

Una experiencia formativa con finalidad sustentable: construcción con segmentos longitudinales de tallo de bambú

Alfonso Rivas-Cruces ^{1,*}, José Juan Guerrero-Correa ² y Mario S. Ramírez-Centeno ²

¹ Laboratorio de Estudios del Hábitat Sustentable, Departamento de Medio Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Ciudad de México, México

² Laboratorio de Estructuras, Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Ciudad de México, México

* Autor de correspondencia: arc@azc.uam.mx; Tel.: (52)5514744223

Desarrollo Sustentable (Materiales sustentables)

Recibido: 5 de junio de 2025

Aceptado: 13 de agosto de 2025

Publicado: 8 de diciembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i3.472>

Resumen: La formación de arquitectos e ingenieros en el diseño y construcción con bambú es una asignatura pendiente en su instrucción profesional en México. El bambú es una planta de rápida reproducción que aporta servicios ecosistémicos y favorece a la sustentabilidad. El territorio nacional dispone de las condiciones climáticas para el crecimiento de especies leñosas de bambú. Desde Sonora y Tamaulipas se distribuye sobre las vertientes del Golfo de México y Océano Pacífico. Actualmente se han identificado 34 plantaciones comerciales a lo largo de ambos ejes, con costos competitivos frente a otros materiales como la madera. La metodología de trabajo para generar una experiencia formativa en la aplicación constructiva con tallos de bambú de la especie *Guadua angustifolia* Kunth, consistió en segmentarlos a lo largo del eje longitudinal del tallo, tanto en sentido radial, como paralelo. Se realizaron pruebas de corte en estas trayectorias. Se observó la curvatura formada por la inclinación de los segmentos radiales y la geometría orgánica interna obtenida del corte paralelo. Estos hallazgos afianzaron dos soluciones de diseño instaladas actualmente en el recinto universitario: una cubierta curva denominada “el Caparazón”, hecha por segmentos longitudinales radiales -latas de bambú; y mamparas a base de “corazones de bambú” formadas con segmentos de corte longitudinal paralelo. El caparazón ocupa en su base una superficie de 13.6 m² y en el punto más alto mide 3.40 m. Se utilizaron 62 bambúes de 6 m, para su construcción. Esto equivale a 372 metros lineales, a una masa total de 818 kg, y su costo fue de \$28,272.00 pesos. Se construyó y desarmó, clasificando todas sus partes y componentes y se programó un taller participativo con 20 alumnos de arquitectura e ingeniería. El aprendizaje de los alumnos en el uso del bambú ocurrió a través de la colaboración en el proceso de manufactura e instalación de ambos diseños. Se comprobó la factibilidad constructiva de la segmentación longitudinal del tallo de bambú para generar estructuras con forma curva y geometrías orgánicas. La experiencia también confirmó la idoneidad y viabilidad de la enseñanza y aplicación del bambú en la formación profesional.

Palabras clave: Bambú, Segmentos longitudinales, Estructuras curvas, Formación profesional, *Guadua angustifolia*

A training experience with a sustainable purpose: Construction with longitudinal segments to the bamboo stem

Abstract: The training of architects and engineers in bamboo design and construction is a pending subject in their professional training in Mexico. Bamboo is a rapidly reproducing natural material that provides ecosystem services and promotes sustainability. The national territory has the climatic conditions for the growth of woody bamboo species. From Sonora to Tamaulipas, they are located along the slopes of the Gulf of Mexico and the Pacific Ocean. Currently, 34 commercial plantations have been identified along both axes, with competitive costs compared to other materials such as wood. The working methodology for generating a training experience in the constructive application of bamboo stems of the *Guadua Angustifolia* Kunth species, consisted of segmenting them along the longitudinal axis of the stem, both radially and parallel. Cutting tests were performed on these trajectories. The curvature formed by the slanting of the radial segments and the internal organic geometry obtained from the parallel cut were observed. These findings strengthened two design solutions currently installed on the university campus: a curved roof called “the shell,” made of radial longitudinal segments -bamboo strips; and another solution for screens based on “bamboo hearts” formed with parallel longitudinal cut segments. The shell occupies an area of 13.6 m² at its base and measures 3.40 m at its highest point. Sixty-two 6-m bamboo poles were used for its construction. This equates to 372 linear meters, a total mass of 818 kg, and a cost of \$28,272.00 pesos. It was built and disassembled, all its parts and components classified, and a participatory workshop was held with architecture and engineering students. Students learned how to use bamboo through collaboration in the manufacturing and installation process of both designs. The constructive feasibility of longitudinal segmentation of the bamboo stem to generate structures with curved shapes and organic geometries was verified. The experience also confirmed the suitability and viability of teaching and applying bamboo in vocational training.

Keywords: Bamboo, Longitudinal segments, Curved structures, Vocational training, *Guadua angustifolia*

Introducción

El diseño de espacios habitables requiere incorporar materiales de construcción renovables de origen biológico, amigables con el ambiente, que no contaminen y aporten a la mitigación de emisiones de CO₂. El bambú es un material sustentable que genera altos rendimientos en su producción. Crece en un periodo breve, cercano a 4 meses, en el que logran alturas de 15 a 30 m, según la especie (Dauletбек, 2022). Mientras que alcanza su desarrollo en 5 o 6 años (Cuenca, *et al.* 2020) su periodo de cosecha para uso en la construcción es factible desde los 3 años (Hidalgo, 2003). La demanda de energía de los edificios y los procesos del sector de la construcción contribuyen al 37% de las emisiones globales de CO₂. (UNEP, 2024a). Cerca del 27% se debe a la demanda de energía de los edificios, mientras que la diferencia corresponde a los procesos de manufactura de concreto, acero y aluminio. La fabricación de materiales plásticos, telas, espumas entre otros, no forma parte de este porcentaje. Para cumplir con las metas climáticas globales de 1.5°C la industria de la construcción y de las edificaciones debe disminuir o prescindir de los combustibles fósiles. En este sentido, se estima que hay un potencial de mitigación de emisiones de CO₂ para el 2035 del 11%, de actuar en esta dirección (UNEP, 2024b). El bambú no emite CO₂, lo absorbe. Los cultivos de bambú son sumideros naturales de carbono (Marchi *et al.*, 2023). La capacidad de asimilación del CO₂ durante el proceso fotosintético responde a la densidad de los bambusales (Aguirre-cárdenas *et al.*, 2018), que casi pueden duplicar su biomasa en un periodo de 7 años (Camargo *et al.*, 2010), lo que les hace ser una opción valiosa para la captura de carbono. Además, los servicios ecosistémicos del bambú, no sólo se circunscriben a la bio-remediación del ambiente, desempeña un papel básico en la economía y cultura de las zonas donde se localiza; ya sea como provisión de alimentos, material para la construcción, combustible, mobiliario, artesanías, textiles, papel; o como medio de regulación y mantenimiento para la protección de riveras y cuerpos de agua, aporte de material orgánico, restauración de suelo y reforestación rápida entre otras cosas (Cruz-Armendáriz *et al.* 2023, Marchi *et al.* 2023; Ruiz-Sánchez, 2019).

La formación profesional de arquitectos e ingenieros requiere diseñar con materiales renovables como el bambú. Su aprendizaje es una alternativa sostenible que puede reemplazar el uso exacerbante de los materiales de construcción tradicionales. Sin una deliberada incorporación de materiales sustentables en su formación profesional, el pronóstico de impacto ambiental por la industria de la construcción continuará siendo adverso, persistiendo las emisiones de CO₂ y el consecuente calentamiento global. Hasta ahora, no se está alcanzando la meta trazada en el acuerdo de París, de limitar el incremento de temperatura por debajo de los 2°C, para el año 2100 (UNEP. 2023). El uso de materiales naturales como el bambú es una alternativa en el diseño de espacios habitables.

El bambú tiene especies nativas en todos los continentes, salvo Europa. Pertenece a la familia botánica de las Poaceas o Gramíneas -como el césped, el maíz, el trigo o la caña de azúcar- y a la subfamilia de las Bamabusoidae. La línea evolutiva del bambú se diferencia en herbáceas (Tribu Olyreae) y leñosos templados y tropicales (tribu Arundinariae y Bambuseae, respectivamente) (Cortes-Rodríguez, 2000; Kelchner, *et al.*, 2013; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2023). Los primeros se caracterizan por tener tallos delgados, no lignificados, con floración continua que en su mayoría no tienen hoja caulinar; mientras que los bambúes leñosos se caracterizan por tener tallos lignificados, hoja caulinar y florecen una vez en su vida -y después del cual mueren (Ruiz-Sánchez, 2019). El número de especies reconocidas y registradas está aumentando con rapidez. En 2013, Kelchner, S.A. y Bamboo Phylogeny Group reportaban más de 1450 especies; tres años después Ruiz-Sánchez refiere el trabajo de Vorontsova, M.S., *et al.* con más de 1650 especies. De manera semejante, en tan solo 18 años México pasó de 35 especies leñosas registradas (Cortes-Rodríguez, 2000) a 52 (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2019).

Con la excepción de cinco estados de la República Mexicana (Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila, y Tlaxcala.) existe al menos una especie leñosa o herbácea de bambú en el resto de los estados (Ruiz-Sánchez, 2015).

Los bambúes leñosos en México se distribuyen en áreas bióticas con altitudes a partir del nivel del mar hasta los 3,200 m.s.n.m. Las condiciones climáticas favorables para su crecimiento son diversas según el tipo de especie, e incluye a los bosques tropicales caducifolio, subcaducifolio y perennifolio, a los bosques de pino y encino, al bosque mesófilo de montaña, así como a la vasta zona de matorral xerófilo y la reducida superficie de vegetación sabanoide del país (Ruiz-Sánchez, 2023). Se observa mayor presencia de especies de bambú sobre los estados del eje del Golfo de México y del Océano Pacífico. La Tabla 1 muestra las especies nativas en ambas vertientes que comúnmente se ocupan para uso estructural u ornamental.

Tabla 1. Especies de bambú nativas de México, según uso y localización

| No. | NOMBRE DE LA ESPECIE | NOMBRE COMÚN | USO RECOMENDADO | LOCALIZACIÓN (Vertiente) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|----|-----------------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|
| | | | | Golfo de México | | | | | | Océano Pacífico | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | CAM | HGO | PUE | SLP | TAB | TM | VER | CHIH | CHIS | COL | DGO | GRO | JAL | MICH | NAY | OAX | SIN | YUC | | | | | |
| 1 | <i>Guadua aculeata</i> | Tarro | Estructural | | | | | ☑ | ☑ | | | ☑ | ☑ | | | ☑ | | | | | | | | | | |
| 2 | <i>Guadua amplexifolia</i> | Caña vaquera | Estructural | | | ☑ | | | | ☑ | | ☑ | | | | ☑ | | | | | | | | ☑ | | ☑ |
| 3 | <i>Guadua longifolia</i> | Caña brava | Estructural | | ☑ | | | | | ☑ | | ☑ | | | | ☑ | | | | | | | | | | |
| 4 | <i>Guadua paniculata</i> | Otate dulce | Estructural | | | | | | | ☑ | | | | | | ☑ | | | ☑ | ☑ | | | ☑ | ☑ | | |
| 5 | <i>Guadua velutina</i> | Caña mansa | Estructural | | | | | | | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | ☑ | | | | | | | ☑ | | | |
| 6 | <i>Otatea acuminata</i> | Otate | Ornamental / Estructural | | | ☑ | | | | | | ☑ | | | | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ |
| 7 | <i>Rhipidocladum racomiflorum</i> | Chiquian | Ornamental | | | | | | | | | ☑ | ☑ | | | | | | | | | | | | | |

Elaborado con información de: Comisión Nacional Forestal (2002); Cortés Rodríguez, G.R. (2000); Cruz-Armendáriz, N. M., et al. (2023); Lucila Aguilar Arquitectos (2020); Moreno-Martínez J.L., et al. (2018); Ruiz-Sánchez, E. et al., (2023).

La especie *Otatea acuminata* está presente en once estados de México y su uso en la construcción de viviendas data desde la época prehispánica (Ruiz-Sánchez, et al., 2019).

En la actualidad la *Guadua aculeata* se utiliza en la construcción de vivienda en Chiapas y Veracruz (Ibid), sin embargo, se tiene evidencias del uso de G. Amplexifolia, G. Paniculata y G. Velutina en la construcción de viviendas con la técnica de bahareque (Ruiz-Sánchez, et al., 2023). Además de las especies nativas, la Tabla 2 presenta el conjunto de especies introducidas a México. La *Guadua angustifolia* Kunth y *Bambusa oldhamii*, para uso estructural, son las especies de mayor presencia en los estados que la comercializan.

Tabla 2. Especies de bambú introducidas en México, según uso y localización

| No. | NOMBRE DE LA ESPECIE | NOMBRE COMÚN | USO RECOMENDADO | LOCALIZACIÓN (Vertiente) | | | | | | | | | |
|-----|----------------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|--|--|
| | | | | Golfo de México | | | | Océano Pacífico | | | | | |
| | | | | PUE | SLP | TAB | VER | CHIS | COL | MOR | OAX | | |
| 1 | <i>Bambusa oldhamii</i> | Oldhami | Estructural | | | | | | | | | | |
| 2 | <i>Dendrocalamus asper</i> | Asper | Estructural | | | | | | | | | | |
| 3 | <i>Dendrocalamus giganteus</i> | Dendrocalamus | Estructural | | | | | | | | | | |
| 4 | <i>Guadua angustifolia</i> | Guadua | Estructural | | | | | | | | | | |
| 5 | <i>Guadua inermis</i> E. Fourn | - | Estructural | | | | | | | | | | |
| 6 | <i>Bambusa lako</i> | Timor Black | Ornamental | | | | | | | | | | |
| 7 | <i>Bambusa multiplex</i> | - | Ornamental | | | | | | | | | | |
| 8 | <i>Bambusa textilis</i> | Textilis | Ornamental | | | | | | | | | | |
| 9 | <i>Bambusa vulgaris</i> | Caña brava / Tarro | Ornamental | | | | | | | | | | |
| 10 | <i>Dendrocalamus strictus</i> | Bambú macho | Ornamental | | | | | | | | | | |
| 11 | <i>Gigantochloa auriculata</i> | - | Ornamental | | | | | | | | | | |
| 12 | <i>Phyllostachys aurea</i> | Plumoso | Ornamental | | | | | | | | | | |
| 13 | <i>Phyllostachys bambusoides</i> | Madake | Ornamental / Estructural | | | | | | | | | | |
| 14 | <i>Phyllostachys pubescens</i> | Moso | Ornamental | | | | | | | | | | |

Elaborado con información de: Comisión Nacional Forestal, 2002; Cortés Rodríguez, 2000; Cruz-Armendáriz, et al., 2023; Aguilar, 2020; Moreno-Martínez, et al., 2018; Ruiz-Sánchez, et al., 2023.

Actualmente se han identificado 34 plantaciones comerciales establecidas formalmente (Aguilar, 2020; Cruz-Armendáriz et al., 2023). Están ubicadas predominantemente a lo largo del eje del Golfo de México, con costos competitivos frente a otros materiales como la madera.

Materiales y Métodos

La rigidez y resistencia del bambú rollizo ha sido examinada con detalle por un número importante de autores (Caori et al., 2004; Cely-Moreno et al., 2012; Guerrero et al., 2014; Ordóñez-Candelaria et al., 2014; Takeuchi et al., 2007); en cambio, su flexibilidad y ductilidad ha tenido menos atención (Ramírez, 2024). No obstante, estudios como el de

Obataya *et al.* (2007) refieren que las latas de bambú son flexibles cuando la capa rígida exterior del bambú queda expuesta a la tensión y la capa interior -más suave- está expuesta a la compresión. Su estudio comprobó que la combinación de la estructura celular, donde la parte exterior es rica en fibra y la parte interior comprimible contribuyen a una excelente ductilidad de las latas de bambú a la flexión. Aunque es necesario mayores estudios sobre este tema, es notoria la diversidad de soluciones constructivas en las que el uso del bambú en latas o reglillas se emplea para formar estructuras curvas.

El presente trabajo es parte del proyecto de investigación N-500, denominado “Ensamblajes y conexiones de módulos estructurales de bambú”. Se examinó la segmentación longitudinal del tallo de bambú, y constató que existen dos tipos de cortes longitudinales que pueden ser aplicados al bambú: Segmentación longitudinal radial y segmentación longitudinal paralela. En el primero caso, el corte radial divide el bambú en secciones más flexibles y dúctiles que el bambú rollizo. Por su morfología y condiciones física, el tallo de bambú no tiene la flexibilidad para adquirir una forma curva. Aunque existen métodos para formar elementos curvos con el bambú rollizo, se optó por examinar la ductilidad y flexibilidad que tiene la segmentación longitudinal radial, con el interés de generar vigas curvas con el bambú.

En el segundo caso, el corte longitudinal paralelo a la fibra genera tres tipos de productos. Cuando es cortado a la mitad, se obtienen medias cañas, y cuando es cortado en tercios se obtiene dos medios tercios de caña y un segmento con formas orgánicas -originadas por la membrana de cada nodo- que al agruparse con otros segmentos semejantes favorecen la ambientación de espacios interiores.

Los tallos de bambú con los cuales se realizaron las pruebas de corte longitudinal son de la especie *Guadua angustifolia* Kunth. Se ocuparon 45 tallos de 3.24 m. en el corte longitudinal paralelo y 7 bambúes de 6 m. de largo, para el corte radial. Todos seleccionados con un diámetro promedio de 90 mm, con una desviación estándar del 7.45%, y un contenido de humedad promedio del 7.58 % al momento de realizar los cortes longitudinales -seco, según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera y Bambú del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 2023. Todos los bambúes han sido aclimatados, cultivados, cosechados, tratados y secados en la ciudad de Huatusco, Veracruz. Son tallos con más de 5 años de edad; tiempo apropiado para su uso en la construcción de estructuras.

Exploración para la obtención de segmentos longitudinales de bambú.

¿Es posible formar elementos estructurales curvos con segmentos longitudinales de bambú? En el medio de la construcción queda de manifiesto la respuesta. Sin embargo, el ejercicio de investigación consistió en responder esta interrogante para encauzar los resultados a una experiencia de formación académica. Se efectuaron los dos tipos de cortes longitudinales -radial y paralelo a la fibra- y con base a los resultados observados se desarrollaron dos diseños que optimizaron el aprovechamiento de los productos obtenidos en este proceso.

Segmentos longitudinales radiales de bambú

El corte de segmentos longitudinales radiales es convencionalmente identificado como reglilla o lata de bambú. Se inicio con un ejercicio de exploración cortando radialmente un tallo de bambú de 6 m. La Herramienta que se utiliza en el medio vernáculo para el corte radial del bambú se conoce como lateadora; en el medio de producción industrializada hay maquinaria especializada para efectuar el mismo trabajo de corte a gran escala (Botero-Cortes, 2004); En este caso, se utilizó como equipo de corte una sierra cinta marca: FUHO, modelo: pmc-f-300, de ½ H.P., con ancho de hoja de 3/8", ½" y ¾". La lateadora manual no resultó una opción adecuada debido a que el bambú disponible ya estaba tratado y secado y las lateadoras manuales se utilizan a tallos que aún están verdes. En este sentido, se pudo comprobar que la lateadora se deforma con facilidad cuando no es así. La sierra cinta permitió hacer cortes uniformes disminuyendo el desperdicio de tallos de bambú durante el proceso.

Todo inicia con la selección de las varas de bambú. Deben estar libres de rajaduras, humedad o alguna imperfección como huecos o aplastamiento. El tallo con 9 cm de diámetro promedio y seis metros de largo, se cortó en su sentido longitudinal por mitad y cada segmento se cortó por mitad nuevamente, repitiendo el mismo procedimiento una vez más a cada segmento, obteniendo ocho segmentos lineales en total. A todos les cepillaron el diafragma interno para

obtener elementos rectos y uniformes. En el mercado puede adquirirse la lata calibrada o sin calibrar, esto es, con las dos caras canteadas o si cantear (Bambuerver, s.f.).

Las latas utilizadas en este ejercicio quedaron sin calibrar, solo con las membranas cepilladas. Ya con el conjunto de latas de bambú cortadas y cepilladas se estudió la flecha que producía de manera natural al levantarla por uno de sus extremos. La forma observada se consideró para el diseño de la estructura denominada “El caparazón”.

Segmentos longitudinales paralelos de bambú

También se realizó la valoración de cortes longitudinales paralelos. En este caso, el tallo de bambú se cortó en tres partes iguales. El segmento intermedio revela formas orgánicas naturales, generadas por las membranas que tiene cada nodo, creando espacios vacíos de proporciones aparentemente regulares, pero diferentes. Ya existen casos en el mundo en el que el corazón del bambú o celosía (nombre comercial) se ha empleado para ambientar espacios, barandales y puertas, pero no existen evidencias escrita de esta experiencia en México.

Los dos segmentos restantes se aproximan a la forma de una media caña, y debido a las membranas internodales, mantienen una relativa rigidez al presentarlas libremente apoyadas en sus extremos con la cara exterior de la caña apuntando hacia arriba. Como es de suponerse, mientras más corto es el claro (la distancia libre entre dos puntos de apoyo estructural), menor la flecha de deformación. Con estas evidencias en mente, se consideró realizar el proyecto de cinco mamparas con corazones de bambú, para instalarse en el laboratorio de Estudios del Hábitat Sustentable, en la Universidad Autónoma Metropolitana de Azcapotzalco. Se ocuparon 45 corazones de bambú de 3.24 m de largo. Por cada corazón de bambú se obtuvieron dos elementos de tercios de caña que se incorporaron en el diseño de la cubierta del Caparazón. Con ello, se optimizó la cantidad de material empleado para la construcción de ambos proyectos.

El mérito de obtener los cortes longitudinales paralelos y perpendiculares en conformidad con lo diseñado, fue resultado de un minucioso proceso de medición y marcado, así como pruebas de práctica para obtener cortes precisos por parte de los alumnos de servicio social que de manera responsable realizaron los procedimientos de corte, mismos que son descritos a continuación.

Resultados y Discusión

Corte longitudinal paralelo para la obtención de los corazones de bambú.

Ya seleccionados los tallos se cortaron a la medida de diseño para las mamparas. El tallo presenta regularmente una trayectoria de doble curvatura, y aunque pueda ocurrir frecuentemente de manera discreta, la doble curvatura existe. Reconociendo esta condición que agrega complejidad al corte, se efectúa el trazo de dos líneas de corte paralelas y equidistantes -teniendo en cuenta el diámetro del tallo- sobre los cantos del tallo de bambú, y así obtener tres segmentos -ver Figura 1. El diámetro del tallo de bambú tuvo un rango promedio de 9 cm, por lo que el espesor de los corazones de bambú fue de 3 cm de espesor, y cualquier variación dimensional la tomaron los segmentos laterales.

Para este efecto, con un tiralíneas seguido de un gramil para bambú, se marcan las líneas de corte sobre el eje longitudinal; esto facilita la visibilidad, a todo lo largo del tallo, al momento del trabajo de corte. Tres personas participan en el corte del tallo en la sierra cinta. Una sostiene el tallo y, las otras dos, dirigen el tallo sobre las líneas previamente marcadas a través de la sierra. Se puede observar el resultado de los corazones de bambú en la Figura 2.

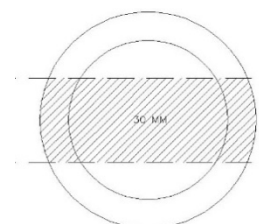


Figura 1. trazo de segmentos paralelos en el canto del bambú.



Figura 2. Corazones de bambú

Corte longitudinal radial para la obtención de vigas curvas

Una vez diseñado el “Caparazón” – el cual incluyó el despiece de los 90 segmentos laterales obtenidos con los cortes paralelos a la caña- se procedió a la selección del bambú de *Guadua angustifolia* Kunth. Se utilizaron cinco varas de bambú de 6m de longitud, para generar las cuatro vigas curvas que sustentan la cubierta para el proyecto del Caparazón. Se utilizó el mismo procedimiento de medición y corte descrito anteriormente. Los segmentos obtenidos tienen por la parte interior del tallo trozos triangulares, formados por la membrana internodal propia del bambú. Con la ayuda de una sierra caladora se desbastaron para obtener una superficie libre de protuberancias. Finalmente, se cepilló la membrana y la cara interior para obtener una superficie libre de asperezas y facilitar el acoplamiento de diez latas, las cuales se amarraron para formar las vigas curvas del Caparazón.

Diseño y construcción del “Caparazón”

El diseño del Caparazón se concibió a partir de observar la flecha formada por las latas de bambú al levantar uno de sus extremos. En la figura 3 se observa que está formado por 3 pares de marcos con alturas variables que sirven de soporte a 4 vigas hechas con latas de bambú. La curvatura de las vigas, está dada por la flexibilidad que tienen las latas de bambú y los marcos que la soportan.

En el trabajo titulado “Propiedades mecánicas del bambú”, Guerrero et. al, 2014, se reportaron las propiedades mecánicas y comportamiento estructural de culmos de bambú de la especie *Guadua angustifolia* Kunth. Las probetas fueron sujetas a tensión, compresión y cortante paralelo a la fibra y flexión de acuerdo a la normatividad ISO22157-1;2004(E).



Figura 3. Vista lateral del Caparazón.

El ensaye de tensión consistió en una probeta tipo lata que presenta un menor ancho en su parte media como se puede ver en la Figura 4.

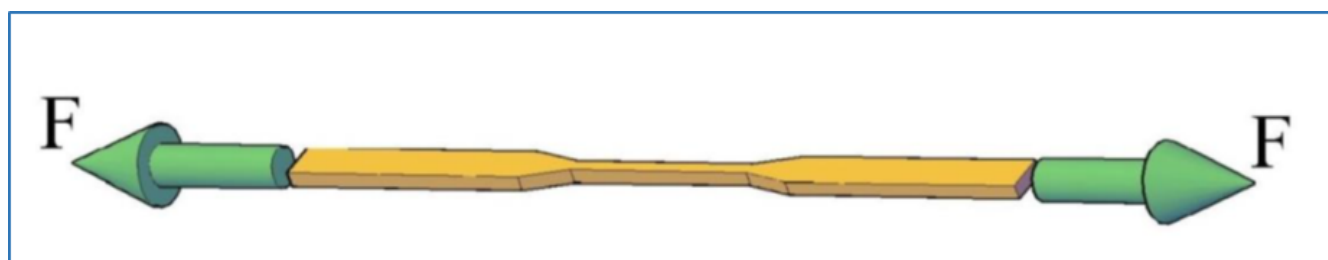


Figura 4. Esquema general de ensayos a tensión paralela a la fibra en culmos de bambú.

El tipo de falla que se presentó en la mayoría de las probetas fue debido a la tensión en la zona central calibrada de la probeta, la cual se presenta de manera súbita con una deformación muy pequeña antes de que esta ocurra. De acuerdo con los resultados obtenidos se presentó un esfuerzo normal a tensión promedio de $1,569.41 \text{ kg/cm}^2$, con un esfuerzo normal a tensión mínimo de 930 kg/cm^2 y un esfuerzo normal a tensión máximo de $2,368.42 \text{ kg/cm}^2$.

El ensaye de flexión consistió en una probeta con una longitud mínima de 30D, donde D es el diámetro exterior de la probeta y aplicación de la carga a los tercios del claro de la viga como se puede ver en la Figura 5.

Se observó que las gráficas carga F -deformación vertical Δ al centro del claro- presentan una relación lineal prácticamente hasta el final del ensaye. Hay coincidencia, para la mayoría de los casos, que la carga en el límite proporcional sea igual a la carga máxima. De acuerdo con los resultados se obtuvo un esfuerzo normal promedio de 579.41 kg/cm^2 , con un esfuerzo normal mínimo de 337.05 kg/cm^2 y un esfuerzo normal máximo de 951.27 kg/cm^2 . Por

lo que respecta al módulo de elasticidad se obtuvo un módulo de elasticidad promedio de 170,890.34 kg/cm², con un módulo de elasticidad mínimo de 97,668.00 kg/cm² y un módulo de elasticidad máximo de 476,421.03 kg/cm².

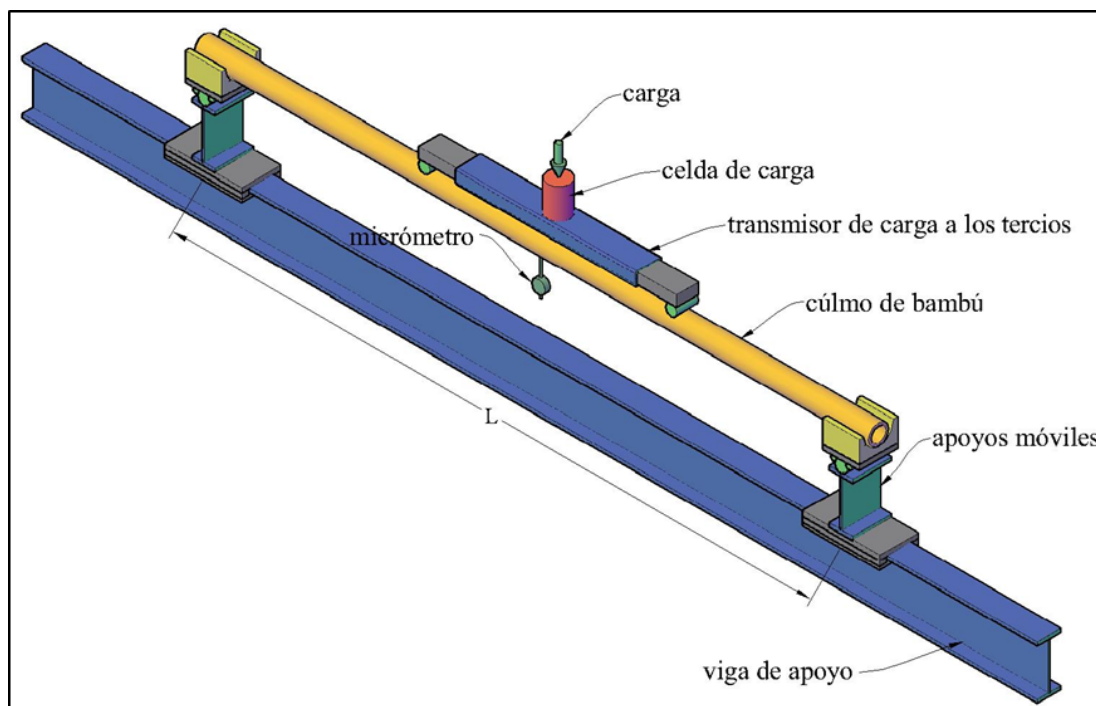


Figura 5. Esquema general de ensayos a flexión en culmos de bambú.

En el trabajo titulado “Determinación experimental del módulo de elasticidad del bambú mediante vibración”, Ramírez *et al.*, 2023, también se informa sobre el módulo de elasticidad de esta especie de bambú. Los elementos formados por latas de bambú operan dentro de estos rangos mencionados anteriormente.

Es importante mencionar que se tiene planeado en el futuro inmediato llevar a cabo estudios en latas de bambú respecto a las configuraciones geométricas y formas de unión entre ellas.

Existen distintas formas de ensamblar una estructura de bambú. Para el Caparazón, se utilizaron cuatro tipos de uniones, que garantizaran siempre la continuidad estructural entre los elementos, lo cual previene que las fuerzas que provocan las deformaciones mecánicas se mantengan bajo control de manera segura. Los tres marcos están ensamblados por medio de la unión tradicional conocida como boca de pescado -propia de conexiones perpendiculares- y las patas de gallo por uniones con perno -reemplazando la unión tradicional de pico de flauta- mediante el uso de pernos roscados, tuercas y rondanas. La primera se utilizó en el montante perpendicular a la cuerda superior del marco y la base que descansa sobre los dados de carga. mientras que, para las patas de gallo o tensores, que absorben los esfuerzos de empuje lateral del montante con la cuerda superior, se utilizó la segunda. De igual manera, se utilizó la unión con perno para conectar las diagonales que unen los montantes de los marcos entre sí. Su presencia es una condición necesaria para asegurar la estabilidad de los marcos a fuerzas perpendiculares.

En cuanto a la cubierta del Caparazón se emplearon tres tipos de amarres con mecate de yute. La Figura 6 muestra de izquierda a derecha, el amarre de barrilete, con el cual se mantienen cohesionadas las latas de bambú que formaron



Figura 6. Tres tipos de amarres con mecate: barrilete, cuadrado y lateral.

las vigas curvas del Caparazón; al centro de la imagen, el amarre cuadrado para sujetar las vigas a la cuerda superior del marco; y, para la unión de las vigas curvas con los segmentos paralelos de bambú que forman el cuerpo de la cubierta, se utilizó un trenzado denominado amarre lateral.

El caparazón tuvo dos fases de desarrollo en su producción. En la primera se construyó y clasificaron todas las partes de la estructura y componentes de unión. Después se desmontó y almacenó para la segunda fase, que consistió en la realización de un taller de construcción, dirigido a estudiantes de arquitectura e ingeniería civil. Esto ocurrió unos meses después, dejando como resultado la instalación del Caparazón en uno de los jardines del campus universitario. Al momento de terminar la instalación del caparazón, se sellaron las oquedades de los culmos rollizos con mortero, para evitar el alojamiento de insectos como las abejas y hormigas, o de arácnidos. Es una medida necesaria, para reducir molestias en el futuro. Cabe destacar también que, la instalación del Caparazón cuenta con dados de carga que levantan la estructura 30 cm del suelo, evitando problemas de transmisión de humedad. Sin embargo, todo el sistema estructural y cubierta queda expuesto de manera directa a la intemperie. Es del dominio general, que el bambú sufre un desgaste acelerado debido la exposición solar directa y la lluvia. Por regla general una estructura de bambú debe tener un buen sombreado (techumbre con aleros largos) y buenas botas ((bambúes separado de la superficie). El Caparazón está en observación. No obstante que se han aplicado productos como Polyform® Barniz 11000, el cual se desprendió a los 10 meses; o el aceite de linaza, no se ha evitado el desgaste causado por el clima. ¿Cómo proteger al bambú en estas condiciones?, es una asignatura pendiente de investigar que se planea realizar en el mediano plazo.

Diseño y construcción de las mamparas.

El corazón de bambú que se obtuvo del corte longitudinal paralelo y se destinó para el diseño de cinco mamparas que fueron instaladas en el laboratorio de Estudios del Hábitat Sustentable, del departamento de Medio Ambiente, en la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

Las mamparas están formadas por un marco rectangular de madera de 4 cm de espesor, dentro del cual se insertaron, con uniones a hueso, nueve corazones de bambú en cada uno.

Para el montaje de las mamparas fue necesario diseñar una junta articulada a fuerza axial vertical. Esto con el propósito de prevenir la acción de fuerzas verticales ocasionales, por un asentamiento eventual de la losa o por sismo, que deformen o dañen la mampara. La junta articulada que se observa en la Figura 7, se compone de un marco de madera, asentado sobre el lecho bajo de la losa de concreto. En el hueco del marco se inserta el bastón de madera, con una placa de neopreno en el extremo que tendrá contacto con la losa. Existe una holgura de 1/16" entre la junta y el bastón. Los bastidores quedan sujetos a la losa por medio de bastones de madera, los cuales están fijos a cada costado del bastidor, de tal manera que un bastón sostiene a dos mamparas adosada cada una a un costado.

Cabe destacar que el juego orgánico que ofrece la geometría interna del corazón de bambú le aporta confort y funcionalidad a la ambientación del espacio interior. Agrega una atmósfera llena de transparencia sin dejar de marcar la frontera de circulación para dos secciones de trabajo. Las mamparas le dan un toque de buen gusto a la organización y ambientación espacial del laboratorio (Figura 8).

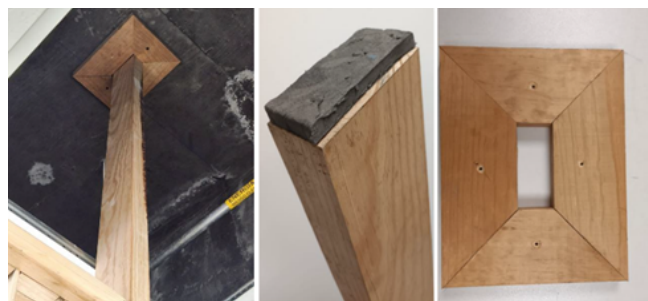


Figura 7. Junta articulada a fuerza axial vertical.

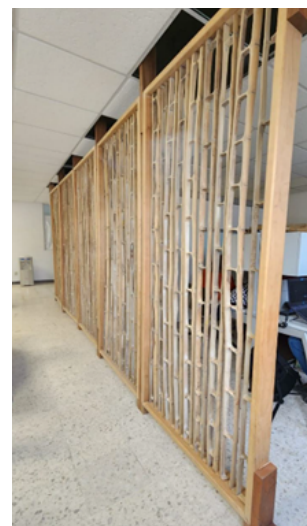


Figura 8. Mamparas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos respecto a las maneras que existen de cortar el bambú longitudinalmente resultaron exitosos. Está comprobado que es posible realizar dos cortes sobre el eje longitudinal de la vara de bambú. Uno, en dirección paralela al eje longitudinal, y otro, en forma radial sobre ese eje. En lo relativo al primero, la composición formal generada por la geometría orgánica de los corazones de bambú, le agregó funcionalidad, transparencia y buen gusto a la ambientación del espacio interior del laboratorio de Estudios del Hábitat Sustentable. Respecto a los resultados obtenidos en el segundo caso, se comprobó la factibilidad de generar formas curvas con segmentos longitudinales y su integración como viga, a partir de un paquete de latas firmemente zunchada. En este ejercicio de investigación se trabajaron con diversos tipos de conexiones que enriquecieron la solución formal: uniones tradicionales -como la boca de pescado, uniones pernadas, y los amarres con sogá.

Se pudo comprobar la factibilidad de formar a los alumnos en la fabricación y construcción de elementos constructivos y ornamentales con bambú. Los resultados propician mejores condiciones para continuar definiendo las formas y los métodos que procuren el conocimiento y aprendizaje de construcción con bambú dentro del currículo académico.

La colaboración de alumnos de servicio social en todo el proceso, así como la participación de estudiantes de arquitectura e ingeniería civil en la instalación del Caparazón refuerzan la pertinencia de incorporar experiencias prácticas para el aprendizaje y comprensión constructiva de este material. También, afianzan la necesidad de formación profesional de ambas especialidades en el uso de materiales renovables, sustentables como el bambú. La brecha de emisiones de CO₂ para evitar el incremento en la temperatura por encima del 1.5°C y debajo de los 2°C hacia el 2100, demanda a las profesiones del diseño y construcción incorporar en su quehacer profesional materiales con baja o nula dependencia en el uso de combustibles fósiles. El bambú no emite CO₂, y en cambio, lo absorbe.

Agradecimientos y financiamiento: Nuestro agradecimiento al grupo de alumnos de servicio social que colaboraron en la manufactura, en particular a Fernanda O.M. Moreno Luna por la generación de las tablas de este artículo. A la División de Ciencias Básicas e Ingeniería y a la División de Ciencias y Artes para el Diseño, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, por el financiamiento al proyecto de investigación N-500 “Ensamblajes y conexiones de módulos estructurales de bambú”

Bibliografía

- Aguirre-Cadena, J. F., Ramírez-Valverde, B., Cadena-Iñiguez, J., Juárez-Sánchez, J. P., Caso-Barrera, L., & Martínez-Carrera, D. (2018). Biomasa y carbono en *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii* en dos comunidades de la sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1701–1708. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442018000401701
- Botero-Cortes, L. F. (2004). *Manual de industrialización del bambú*. COMPYMEFOR. Argentina. <https://drive.google.com/file/d/1OPK4argaQtrneB-6v4EldmbGVlOMMgqCk/view>
- Camargo, J. C., Rodríguez, J. A., & Arango, A. M. (2010). Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetalera de Colombia. *Revista de Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 86–94. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5987>
- Caori, P., & Takeuchi, T. (2004). Comportamiento estructural de la *Guadua angustifolia*. Uniones en guadua. *Ingeniería e Investigación*, 24(2), 3–7. Universidad Nacional de Colombia.
- Cely-Moreno, L. A., Hernández-Rojas, W. G., & Gutiérrez-Junco, O. J. (2012). Caracterización de la *Guadua angustifolia* Kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10. *Facultad de Ingeniería*, 21(33), 53–71.
- Comisión Nacional Forestal. (2002). *Manual para la construcción sustentable con bambú*. México. https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/manual_para_la_construccion_sustentable_con_bambu.pdf
- Cortés Rodríguez, G. R. (2000). Los bambúes nativos de México. *CONABIO. Biodiversitas*, 30, 12–15.
- Cruz-Armendáriz, N. M., Ruiz-Sánchez, E., & Reyes-Aguero, J. A. (2023). Servicios ecosistémicos de las especies nativas e introducidas de bambú en la Huasteca Potosina, México: usos del bambú. *Acta Botánica Mexicana*, 130, e2132. <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2132>
- Cuenca, A., León-Merino, A., Sangerman-Jarquín, D., Hernández-Juárez, M., & Zamora-Martínez, M. (2020). Aspectos socioeconómicos del aprovechamiento del bambú en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.815>
- Estrada Martín. (2010). *Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos*. National University of Colombia.
- Guerrero, J. J., Quiroz, A., & Terán, A. (2014, 12–15 de noviembre). Propiedades mecánicas del bambú. [Sesión de Congreso]. *XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Puerto Vallarta, Jalisco.
- Hidalgo, O. (2003). *Bamboo: The gift of gods*. Editorial The Author, Bogotá, Colombia. ISBN 958334298X.
- International Standard. (2019). *Bamboo — Determination of physical and mechanical properties*. ISO 221571-2004.
- Kelchner, S. A., & Bamboo Phylogeny Group. (2013). Higher level phylogenetic relationships within the bamboos (Poaceae: Bambusoideae) based on five plastid markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 67, 404–413. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2013.02.005>

- Lucila Aguilar Arquitectos. (2020). *Catálogo de Bambú en México*. <https://lucilaaguilar.com/wp-content/uploads/2021/05/Cata%CC%81logo-de-Bambu%CC%81-en-Me%CC%81xico-Lucila-Aguilar-2020.pdf>
- Moreno-Martínez, J. L., Ruiz-Bello, C., Espinosa-Zaragoza, S., & Macian-Núñez de Castro, J. M. (2018). El otate (*Otatea acuminata*) y la palma real (*Sabal mexicana*): Recursos ancestrales usados en la construcción de vivienda rural. *Agro Productividad*, 5(4), 26–36. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/410>
- Obataya, E., Kitin, P., & Yamauchi, H. (2007). Bending characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with respect to its fiber–foam composite structure. *Wood Science and Technology*, 41, 385–400. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0127-8>
- Ordóñez-Candelaria, V. R., & Bárcenas Pazos, G. M. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*). *Madera y Bosques*, 20(2), 111–125.
- Ramírez, M., Almaráz, A., Guerrero, J., & Rivas, A. (2024, 13–16 de noviembre). Determinación experimental del módulo de elasticidad del bambú mediante vibración. [Sesión de Congreso]. *XXIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Cancún, Quintana Roo.
- Ruiz-Sánchez, E., Clark, L. G., Londoño, X., Mejía-Saulés, M. T., & Cortés Rodríguez, G. (2015). Morphological keys to the genera and species of bamboos (Poaceae: Bambusoideae) of Mexico. *Phytotaxa*, 236, 1–24. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.236.1.1>
- Ruiz-Sánchez, E. (2019). *Los bambúes de México*. https://www.researchgate.net/publication/335989474_LOS_BAMBUES_DE_MEXICO
- Ruiz-Sánchez, E., García-Martínez, M. A., & Heredia-Espinoza, V. Y. (2023). Bambúes nativos en la construcción de viviendas rurales: Bajareque en el México prehispánico y siglo XX. *Botanical Sciences*, 101(4), 1088–1101. <https://doi.org/10.17129/botsci.3330>
- Takeuchi, T., Caori, P., & González, C. E. (2007). Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad. *Ingeniería y Universidad*, 11(1), 89–103.
- United Nations Environment Programme. (2024a). *Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. Nairobi. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>
- United Nations Environment Programme. (2024b). *Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/46404>