

Revista Electrónica Nova Scientia

El bambú como elemento estructural: la especie

Guadua amplexifolia

Bamboo as a structural element: species *Guadua*

amplexifolia

**María Teresa Sánchez Medrano, José Adán Espuna Mújica
y Rubén Salvador Roux Gutierrez**

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

México

María Teresa Sánchez Medrano. Centro Universitario Tampico-Madero. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Tampico. Tamaulipas. tsanchez@docentes.uat.edu.mx

Resumen

El uso de cualquier material como elemento estructural exige fundamentalmente del conocimiento de sus propiedades físico-mecánicas, con el objeto de conocer y aprovechar al máximo estas propiedades y/o descartarlo si no es considerado conveniente. Este trabajo presenta los resultados obtenidos del estudio del comportamiento físico-mecánico del bambú de la especie *Guadua amplexifolia* que crece endémicamente al norte del estado de Veracruz, México. Se utilizaron 100 culmos con longitud promedio de 5.5 m., respetándose los métodos de corte y sazonado tradicionales. Este estudio se apoyó en metodologías empleadas por las fuentes consultadas y en las propuestas de Normas de la Red Internacional del Bambú y del Ratán, tanto para propiedades físicas como mecánicas tales como pruebas a la compresión, tensión, y cortante paralelo a la fibra y flexión. Como baremo se tomaron los resultados obtenidos para la misma especie que crece en Monte Blanco, Veracruz, del estudio de (Ordoñez, 1999).

Se obtuvieron valores promedio de los Esfuerzos últimos de falla para Compresión, Cortante y Tensión paralela a la fibra así como para Flexión perpendicular a la fibra. Se comparó con el baremo y los registros obtenidos resultaron similares, observándose una muy pequeña variación en los resultados posiblemente a consecuencia de la anisotropía del material, ubicación geográfica y edad de los culmos. Para la prueba de Compresión paralela a la fibra, se presentaron fallas por cortante longitudinal, esto debido a la constitución de las fibras del material, tensión diagonal y en un muy bajo porcentaje se presentó aplastamiento en las caras y paredes de la probeta. Para la prueba de Cortante, se presentaron fallas por cortante longitudinal, claramente visibles debido a la constitución de las fibras del material con un desplazamiento considerable de las paredes de la probeta y en un porcentaje menor se presentó falla por cortante diagonal, también se presentó falla por aplastamiento en bajo porcentaje. La especie *Guadua Amplexifolia* demuestra tener propiedades similares a otras estudiadas en Sudamérica y que actualmente se utilizan en la construcción de vivienda, por lo que puede concluirse de acuerdo a las propiedades que presenta y que aquí se muestran, que puede resultar factible como material alternativo estructural para utilizarse en la construcción.

Palabras Clave: bambú; *guadua amplexifolia*; propiedades físico-mecánicas

Recepción: 30-11-2015

Aceptación: 31-05-2016

Abstract

The usage of any material like structural element demands fundamentally the knowledge of its physical-mechanical properties, with the objective of knowing and take the maximum advantage of their properties and/or dismiss it if considered useless. This text presents the results obtained from the study of the physical-mechanical behavior of the bamboo from the species *Guadua amplexifolia* which grows North of the state of Veracruz, Mexico. 100 culms with an average height of 5.5 meters were used, taking into consideration the cutting methods and traditional seasoning. This research was supported in the methodologies employed in the consulted sources and the proposals from the Standards of the International Network for Bamboo and Rattan, as for physical and mechanical properties such as tests for compression, tension and cutting parallel to the grain and bending. As a scale the results for the species that grow in Monte Blanco, Veracruz, from the studies (Ordoñez, 1999) were taken into consideration.

Average values from the last Efforts of failure for Compression, Cutting and Tension parallel to the bending as well for Flexion perpendicular to the fiber were obtained. It was compared with the scale and the registers obtained resulted similar, observing a very little variation in the results, possibly due to the anisotropy of the material, geographical location and age of the culms. For the Compression parallel to the fiber tests, failures were presented for longitudinal shear, due to the constitution of the material's fiber, diagonal tension and in a really low percentage flattening in the walls and faces of the test tube. For the Cutting test, failures were presented in the longitudinal shear, clearly visible because of the constitution of the material's fibers with considerable displacement at the walls of the test tube and in a lower percentage failure in longitudinal shear as well as in flattening. The species *Guadua Amplexifolia* showed similar properties to others studied in South America and are actually being used mainly in construction of housing, which leads to conclude, according to the properties showed here, that it may result feasible as an alternate structural material in construction.

Key Words: Bamboo, *Guadua amplexifolia*, Physical-mechanical properties

Introducción

El uso de cualquier material como elemento estructural exige fundamentalmente del conocimiento de sus propiedades físico-mecánicas, con el objeto de aprovechar al máximo estas propiedades o quizá descartarlo si no cumple con consideraciones mínimas requeridas en materiales de estructura o especie similar que se usen como referente de estudios previos. Sin contar con otros tipos de estudio como durabilidad, interacción al combinarlo con otros materiales, y su comportamiento físico-químico al combinarlo con otros materiales.

La razón del estudio es contribuir en el desarrollo de tecnologías de vivienda que mitiguen el impacto ambiental y ofrezcan alternativas de acceso a vivienda de bajo costo sin detrimento de la calidad, problemática que persiste en la vivienda construida con sistemas constructivos que emplean materiales convencionales en su proceso.

Si se han utilizado desde siempre y de manera empírica materiales de origen natural tales como la tierra cruda, la paja, la madera, la palma, el bambú solos o como sistemas mixtos y por generaciones han resuelto el problema de la habitación; requieren entonces ser reconsiderados y estudiados, aprovechando los avances científicos y tecnológicos que se han aplicado a los materiales de uso actual, también llamados convencionales, Estos materiales naturales merecen una oportunidad de demostrar su factibilidad a través de la experimentación y pueden aportar soluciones sustentables en el desarrollo de la vivienda en México.

En base a lo anterior y en la búsqueda, cercano al sur de Tamaulipas se encontró un material que presenta grandes propiedades a decir de los usos que a la fecha se le han dado: el bambú, material con características similares a las del acero y la madera según palabras de Simón Vélez, arquitecto colombiano con una gran experiencia en trabajo con bambú; por lo que se inició el estudio de este material con el objeto de poder analizarlo para considerar la factibilidad de que sustituya al acero en elementos de concreto reforzado; la primera parte del estudio que aquí se describe atendió a sus propiedades físico-mecánicas, pretendiendo con ello tener información suficiente sobre su resistencia a diferentes esfuerzos que permitan ofrecer un material de construcción alternativo, regional, de bajo costo energético en su extracción y producción, disminuyendo emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente el CO₂; así mismo, el uso del bambú permite la construcción asistida mediante transferencia de la tecnología, promoviendo el cultivo ordenado para el aprovechamiento de especies de bambú que demuestren su utilidad para la construcción.

Antecedentes del bambú

Con el nombre de Bambú, se designa a un grupo de especies de plantas que pertenecen a la familia de las Gramíneas (Poaceae), una de las familias botánicas, más extensas e importantes para el hombre.

Las diferentes especies de bambúes se caracterizan de acuerdo a la morfología de sus plantas, velocidad de crecimiento, forma de sus hojas, diámetro de sus tallos, entre otras características. Son nombradas con términos latinizados que generalmente contienen dos palabras, iniciando siempre con mayúscula aunque en ocasiones se le añade el apellido de su descubridor. Los bambúes pueden ser plantas pequeñas de menos de 1m de largo y con los culmos (tallos) de medio centímetro de diámetro, hasta gigantes de unos 25m de alto y 30cm de diámetro.

Con excepción de Europa, el bambú existe en todos los continentes. Se tienen registrados un total de 90 géneros y 1200 especies de bambúes que se distribuyen desde los 51° de latitud Norte hasta los 47 ° latitud Sur y desde el nivel del mar hasta los 4300 metros de altura, con su máxima altura reportada en los Andes ecuatorianos en la formación conocida como “Páramo”.

En América, existe casi la mitad de la diversidad mundial, reportándose un total de 41 géneros y 514 especies, que se distribuyen desde el Sudeste de los Estados Unidos de Norte América hasta Centro, y América del Sur, y las islas Caribe (Imagen 1). Con datos aproximados, de los países americanos, Brasil tiene la mayor diversidad, 220 especies; le sigue Colombia, 100 especies; Venezuela, 85 especies; Ecuador, 55 especies; Costa Rica, 47 especies y México con 45 especies (Teleche, 2006). De estas especies se tienen reconocidas 15 especies de bambúes en el Estado de Veracruz, lo que representa el 33% del total de las especies mexicanas. Debe considerarse que no todas las especies son aptas para su uso en construcción, pero la diversidad de especies, augura la potencialidad económica de México dentro de este rubro que no debe ser desaprovechado.

Estructura básica del bambú

El culmo (tallo) de bambú es un cilindro que a cada cierta distancia en forma perpendicular presenta diafragmas que coinciden con los nudos. De acuerdo a la composición de sus fibras, presenta una mayor resistencia longitudinalmente, y menor transversalmente.

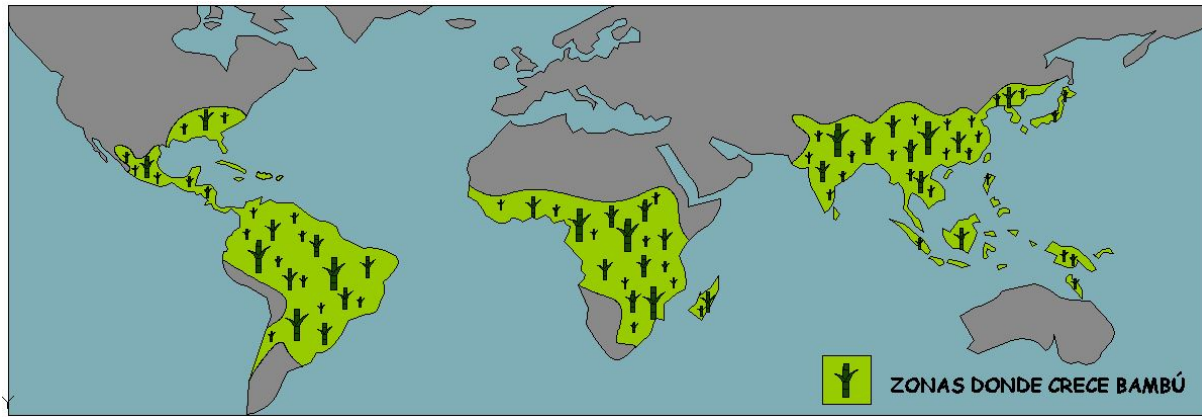


Imagen 1 Distribución Natural de los Bambúes en el mundo. Información tomada de Revista National Geographic

La estructura del bambú está compuesta por fibras largas de celulosa, alineadas e inmersas en una matriz de lignina. En un acercamiento de un corte de la sección transversal de un tallo de bambú (Imágenes 2 y 3), se observa que la distribución de las fibras es variable a lo largo de su grosor, lo que hace que el material deba ser clasificado de acuerdo a la distribución del estado de esfuerzos en su ambiente natural (Ghavami, 2001).

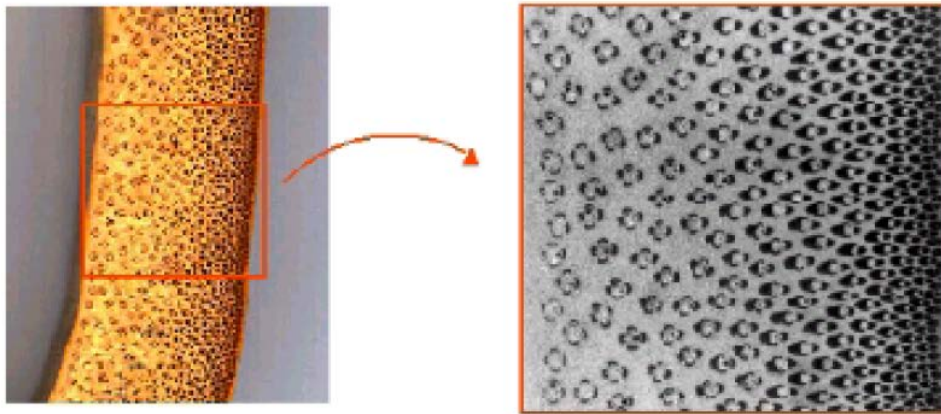


Imagen 2. Distribución No-Uniforme de las fibras en la sección transversal del culm. Vista microscópica. Fuente (Ghavami 2001)

Las fibras se concentran más conforme se acercan a la pared exterior, haciéndose más cerradas lo que confiere al culmo una gran resistencia, permaneciendo constante esta resistencia durante toda su vida. Además, la variación en la uniformidad de las fibras es diferente dependiendo de la zona del culmo, siendo más uniforme en la parte inferior (basal), que en las partes media y superior, pudiendo explicar este fenómeno al conocer que el bambú está sujeto a máximos esfuerzos de flexión en su base debido a las cargas de viento y de peso propio, y estas diferencias resultan no ser significativas (Imagen 4).



Imagen 3. Distribución No-Uniforme. Imagen real.
Fuente: Autor

Sobrebasa (**SB**): Diámetro menor y distancia máxima entre nudos. Longitudes hasta 4 m

Basa (**B**): Sección intermedia del culmo con la mayoría de usos. La distancia de entrenudos es más grande que la cepa. Longitudes hasta 8 m

Cepa (**C**): Sección basal del culmo con mayor diámetro. La distancia de entrenudos es corta. Longitudes hasta 3 m



Imagen 4.- Partes ensayadas del culmo de la Guada Amplexifolia.
Fuente: Autor

Método

En el estudio del bambú intervienen un gran número de variables, tales como la edad del material, especie, ubicación geográfica, curado del material, parte del tallo ensayado, humedad relativa al

momento del ensaye; contenido de humedad del material al momento de la prueba y que a la fecha no han podido ser integradas en una sola investigación, porque no siempre son control del investigador.

El trabajo realizado se efectuó en el laboratorio de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México, donde no se tuvo un control riguroso de todas las variables mencionadas en el párrafo anterior, definiéndose el estudio como Cuasi experimental, donde el azar no existe, en razón de que se trata con una muestra con características muy específicas, y que no fue elegida aleatoriamente. Por lo demás, la metodología que se efectúa es la de un estudio experimental, es decir, la interpretación, comparación y análisis estadístico son similares (Hernández et al 1998).

Para el Universo de estudio se consideraron 100 culmos de bambú de la especie *Guadua Amplexifolia* (Imagen 5), la cual es nativa del sitio, crece silvestre, y no se le aplica ningún tipo de cuidado silvícola, se encuentra en el Ejido “Ampliación Ejido el Rincón” en el municipio de Tantima, ubicado en la zona norte del Estado de Veracruz, en las coordenadas 21° 20' latitud norte y 97° 50' longitud oeste, a una altura de 200 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Ozuluama, este y sur con Tamalín, al sureste con Chinampa de Gorostiza, al sur con Tancoco, al oeste con Citlaltépetl.

Cuando se tuvieron los culmos en el laboratorio, fueron numerados del 1 al 100 y escogidos para las pruebas en función de números aleatorios. Para cada prueba se utilizaron 12 culmos de acuerdo a la normatividad empleada, obteniendo de allí por corte, las probetas para los distintos ensayes para medir propiedades físico-mecánicas.



Imagen 5. Culmos de *Guadua Amplexifolia* para pruebas de laboratorio. Fuente: Autor

Pruebas de Laboratorio

Para la metodología de ensaye de las pruebas de compresión paralelo a la fibra, cortante paralelo a la fibra, tensión paralela a la fibra y Flexión se consultaron las siguientes Normas y fuentes bibliográficas:

- Para la toma de muestras del bambú: ISO/TC165-N314; ISO/TC165-N315; Pantoja (2005); González (2000).
- Para las propiedades físicas del bambú: ISO/TC165-N314; ISO/TC165-N315; Pantoja (2005); Castrillón (2004); González (2006); NMX-C-443-ONNCCE-2006
- Para los ensayos de laboratorio: ISO/TC165-N314; ISO/TC165-N315; Arce (1993); Janssen (1981)
- Para propiedades mecánicas: ISO/TC165-N314; ISO/TC165-N315; ISO N314 22157- 1 y 2 Arce (1993); Janssen (1981); NMX-C-443-ONNCE-2006; NMX-C-446-ONNCE-2006; Castrillón (2004); González (2006); NMX-C-443-ONNCCE-2006

Para la selección de las muestras y de acuerdo a González (2000), se tuvo en cuenta que el bambú hubiera pasado la mayoría de su ciclo biológico; la edad de la guadua determina la toma de muestras puesto que incide en sus propiedades mecánicas, (los culmos jóvenes menores de 3 años y los culmos viejos, mayores de 5 años, se desechan). Se debe realizar el corte con cuidado porque

puede ocurrir la destrucción o la reducción en el rendimiento de las plantas. Los culmos se seleccionaron de 2 guaduales distintos, separadas uno de otra aproximadamente 100 m.

Prueba de compresión paralela a la fibra. Determinar el Esfuerzo Último a la compresión paralelo a la fibra de especímenes de guadua.

Fórmula

$$\tau = \frac{P}{A}$$

Donde:

τ = Esfuerzo último de compresión paralelo a la fibra (kg/cm²)

P = Carga última de compresión (kg)

A = Area neta de la sección transversal(cm²)

Se eligieron y numeraron los primeros 12 tallos, de los cuales fueron desechados 3 que presentaron ataque de insectos y rajaduras, dado que las probetas de ensaye deben estar libres de defectos. Las varas o culmos restantes se dividieron y cortaron inicialmente en 3 partes denominadas: Cepa: C (zona con internudos más pequeña); Basa: (B) (parte media del culmo o tallo) y Sobrebasa: (SB) (zona con distancia entre nudos más grande), con medidas promedio para las cepas de 1.00m, para las basas de 2.50m y para las Sobrebasas de 2.42m. Cortándose las probetas con una longitud de 2 diámetros exteriores de la zona del culmo; obteniéndose 17 Cepas, 37 Basas y 105 Sobrebasas.

Posterior al corte de probetas se tomó lectura para cada una de 3 diámetros exteriores y 3 espesores situados uno de otro a 120°, para utilizar el valor promedio de ambos en el cálculo del área de la probeta. Los datos fueron tomados utilizando un Vernier electrónico con aproximación a 0.01 mm.

Procedimiento para la prueba de compresión paralela a la fibra

Se limpiaron perfectamente las probetas de cualquier elemento extraño adherido. Se tuvo especial cuidado al momento del corte para que las caras transversales de cada probeta quedaran paralelas entre sí, y que su eje longitudinal se mantuviese perpendicular al corte de la sección; esto resultó particularmente complejo en los casos en que la vara presentó curvas (característica de esta especie), por la naturaleza misma del material. De lo contrario podrían provocarse fallas distintas

a las estudiadas o registro de ensayo erróneo debido a la concentración de carga en algún punto y no sobre toda la cara de la probeta.

Las probetas para compresión son prescritas para ensayarse únicamente en los internudos, porque estos especímenes son más sencillos que con nudos y no hay una diferencia significativa entre los resultados en ambos tipos de probeta, es decir, hay una pequeña diferencia, pero es más pequeña que la desviación estándar. En base a esta observación sólo se probaron especímenes que no contenían nudos. Posteriormente se aplicó carga en las caras del espécimen hasta llevarlo a la falla, registrando los valores de carga última de compresión, donde se obtuvieron fallas diferentes en las probetas (Imagen 6). Posteriormente se calcularon y registraron los esfuerzos últimos.



Imagen 6. Falla por cortante paralelo y diagonal a la fibra en las primeras 2 probetas y falla por aplastamiento.

Prueba de cortante paralela a la fibra. Determinar el esfuerzo último al corte paralelo a la fibra de especímenes de guadua.

Fórmula

$$\tau = \frac{P}{t \times l}$$

Donde:

τ = Esfuerzo último de cortante paralelo a la fibra (kg/cm²)

P = Carga última de compresión (kg)

$t \times l$ = Area de la sección longitudinal (espesor de probeta por su longitud)(cm²)

Procedimiento para la prueba de cortante paralela a la fibra

Se tomaron los especímenes de la parte inferior (24 piezas), parte media (61 piezas) y parte superior (101 piezas) de los culmos. Se marcaron con las letras C, B y SB respectivamente,

desechándose 3 tallos, por contener defectos como grietas por secado y perforaciones por ataque de insectos.

Se obtuvieron cilindros de bambú con y sin nudo en su altura media y se tomaron especímenes de longitud igual a 2 veces el diámetro exterior promedio, al momento de la prueba se utilizó un aditamento metálico (Imagen 7), el cual está dividido en cuartos, con caras opuestas para permitir el corte. Este aditamento se construyó con 2 placas de acero de 3/8" de espesor soportadas por varillas lisas con diámetro de 3/8" roscadas, con el propósito de inducir el corte en las probetas como puede observarse en las fallas presentadas (Imagen 8).

Las probetas se limpiaron de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, sin disminuir la capa exterior de la guadua. Esta prueba es especialmente importante para la construcción de uniones con guadua. La influencia de la distancia de la superficie de cortante decrece con el aumento de la longitud de la superficie de cortante (González, 2005).

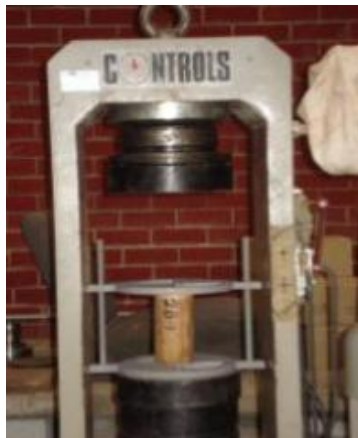


Imagen 7. Prueba de corte paralelo a la fibra utilizando aditamento para corte. Fuente: Autor



Imagen 8. Falla por corte paralelo a la fibra especímenes con y sin nudo. Se observa el desplazamiento en las fibras longitudinales por efecto del corte. Fuente: Autor

Prueba de Tensión paralela a la fibra. Determinar el esfuerzo último a la tensión paralela a la fibra de especímenes de guadua.

Fórmula

$$\tau = \frac{P}{t \times a}$$

Donde:

τ = Esfuerzo último de tensión paralela a la fibra (kg/cm²)

P = Carga última de tensión (kg)

$t \times a$ = Area neta de la sección transversal (espesor de la probeta por ancho de la misma) (cm²)

Procedimiento para realizar la prueba de tensión \acute{p} aralela a la fibra

La resistencia a la tensi3n del espec3men se determin3 que dividiendo la carga aplicada durante el ensayo entre el 3rea de la secci3n transversal de la tablilla de bamb3, obteni3ndose dicha 3rea a trav3s del promedio de 3 mediciones de los productos de ancho y espesor de las probetas. El espec3men empleado es el propuesto por (Arce, 1993), (ver imagen 10). Se tomaron los espec3menes de la parte inferior o cepa (10 piezas), parte media o basa (25 piezas) y parte superior o sobrebasa (27 piezas) de los culmos. Se marcaron con las letras C, B y SB respectivamente, desech3ndose 2 de los tallos, por contener perforaciones por ataque de insectos.

Se obtuvieron tablillas de los culmos con longitud promedio de 600 mm, por 7.78 mm de ancho y 4.25 mm de espesor. Se limpiaron de l3quenes, musgos y s3lidos adheridos al material. Se utilizaron piezas de madera de pino que se adhirieron a los extremos de las tablillas favoreciendo la sujeci3n y “agarre” de las mordazas (Imagen 11), y evitar el desplazamiento de las tablillas; se unieron con pegamento blanco comercial. Este problema resulta frecuente en este tipo de prueba. Las fallas observadas durante el ensayo se dieron en los tercios medios y en su mayor3a cercana a un nudo de la probeta (Imagen 12).



Imagen 10. Probeta con piezas de madera en extremos.
Fuente: Autor



Imagen 11. Sujeci3n de extremos con aditamento propuesto por Arce (1993). Fuente: Autor



Imagen 12. Falla en tercio medio provocada por carga de tensi3n.
Fuente Autor

Fórmula

$$\tau = \frac{PL \frac{D}{2}}{6I}$$

Donde:

 τ = Esfuerzo último a la flexión (kg/cm²)

P = Carga última de compresión (kg)

D = Diámetro exterior (cm)

I = Momento de Inercia de la probeta (cm⁴)

$$I_{sólido} = \frac{\pi r D^4}{64} \quad I_{hueco} = \frac{\pi r D^4}{64} - (D - 2t)^4$$

t = Espesor de la pared (probeta hueca) (cm)

Procedimiento para realizar la prueba de flexión

El ensayo consistió en la aplicación de cargas concentradas en una distancia aproximada de $\frac{L}{3}$ (tercios medios), a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla.

La resistencia a flexión del espécimen se determina al encontrar el momento máximo generado para cada aplicación de carga y con las cargas últimas los esfuerzos últimos a flexión. El módulo de elasticidad se obtiene de forma indirecta a partir de los ensayos de flexión elástica, Castrillón y Malaver, (2004).

Para esta prueba no se siguió el protocolo de ensayo dispuesto por ISO N314 22157 por las limitaciones de infraestructura del laboratorio sino que se empleó el mecanismo de prueba para vigas de concreto de longitud máxima de 60 cm.

Se utilizaron amarres con lazos de polipropileno en los extremos (Imagen 13), para prevenir el aplastamiento en los apoyos, y poder observar la verdadera falla de guaduas cortas.



Imagen 13. Cordón de polipropileno en extremos. El momento de la falla el bambú cruje y se aplasta.
Fuente: Autor



Imagen 14. Probetas ensayadas. El comportamiento es muy distinto a la madera debido a la constitución de sus fibras, en unos casos se presentó cortante longitudinal y aplastamiento. Fuente: Autor

Se tomaron los especímenes de la parte inferior o cepa (3 piezas), parte media o basa (9 piezas) y parte superior o sobrebasa (9 piezas) de los culmos. Se marcaron con las letras C, B y SB respectivamente, desechándose 4 piezas por estar hendidas, agrietadas y contener perforaciones por ataque de insectos.

La prueba de flexión se realizó en culmos con una longitud promedio de 60 cm, y diámetro de 5.25 cm. Se limpiaron de líquenes, musgos y sólidos adheridos al material, se cuidó que los planos de las caras extremas fueran llanos y paralelos. Las fallas presentadas fueron aplastamiento del material, corte longitudinal y solo en algunos casos flexión debido a la escasa longitud de las probetas. (Imagen 14)

Se consideró como referencia, el resultado de los valores promedio obtenidos del estudio realizado por Ordoñez (1999) para la especie *Guadua Amplexifolia* (Tabla 1) que crece endémicamente en Monte Blanco, Veracruz, localizado a 1240 m sobre el nivel del mar, y que resultó en su momento el único ensayo documentado para esta especie en México.

Resultados

Para las propiedades mecánicas de la *Guadua Amplexifolia* se obtuvieron valores promedio de los Esfuerzos últimos de falla para compresión, cortante y tensión paralela a la fibra y Flexión que se

observan en la Tabla 2 en forma abreviada y en la Gráfica 1, donde puede observarse la relación que guardan entre sí los diferentes esfuerzos estudiados.

| Propiedades | | B (C) | | M (B) | | E (SB) | |
|-------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | | Zona basal del culmo Mpa | (Kg/cm ²) | Zona media del culmo Mpa | (Kg/cm ²) | Extremo sup. del culmo Mpa | (Kg/cm ²) |
| Cortante en verde | Esf máx | 4.09 | (40.9) | 4.63 | (46.3) | 5.09 | (50.9) |
| Cortante en seco | Esf máx | 3.85 | (38.5) | 5.53 | (55.3) | 6.17 | (61.7) |
| Compresión | Esf máx verde | 23.51 | (235.1) | 27.72 | (277.2) | 29.53 | (295.3) |
| | Esf máx seco | 24.9 | (249.0) | 30.53 | (305.3) | 39.76 | (397.6) |
| | E verde | 8,068.8 | (80,688) | 10,666.4 | (106,664) | 13,102.4 | (131,024) |
| | E seco | 7,646.8 | (76,468) | 12,367.4 | (123,674) | 14,327.3 | (143,273) |
| Tensión | - | - | - | - | - | - | - |
| Flexión | MOR verde | 73.3 | (733.0) | 92.63 | (926.3) | 103.82 | (1,038.2) |
| | MOR seco | - | - | - | - | - | - |
| | MOE verde | 13,811.5 | (138,115) | 18,179.4 | (181,794) | 23,108.7 | (231,087) |
| | MOE seco | - | - | - | - | - | - |

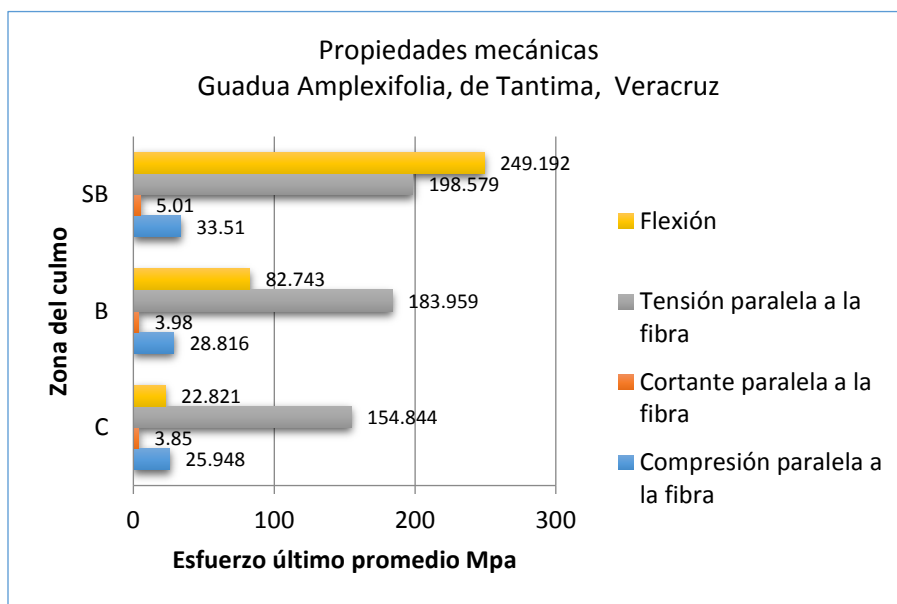
Tabla 1. Baremo para las pruebas de las propiedades mecánicas de la *Guadua Amplexifolia*. Monte Blanco, Veracruz. México. Fuente: Ordoñez (1999).

Los valores registrados al compararse con la escala de valores de Ordoñez (1999), resultaron muy similares, con mínimas variaciones que pudieran ser consecuencia de la anisotropía del material o de la zona geográfica, pues en ambos estudios se observó básicamente la misma normatividad para el protocolo de ensaye.

| Propiedad | C | B | SB | MC |
|--|---------|---------|---------|--------|
| Compresión paralela a la fibra | 25.948 | 28.816 | 33.51 | 25.86% |
| DESV.STD | 8.44 | 5.153 | 7.175 | |
| Cortante paralela a la fibra | 3.85 | 3.98 | 5.01 | - |
| DESV.STD | 1.287 | 2.05 | 1.763 | |
| Tensión paralela a la fibra | 154.844 | 183.959 | 198.579 | - |
| DESV.STD | 49.1 | 59.5 | 71.9 | |
| Flexión | 22.821 | 82.743 | 249.192 | 16.57% |
| DESV.STD | - | - | - | |
| Valores promedio de esfuerzos últimos en (Mpa) | | | | |
| ZONA DEL CULMO: C (CEPA); B (BASA); SB (SOBREBASA). MC= Contenido De Humedad | | | | |

Tabla 2. Propiedades mecánicas de la *Guadua Amplexifolia*, Tantima, Veracruz. Elaboración propia

La geometría del bambú constituido por un tubo hueco cilíndrico que decrece en diámetro y espesor de paredes conforme gana altura, puede explicar la ganancia de resistencia ante los distintos esfuerzos a que es sometido en las distintas zonas, dados los valores registrados en la Tabla 2. La zona de la cepa, con nudos más cercanos entre sí resulta ser la menos resistente a los esfuerzos estudiados (también la de mayor área), coincidiendo con Ordoñez (1999), Castrillón (2004) y González (2007). Para todos los ensayos la zona de mejores registros fue la sobrebasa, que concuerda con el aprovechamiento de esta parte del culmo, sobre todo en estructuras de vector activo.



Gráfica 1. Relación de resultados entre las propiedades mecánicas de la *G. Amplexifolia*. El menor valor lo representa el cortante paralelo a la fibra. Elaboración propia

Para la prueba de tensión, Ordoñez (1999), no presenta resultado, la razón quizá resulte en la dificultad de efectuar el ensayo, dado que generalmente se resbalan las probetas de las mordazas y no se logra el éxito en la prueba. Para esta investigación se logró un buen registro de ensayos, adaptándole una pieza de madera a los extremos de acuerdo a la metodología empleada por Arce (1993). Los resultados obtenidos en la presente investigación se compararon con los de Ciro et al (2005), de la universidad Nacional de Colombia, que durante la experimentación observó el mismo protocolo empleado por esta investigación pero utilizando *Guadua Angustifolia* Kunth, especie ampliamente utilizada en construcción en Sudamérica, asimismo, se muestran en la Tabla 3, otros

resultados para esa misma especie, de otras investigaciones. Este resultado es de los más representativos y que justifica el nombre de acero vegetal del material.

| Investigador | Mpa | kg/cm ² |
|-----------------------------|--------|--------------------|
| Ciro et al 2005 | 190.7 | 1983.28 |
| Castrillón y Malaver (2004) | 91.87 | 955.45 |
| Janssen (2002) | 148.4 | 1543.36 |
| López y Cheatle (2002) | 63.5 | 660.40 |
| Martínez (1992) | 34.6 | 359.84 |
| Esta investigación | 169.35 | 1761.27 |

Tabla 3. Esfuerzo último a tensión obtenido para *Guadua angustifolia* Kunth, en diferentes ensayos. Fuente: *Ciro et al (2005)*. Inserción en tabla por la autora para la especie de este estudio

Tipos de Fallas

- Para la prueba de Compresión paralela a la fibra, se presentaron fallas por cortante longitudinal, debido a la constitución de las fibras del material, tensión diagonal y en un muy bajo porcentaje se presentó aplastamiento en las caras y paredes de la probeta (caso de columna corta).
- Para la prueba de Cortante paralela a la fibra se presentaron fallas por cortante longitudinal, claramente visibles debido a la constitución de las fibras del material con un desplazamiento considerable de las paredes de la probeta y en un porcentaje menor se presentó falla por cortante diagonal, también se presentó falla por aplastamiento en bajo porcentaje.
- Para la prueba de Tensión paralela a la fibra, las probetas donde se tenía presencia de nudo cercano a la mordaza, se presentó falla exactamente en la zona del nudo. Recordando que las fibras del bambú son longitudinales con excepción en los nudos, zona más densa, donde las fibras no tienen una dirección definida. Allí la capacidad de carga hasta la falla se incrementó, en comparación con las que fallaron en zona internodal. Pudiendo suponer que la carga de la zona internodal se transmitió a la de nudos (zona rígida y frágil), generándose entonces un incremento de la carga e inmediatamente el colapso.

- Para la prueba de Flexión, las fallas observadas fueron por cortante longitudinal y en menor porcentaje por flexión, sufriendo el aplastamiento de las paredes de la Guadua. Al momento de la prueba no se presentó la ruptura espontánea como suele suceder con la madera, sino que “crujió”, deformándose y llegando al esfuerzo de falla sin fractura o agrietamiento aparente del material.

Conclusiones y recomendaciones

Las propiedades mecánicas estudiadas del bambú de la especie *Guadua Amplexifolia* se encuentran dentro del rango de valores encontrados en estudios de otros investigadores.

Puede recomendarse su uso como material estructural en construcción de vivienda, observando los casos de éxito en países sudamericanos para la *Guadua Angustifolia*, con registros de resistencia similares a los de este trabajo de investigación.

Las variables ubicación geográfica, edad del corte del material, curado (método de protección ante insectos) y condiciones de crecimiento de los guaduales deben ser controladas pues inciden en las propiedades mecánicas de la *Guadua Amplexifolia* y en general de los bambúes. Pues aunque la variación existente en resultados de este estudio con el baremo fue mínima, apenas y se han realizado escasos estudios en México que no representan a todas las especies que pueden ser útiles para la construcción.

Se recomienda realizar trabajos similares para determinar el módulo de elasticidad para compresión y tensión, para complementar el presente trabajo, y ensayar con otras especies como la *Bambusa Vulgaris* y la *Guadua Velutina*, que también se encuentran cercanas a la zona de estudio.

Es importante considerar este material como una alternativa para la construcción por las bondades que presenta, además de que con un adecuado cuidado silvícola puede constituir una fuente de recursos sustentables para el sector de la construcción.

Conocer acerca de las propiedades mecánicas de la especie estudiada, sirve para considerar al bambú como un material estructural factible de ser empleado colaborando con otros materiales como el concreto en estructuras denominadas de bambuceto; Con ello, es posible el estudio del comportamiento estructural para diferentes elementos de la vivienda tales como sistemas de piso o techo, castillos, columnas, muros y cimentaciones.

Se requiere uniformidad en los protocolos de ensayos para poder establecer estándares en las resistencias del bambú, para poder controlar variables que impiden la generación de normas estructurales, tal es el caso de la edad del culmo que debe ser examinado al momento de la

experimentación, para aprovechar sus propiedades al máximo que se da cuando ha completado su ciclo biológico.

Los estudios mexicanos sobre bambú, son escasos y requieren ser divulgados para echar mano de los resultados que se obtengan y poder establecer parámetros de diseño a partir de las propiedades estudiadas.

Referencias

Arce, V., Oscar (1993). Fundamentals of the design of bamboo structures. Tesis doctoral. Eindhoven University of Technology. Netherlands.

Castrillón Valdez, B.M. y Malaver, D.M. (2004) “Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la guadua” Tesis de Grado (Ingeniero civil). Universidad Nacional de Colombia. Depto. de Ing. Civil y Agrícola. Unidad de estructuras. Bogotá. Colombia.

González Salcedo, Luis Octavio. (s/f) Elementos para la caracterización mecánica de la Guadua Angustifolia Kunth.

González, C E; Takeuchi Tam, C P; (2007). Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guadua angustifolia y determinación del módulo de elasticidad. Ingeniería y Universidad, 11() 89-103. Recuperado de <http://google.redalyc.org/articulo.oa?id=47711106>.

ISO 1999. ISO/TC 165 N314. Determination of physical and mechanical properties of bamboo. Technical report.

ISO 1999. ISO/TC 165 N315. ISO/TC 165/WG 9. Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of physical and mechanical properties of bamboo. Technical report.

Jansen Antonius, Julius J. (1981). Bamboo in building structures. Tesis doctoral. Eindhoven University of Technology. Netherlands.

Landero Hernández, R.; González Ramírez M. (2006). Estadística con SPSS y metodología de la Investigación. Ed. Trillas. México

Mejía Soulés T. (Feb.2007). Importancia de los bambúes nativos de Veracruz en el desarrollo regional. Citado en: http://www.uv.mx/posgrado/memorias/7/7-3.htm#_ftnref1 (mayo 2013).

Norma Mexicana NMX-C-443-ONNCCE-2006. “Industria de la construcción -Madera- Contenido de humedad de la madera”. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la construcción y la edificación S.C.

Norma Mexicana NMX-C-446-ONNCCE-2006 “Industria de la construcción –Vivienda de madera y equipamiento urbano– Métodos de ensayo para determinar las propiedades mecánicas de la madera de tamaño estructural”. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la construcción y la edificación S.C.

Ordóñez Candelaria, V. y Bárcenas Pazos. G. (1999). Caracterización Tecnológica de las Especies Mexicanas de Guadua y sus aplicaciones en la construcción. Instituto de Ecología A.C. Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques.

Ordóñez Candelaria, Víctor Rubén. (1999b). Perspectivas del bambú para la construcción en México. Revista: Madera y Bosques, ISSN: 1405-0471 vol. 5, núm. 1: 3-12. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México. Citado en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61750102> (18 de nov 2015)

Pantoja, Trujillo Nelson H; y Acuña, Jiménez, Diego F. (2005). Resistencia al corte paralelo a la fibra de la Guadua angustifolia. Tesis de grado (Ingeniero civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Depto. de Ing. Civil y agrícola. Unidad de Estructuras. Bogotá D.C.

Velásquez, Ciro H. J; Osorio, Saraz J.A.; Vélez, Restrepo J.M. (2004). Determinación de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de la Guadua Angustifolia Kunth. Artículo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, Colombia.