress of Mechanics (PCM) and 21st International Conference on Computer Methods in Mechanics (CMM)*, Gdansk, Poland, 8-11 septiembre de 2015 (pp. 27), CRC Press.
- Liese W. Research on bamboo. *Wood Sci Technol*, volumen 21 (número 3), 1987: 189-209.
- Grosser D. y Liese W. The distribution of vascular bundles and cell types within the culm of various bamboo species [Verteilung der Leitbündel und Zellarten in Sproßachsen verschiedener Bambusarten]. *Holz als Roh- und Werkstoff*, volumen 32 (número 12), 1974: 473-482. DOI: 10.1007/BF02612731
- Luo Z., Feng S., Pang J., Mao L., Shou H., Xie J. Effect of heat treatment on lignification of postharvest bamboo shoots (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*). *Food chemistry*, volumen 135 (número 4), 2012: 2182-2187.

- Mauran S., Rigaud L., Coudeville O. Application of the Carman-Kozeny Correlation to a High-Porosity and Anisotropic Consolidated Medium: The Compressed Expanded Natural Graphite. *Transport in Porous Media*, volumen 43 (número 2), 2001: 355-376.
- Meng F.D., Yu Y.L., Zhang Y.M., Yu W.J., Gao J.M. Surface chemical composition analysis of heat-treated bamboo. *Applied Surface Science*, volumen 371, 2016: 383-390.
- Montoya J.A. Sap displacement method–método de desplazamiento de savia (método Boucherie) para la preservación de la Guadua angustifolia kunth. *Scientia Et Technica*, volumen 2 (número 28), 2005.
- Saikia P., Dutta D., Kalita D., Bora J.J., Goswami T. Improvement of mechano-chemical properties of bamboo by bio-chemical treatment. *Construction and Building Materials*, volumen 101, 2015: 1031-1036.
- Sánchez-Medrano M.T. *Estudio del comportamiento a flexión del bambú utilizando como refuerzo del concreto en sistemas de piso y cubiertas*, tesis (doctorado en Arquitectura), México, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México, 2013.
- Wahab R., Mohamad A., Samsi H.W., Sulaiman O. Effect of heat treatment using palm oil on properties and durability of Se-mantan bamboo. *Journal of Bamboo and Rattan*, volumen 4 (número 3), 2005: 211-220.
- Wahab R., Sulaiman O., Khalid I., Rasat M.S.M., Sudin M. Chemical, Colour and Strength Changes of Eco-friendly Hot Oil Treatment on 15 Year-old Cultivated Acacia Hybrid. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, volumen 3 (número 1), 2013: 6-15.
- Yang T.H., Lee C.H., Lee C.J., Cheng Y.W. Effects of different thermal modification media on physical and mechanical properties of Moso bamboo. *Construction and Building Materials*, volumen 119, 2016: 251-259.
- Zaragoza-Hernández, I., Borja De la Rosa A., Zamudio-Sánchez F.J., Ordóñez-Candelaria V.R., Bárcenas-Pazos G.M. Anatomía del culmo de bambú (Guadua aculeata Rupr.) de la región nororiental del estado de Puebla, México. *Revista Madera y bosques*, volumen 20 (número 3), 2014: 87-96 [en línea] [Fecha de consulta 07 de octubre de 2016]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000300008&lng=es&tlang=es.

Citación sugerida:

Citación estilo Chicago

Sánchez-Medrano, María Teresa, Elena F. Izquierdo-Kulich, Yolanda Guadalupe Aranda-Jiménez, Edgardo Jonathan Suárez-Domínguez. Estudio mecánico del desplazamiento de fluidos en Bambú para su preservación. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIX, 03 (2018): 321-327.

Citación estilo ISO 690

Sánchez-Medrano M.T., Izquierdo-Kulich E.F., Aranda-Jiménez Y.G., Suárez-Domínguez E.J. Estudio mecánico del desplazamiento de fluidos en Bambú para su preservación. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XIX (número 3), julio-septiembre 2018: 321-327.

SEMLANZAS DE LOS AUTORES

Sánchez-Medrano María Teresa. Ingeniera Civil y Doctora en Arquitectura con énfasis en vivienda por la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), México. Es investigadora, profesora de tiempo completo en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FADU) de la UAT. Perfil deseable PRODEP. Responsable técnico y colaborador en proyectos con financiamiento PRODEP, FOMIX-COTACYT, CONACYT y UAT.

Izquierdo-Kulich Elena F. Ingeniera Química, Doctora en Ciencias Técnicas, Investigadora, Profesora Titular, jefa del Departamento de Química-Física, Facultad de Química, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. Sus principales desarrollos se encuentran en la modelación estocástica y aplicación del cálculo fraccional en procesos ingenieriles.

Aranda-Jiménez Yolanda Guadalupe. Arquitecta, Doctora en Arquitectura con énfasis en vivienda, Investigadora, es profesora de tiempo completo. SNI-1, Perfil deseable PRODEP. Colabora en diversos proyectos auspiciados por el CONACYT fungiendo como responsable técnico en varios de ellos.

Suárez-Domínguez Edgardo Jonathan. Químico Industrial, Arquitecto, Maestro en Ingeniería, doctor en administración de procesos; candidato a doctor en el área físico-matemáticas de posgrado (UNAM). Investigador, Profesor. Cuenta con diversas publicaciones y patentes en el área de ingeniería mecánica.