



Revista Legado de Arquitectura y Diseño
ISSN: 2007-3615
ISSN: 2448-749X
legado_fad@yahoo.com.mx
Universidad Autónoma del Estado de México
México

POLÍN DE BAMBÚ ENSAMBLADO: DISEÑO ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS LIGERAS

Soria-López, Francisco Javier; Guerrero-Baca, Luis Fernando

POLÍN DE BAMBÚ ENSAMBLADO: DISEÑO ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS LIGERAS

Revista Legado de Arquitectura y Diseño, núm. 25, 2019

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477958274015>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

POLÍN DE BAMBÚ ENSAMBLADO: DISEÑO ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS LIGERAS

ASSEMBLED BAMBOO POST: ALTERNATIVE
DESIGN FOR THE CONSTRUCTION OF
LIGHTWEIGHT STRUCTURES

Francisco Javier Soria-López fsoria@correo.xoc.uam.mx

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México

Luis Fernando Guerrero-Baca luisfg1960@yahoo.es

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México

Revista Legado de Arquitectura y Diseño,
núm. 25, 2019

Universidad Autónoma del Estado de
México, México

Recepción: 04 Agosto 2018
Aprobación: 24 Noviembre 2018

Redalyc: [https://www.redalyc.org/
articulo.oa?id=477958274015](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477958274015)

Resumen: Cada día se vuelve más apremiante la implementación de sistemas de construcción que resulten sostenibles desde el punto de vista económico, ecológico y sociocultural. En esa línea, el aprovechamiento del bambú abre una amplia gama de oportunidades porque existe un desarrollo creciente de la oferta de este producto. El presente texto se centra en un proceso de diseño que aprovecha tallos (culmos) del bambú de dimensiones medianas –seccionados longitudinal y posteriormente reacoplados– para conformar componentes que sean de fácil implementación como estructura de apoyo para la edificación con bajareque, que como se sabe, es una de las técnicas constructivas que mejor comportamiento presentan ante fenómenos sísmicos. La técnica propuesta permite racionalizar el sistema que tradicionalmente se ha realizado de manera empírica, mediante la sistematización del control de calidad de la materia prima y la ejecución de las obras.

Palabras clave: arquitectura de tierra, nueva construcción en bajareque, reducción del impacto ambiental.

Abstract: The implementation of sustainable building systems from an economic, ecological and sociocultural point of view is increasingly important in today's world. In this sense, the use of bamboo opens a wide range of opportunities because there is a growing development in the supply of this natural material. This text focuses on a design process that uses bamboo stems (culms) of medium dimensions, that are split longitudinally and later re-assembled, to make components that are easy to manufacture into a support structure for wattle and daub building, which as is known, is a traditional constructive technique that has an appropriate behavior towards seismic phenomena. The proposed technique allows the rationalization of the traditional building process that has been carried out empirically, by systematizing quality control of the raw material as well as simplifying the execution of the building components.

Keywords: earthen architecture, contemporary wattle and daub construction, low environmental impact.

INTRODUCCIÓN

La tecnología en el ámbito de la construcción y operación de los espacios habitables ha evolucionado de manera exponencial a partir del siglo xx. La capacidad de transformación de materias primas en una diversidad de materiales y sistemas constructivos, que usan técnicas cada vez más sofisticadas para su fabricación y operación, nos permite tener, como

nunca antes, una inmensa gama de posibilidades de elección al diseñar proyectos arquitectónicos de toda índole.

Pero al mismo tiempo, se ha hecho evidente que la tecnología genera un impacto sobre los entornos naturales que se reconoce cada vez más como depredadora de los recursos y contaminador de los ambientes que habitamos. Particularmente, el campo del diseño y construcción tiene, por su escala y extensión, gran preponderancia en la alteración de la naturaleza, sobre todo si se continúa con el patrón actual de desarrollo.

Mucho se ha debatido sobre la responsabilidad que tienen todas las áreas del conocimiento y las diversas disciplinas para tomar acciones inmediatas, dirigidas a disminuir o mitigar –de ser posible– los efectos negativos que la actividad humana está teniendo sobre el planeta. A ese respecto, los diseñadores poseen como una de sus habilidades más importantes, la prefiguración de escenarios a través de sus proyectos y los posibles efectos que pueden tener en un contexto determinado. Por ello adquieren un papel fundamental en la toma de decisiones antes de que sus obras se materialicen. Es durante el proceso de diseño, donde se puede modificar, adaptar o integrar soluciones concretas, para generar aportaciones positivas que disminuyan los impactos ambientales negativos más globales. De ahí que una visión de diseño ambiental, diseño integrado (Trebilcock, 2009) o diseño para la sostenibilidad (PNUMA, 2007) sean hoy conceptos indispensables en la prefiguración de los espacios construidos.

En este sentido, “el diseño de sistemas modulares también contribuye a la solución de los problemas de vivienda en los países en vías de desarrollo; un diseño modular es necesario para abrir la posibilidad de la producción de los elementos prefabricados en talleres semindustrializados y su construcción en sitio, en tiempos menores y con mano de obra no calificada” (CONAFOR, 2019: 42).

Por ello, la investigación y la innovación de materiales y sistemas de construcción de bajo impacto ambiental resultan imperativas, tomando en cuenta su acceso y disponibilidad a grupos sociales de bajos recursos. Sólo así se puede avanzar hacia un diseño de espacios habitables que resulten sostenibles al involucrar las dimensiones ambientales, económicas y socioculturales (Guerrero, 2015).

Para afrontar esta problemática, como parte de un proyecto de investigación dirigido al diseño de materiales y sistemas de bajo impacto ambiental, se está desarrollando una propuesta experimental de estructuras ligeras a base de bambú, material que está considerado como un recurso invaluable en la conservación del equilibrio ecológico.

Además, el bambú se ha utilizado desde épocas inmemoriales para edificar inmuebles de todo tipo, probando así su viabilidad social y tecnológica.

La propuesta que aquí se presenta parte de la tradición constructiva del bajareque, pero se sustenta en una innovación tecnológica que optimiza el ensamblado del bambú a fin de aprovecharlo de manera integral, de simplificar su empleo constructivo para utilizar mano de obra menos especializada y herramientas sencillas.

LA TECNOLOGÍA DEL BAMBÚ EN LA CONSTRUCCIÓN CONTEMPORÁNEA

El bambú como material para la construcción tiene una historia dilatada que se ha decantado en tecnologías tradicionales y que en varios países siguen vivas. Este hecho surge evidentemente de su disponibilidad en la región donde se desarrolla. Esta gramínea crece en muchas partes del mundo, y “actualmente se reconoce un total de 90 géneros y unas 1 040 especies de bambúes en el mundo, que se distribuyen desde los 46° de latitud norte hasta los 47° de latitud sur, y desde el nivel del mar hasta los 4 000 metros de altura en los Andes Ecuatoriales (...) Aunque los bambúes se asocian generalmente con las culturas orientales, también existen muchas especies en África y América” (Cortés, 2000: 12).

Es ampliamente conocida a tradición del uso del bambú para la construcción con antecedentes milenarios en Latinoamérica, generalmente incorporada al sistema constructivo de bajareque en sus diversas modalidades. Edificios como los que se conservan en el sitio arqueológico de Caral en el Perú, demuestran la sorprendente integralidad de estructuras hechas alrededor del año 2500 antes de nuestra era (Shady et al., 2009) con bambúceas atadas con fibras vegetales (figura 1).



Figura 1.

Muros bajareque con más de 4000 años de haberse realizado en Caral, Perú.

Fuente: Fotografía de L. Guerrero.

En su uso estructural destaca por su aplicación en techumbres, para elaborar elementos divisorios ligeros como cercas, e incluso en la fabricación de complementos como puertas y ventanas. En el caso de México tradicionalmente se ha usado el otate, ocotate, el carrizo y caña brava, que son especies nativas de gramíneas que desde varios siglos antes de nuestra era han formado parte de la edificación (Guerrero, 2017).

Pero a pesar de ser un material disponible y con cualidades plenamente reconocidas, su uso en la construcción contemporánea es prácticamente inexistente. No ha sido sino hasta décadas recientes –a partir de la crisis ambiental– que paulatinamente se ha ido experimentando con el bambú en el ámbito de la construcción con gran utilidad, atractivo y

valor. Sin embargo, los resultados aún están claramente acotados a grupos minoritarios de interés por su uso en espacios habitables o como objeto de proyectos de investigación y experimentación de carácter académico.

La pregunta central que surge es que si esta planta maravillosa, por sus características y su importancia histórica, es capaz de insertarse en el mercado de la construcción en los próximos años en un nivel significativo. No se habla de competir o desplazar a materiales como el concreto, acero, madera, piedras naturales o artificiales que dominan los elementos portantes en la edificación actual, sino de su integración como un complemento constructivo viable y atractivo.

La arquitectura en bambú en nuestro continente incluye proyectos de vivienda unifamiliar y multifamiliar, conjuntos dedicados al hospedaje y, especialmente, en el desarrollo de cubiertas ligeras –algunas con grandes claros– que han sido incorporadas a elementos de infraestructura como puentes, torres y pabellones para usos diversos.

Son varios los criterios de control de calidad para usar bambú estructuralmente:

- Cultivo y control de crecimiento. Es necesario tener un seguimiento desde el momento del cultivo, para generar las mejores condiciones de crecimiento y desarrollo de la planta hasta su edad madura, a fin de que pueda certificarse.
- Selección, corte y tratamiento. Las formas de procesar el bambú a partir de verificar su edad madura, el momento y sistema de corte, así como los métodos para protegerlo, secarlo y almacenarlo, requieren de una tecnología ya aceptada que incluye desde técnicas tradicionales hasta el uso de equipos y maquinarias especializadas.
- El diseño de elementos, estructuras y espacios. En el ámbito latinoamericano ya se han establecido normas para la construcción con bambú como es el caso de Colombia, Perú y más recientemente Ecuador (Flores Méndez et al., 2014: 2).
- Diseño y fabricación de uniones. Es indispensable resaltar la complicación que representan las uniones entre los elementos de bambú usados en la construcción, lo que implica un mayor nivel de investigación y desarrollo (Manjunath, 2015).

Este componente debe ser analizado y resuelto adecuadamente para asegurar la resistencia y estabilidad de todo el sistema estructural. Las uniones de componentes de bambú son más difíciles de resolver que las de madera, concreto o acero, porque su culmo es redondo y hueco, tiene nodos a distancias variables y transversalmente no es perfectamente circular (CONAFOR, 2019: 41).

- Protección y mantenimiento. Finalmente, está el problema de la preservación a largo plazo de las construcciones. En algunos países no se considera a los inmuebles de bambú como bienes rentables y comercializables, sino como estructuras con durabilidad reducida. En este aspecto influyen factores de diseño, pero también la necesidad de dar un mantenimiento constante

que garantice un ciclo de vida extendido, que la tradición ha demostrado que puede ser centenaria (figura 2).



Figura 2.

Al recubrir el bambú con tierra se garantiza su vigencia secular por el equilibrio de su nivel de humedad. Refuerzos entre adobes con más de mil años. Huacas de Moche, Perú.

Fuente: Fotografía de L. Guerrero.

Es importante reconocer que en el caso de México lamentablemente aún son pocos los productores con plantaciones que dan un seguimiento controlado de las especies que cultivan, seleccionan, almacenan, tratan y comercializan. Tampoco se cuenta con una norma oficial en este rubro, aunque hay varios referentes institucionales de carácter técnico (manuales) que orientan sobre construcción. Se han implementado criterios de diseño sobre seguridad estructural (estabilidad y resistencia sísmica), protección contra factores ambientales que perjudican su durabilidad (humedad, sol, viento, lluvia, insectos y hongos), así como riesgos en caso de incendios.

La tecnología para la construcción de bambú está en pleno desarrollo, lo que abre una amplia gama de posibilidades para su implementación. Para ello se requiere utilizar al máximo sus ventajas y reducir los aspectos débiles o menos favorables:

Entre las cualidades del uso del bambú como material constructivo destacan:

- Alta resistencia a la tensión y compresión que permite conformar elementos con capacidad estructural que garanticen la estabilidad de la construcción. La forma tubular y los nodos que forman el bambú le dan una gran resistencia por su geometría, que al ensamblarse en estructuras más complejas (columnas y armaduras) permiten diseñar edificaciones de notable estabilidad.
- Flexibilidad especialmente en culmos de menor sección y cuando son descompuestos en tiras (llamadas “latas”) permiten manipularlos en diversas formas.
- Gran ligereza que posibilita un manejo relativamente fácil en obra, con pocos operarios para manipular el material.
- Buena trabajabilidad que facilita el corte, perforación, división de los culmos utilizando herramienta básica de carpintería.
- Precio accesible. A pesar de ser un material que requiere ser pedido a productores específicos, y que todavía no resulta ampliamente

disponible, su costo sigue siendo accesible incluso considerando el precio de transportación a obra.

- Bajo impacto ambiental porque gracias a su rápido crecimiento captura altos volúmenes de CO₂ de la atmósfera. Además, protege los suelos de la erosión y estabiliza la humedad ambiental y freática de las regiones que habita.

Pero, para poder plantear alternativas racionales de construcción es importante reconocer que este material presenta también desventajas. Las principales son:

- Material orgánico con variación dimensional no estandarizable. Cada culmo es distinto, si bien alcanzan dimensiones muy similares y puede hacerse una selección cuidadosa de especímenes, siempre existirá una variación entre elementos.
- Vulnerabilidad al ataque de insectos y hongos xilófagos. Esto implica necesariamente tratamiento, diseño y mantenimiento para proteger y conservar en buenas condiciones los elementos de bambú. Se ha observado que a pesar del control de la calidad de los procesos de tratamiento al interior de los culmos, los tímpanos de los nudos generan zonas en las que no se alcanza una completa inmunización.
- Vulnerabilidad a factores climáticos. Condiciones ambientales adversas tales como lluvia, humedad, asoleamiento y viento deterioran al bambú, generando pérdida en sus características y estabilidad. Es indispensable el diseño y protección de elementos a su exposición directa a factores climáticos.
- Los culmos presentan rajaduras. Por la propia naturaleza del bambú que tiene la disposición longitudinal de sus fibras, tiende a rajarse o partirse, especialmente ante condiciones desfavorables como pérdida de humedad, exposición continua a ciclos de calor y frío, pero también ante la presencia de perforaciones inducidas.
- Dificultad de recubrimiento. Las caras externas del bambú presentan una capa altamente resistente que tiene la desventaja de ser tan lisa que no permite la adherencia de casi ningún material de protección.
- Complejidad en el diseño y fabricación de nodos. El anclaje y unión de secciones tubulares de bambú dificulta su ensamblado. Para garantizar la continuidad estructural necesaria para la adecuada transmisión de cargas, se requiere mano de obra con experiencia, herramienta de corte específica y piezas de fabricación especial. Esto hace que la unión de piezas se especialice demasiado, lo que dificulta el acceso al uso del bambú para construir inmuebles estables y durables con mano de obra poco capacitada. Se ha trabajado mucho en el diseño de piezas para unir los culmos de bambú, siendo una de las tendencias dominantes la fabricación de nodos de alta tecnología, las más de las veces en acero inoxidable que, si bien son muy eficientes, resultan poco accesibles para países en vías de desarrollo.

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL POLÍN

Las condicionantes que presenta esta especie vegetal para su uso contemporáneo han hecho que la mayoría de las obras dependan del reconocimiento de un reducido número de especies de bambuseas que se consideran “con capacidad estructural”. Además, de este grupo sólo se usan los tramos más resistentes, con uniformidad de distancias entre nudos y con una geometría lo más homogénea posible, es decir, piezas rectas y con escasa diferencia de sección en toda su longitud. Estos criterios garantizan un comportamiento estable y en cierto modo, predecible de las estructuras.

Sin embargo, es importante mencionar que estos procesos selectivos generan grandes volúmenes de desperdicio. Si bien, es cierto que los tramos que no cumplen con los estándares requeridos se pueden seccionar en tiras o presionar y abrir para formar esterillas con diversos usos en la construcción, la mayor parte de la producción de nuestro país se vende por millares como “bastones” de apoyo para plantaciones de hortalizas, y el resto se convierte en basura.

Para intentar revertir esta situación se desarrolló una tecnología que busca optimizar al máximo una amplia gama de especies de bambú como elemento estructural a partir de ensamblar con tornillos, culmos cortados longitudinalmente, sin importar demasiado la diversidad de sus dimensiones. De este modo se generan unidades con amplio potencial de combinación con piezas de distintos tamaños y espesores para conformar muros, columnas, vigas, armaduras y estructuras espaciales complejas.

El punto nodal del concepto de diseño se enfoca en aprovechar el bambú para realizar una construcción estable y durable, utilizando mano de obra poco especializada, herramientas básicas de carpintería y elementos de unión accesibles y de fácil manejo. La propuesta contempla los siguientes criterios:

- Que se puedan modular elementos estructurales con características dimensionales relativamente estables para fabricar componentes ligeros.
- Que se facilite el ensamblado y unión de elementos.
- Que se garantice un adecuado tratamiento de preservación de piezas y estructuras.
- Que los elementos puedan ser recubiertos, para su protección contra factores ambientales. La tierra mantiene estable la humedad interior de los componentes constructivos y preserva por milenios a la madera, la paja y el bambú (Minke, 2005).

El diseño propone utilizar medias cañas (bambú partido longitudinalmente por la mitad) como pieza básica para formar un elemento llamado Polín de Bambú Ensamblado.

La idea es que al seccionar el bambú se obtienen dos piezas, una convexa y otra que puede considerarse plana. Pero al ensamblar las medias cañas en el eje central de su cara curva, se obtiene una pieza que preserva buena parte de las capacidades resistentes, pero que permite solventar varias de

las limitaciones de los culmos enteros. Se obtiene un componente que en toda su longitud presenta cuatro caras relativamente “planas”, lo que facilita su unión con otros componentes y, sobre todo, la posibilidad de recubrirse de tierra como parte del sistema constructivo de bajareque porque las áreas internas de los culmos permiten una mayor adherencia que las externas (figura 3).

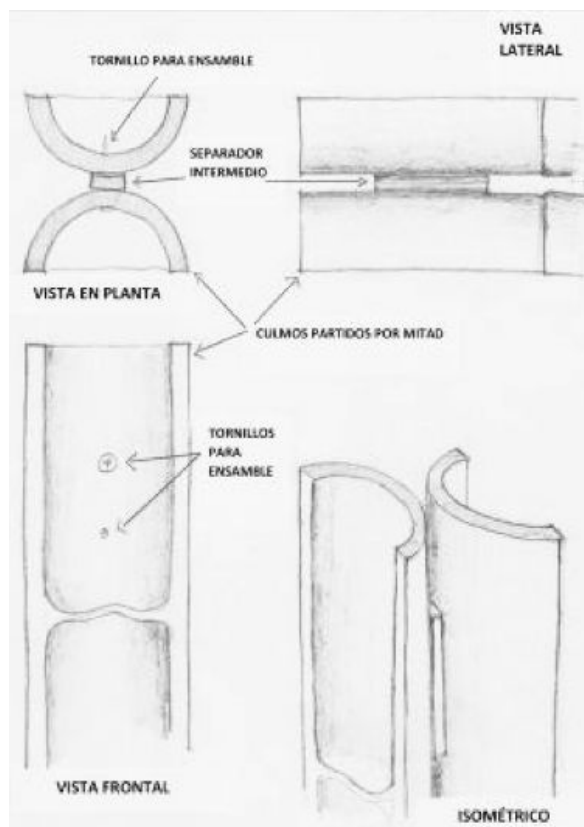


Figura 3.

Ensamble de dos mitades de bambú conectadas por su cara convexa. La tablilla separadora entre ambas mitades genera un espacio articulador y robustece la unión.

Fuente: Dibujo de F.J. Soria.

Un punto fundamental en el diseño del Polín Ensamblado, es la colocación de una serie de tablillas entre las caras convexas, que tienen un triple propósito: por un lado, son elementos de refuerzo para lograr puntos de unión más robustos, ayudan a compensar las posibles diferencias en el diámetro de las medias cañas con sus nudos y generan una separación que se utiliza para colocar tablillas transversales con las que se pueden unir paralelamente más polines, conformar paneles o desarrollar armaduras.

El Polín es entonces un componente con un poste definido por dos caras opuestas cóncavas unidas, cuyos nodos y tímpanos interiores quedan expuestos al exterior a intervalos regulares de mayor o menor dimensión según la especie de bambú que se utilice. Las otras dos caras se definen por el encuentro entre las dos superficies curvas unidas en el centro, pero que a distancias predefinidas, incluyen separadores.

Finalmente, el sistema se refuerza con una serie de conectores perpendiculares al sentido longitudinal de las medias cañas que se

distancian lo que sea necesario para evitar la deformación derivada de la flexión o la torsión natural (figura 4).

En lo que respecta a la resistencia de este sistema conviene hacer notar que “la literatura existente indica que una parte importante del buen comportamiento estructural del bambú se deriva de su perfil tubular” (Trujillo, Ramage & Chang, 2013: 238). Entonces podría considerarse que la propuesta del Polín va “contra natura” porque justamente divide en dos esta geometría, lo que puede implicar la reducción de la resistencia que su forma natural le confiere.

En efecto, un culmo entero, redondo es más resistente que una mitad que se debilita al hacerse más flexible y deformable. Sin embargo, el diseño del Polín que se presenta ha sido concebido como un elemento ensamblado, conformado como un conjunto que pueden adquirir una resistencia, igual o incluso mayor que la del culmo natural tubular. Esto se debe a que, aunque la mitad de la sección tiene una geometría semejante a la de un arco o una bóveda que sin apoyos en sus extremos (impostas o contrafuertes) tiende a “abrirse”, la colocación de los conectores cumple precisamente esa función.

En las áreas del culmo que tienen mayor posibilidad de deformarse por carecer de nudos y tímpanos, se atornillan pequeñas tablillas de bambú (“latas”) que las mantienen cerradas. Además, en las otras dos caras del polín se colocan regularmente otras series de conectores similares, que al final configuran una especie de anillos o “estribos” como los requeridos en trabes o “castillos” de concreto armado.

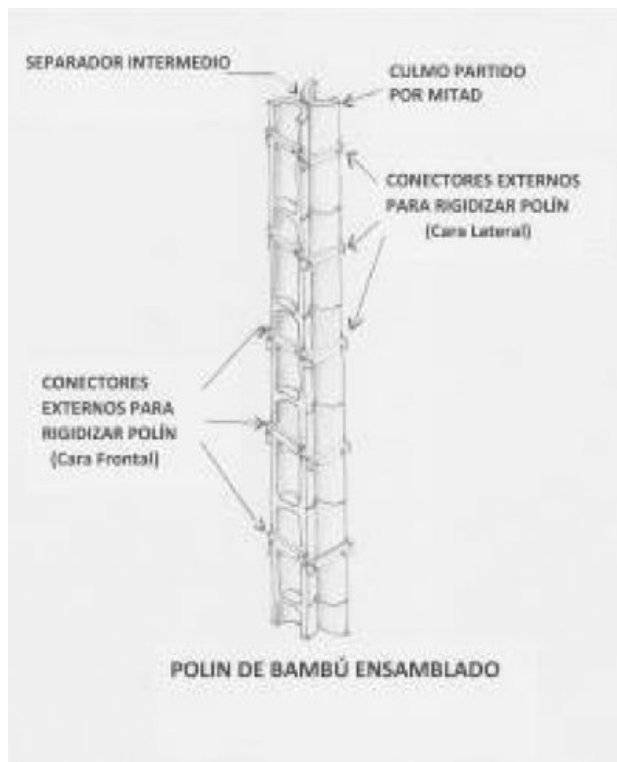


Figura 4.

El polín ensamblado requiere conectores externos colocados a intervalos regulares para rigidizar la pieza y que trabaje uniformemente. Se colocan en el tramo intermedio entre nudos que de manera natural presentan mayor rigidez.

Fuente: Dibujo de F.J. Soria.

SISTEMAS ESTRUCTURADOS MEDIANTE POLINES DE BAMBÚ

Se puede sintetizar el concepto de diseño completo del Polín a partir de las siguientes consideraciones generales:

Se utilizan culmos sanos y maduros con paredes de entre 1 y 1.5 cm de espesor como mínimo. Se ensamblan dos mitades en su cara convexa con tornillos equidistantes. En las labores experimentales se decidió adoptar una medida estándar de 2.44 m que será la dimensión de trabajo (con modulaciones correspondientes como 1.22 m y 0.61 m), que permitirán comparar los resultados con materiales convencionales.

Se emplean al menos tres separadores, uno al centro y dos en los extremos, pero lógicamente los requerimientos estructurales llevan a soluciones específicas.

Como material del separador se ha experimentado con “latas” de bambú y con soleras de acero al carbón. Las “latas” tienen 1 cm de espesor, 2 a 2.5 cm de ancho y 15 cm de largo. La solera probada tenía 1/8” de espesor, 3/4” de ancho por y 15 cm de largo.

Como la forma geométrica perdió la estabilidad y rigidez del culmo natural, se colocan los conectores hechos también de tramos de “latas” como elementos de sujeción en las cuatro caras del polín a una distancia aproximada de 60 cm. Así se genera una especie de anillos que evitan deformaciones y provocan un trabajo unitario (figura 5).

Por último, para facilitar el proceso de ensamblado, se ha determinado el uso de tornillos autoperforantes para madera, pero colocados después de realizar un “conducto guía” con taladro y broca convencional, para disminuir el riesgo de partir o abrir la cara del bambú. La dimensión de los tornillos va en función del espesor de las piezas a unir y pueden ser de 3” en el centro del polín para unir piezas con los separadores, hasta de 1” para colocar los conectores a cada 60 cm.

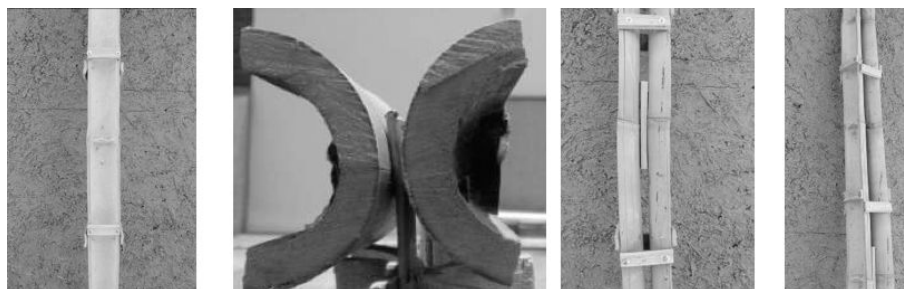


Figura 5.

Imágenes donde se aprecia la vista frontal, en sección y lateral respectivamente del Polín de bambú. Se destaca el separador (en esta imagen con solera de acero intermedia) entre dos mitades de culmo y los conectores para rigidizar las caras externas (derecha cara frontal).

Fuente: Fotografías de F.J. Soria.

A partir del diseño original del Polín de Bambú, durante los dos últimos años se han ensayado diversas modalidades de uniones. La idea central fue la de experimentar, el proceso de ensamblado de componentes modulados que permitieran la prefabricación parcial de un sistema de apoyos verticales que pudieran servir para confinar sistemas diversos como muros divisorios. La geometría del Polín permite insertar, fijar o atornillar lambrines de madera, paneles prefabricados de yeso o de mortero, así como la edificación continua de entramados para muros de bajareque.

Un desarrollo tecnológico posterior consistió en la prefabricación de paneles a partir de la conformación de marcos completos con modulaciones preestablecidas. Los Polines se unieron en las esquinas y se colocó una matriz de “latillas” que se atornillaron en ellos (figura 6). Se han experimentado variantes de entramados con colocaciones ortogonales o diagonales y variando las separaciones, a fin de poder evaluar en etapas posteriores sus resistencias comparativas. Estos paneles están diseñados para recibir capas sucesivas de tierra arcillosa estabilizada con paja.



Figura 6.

Si se requiere tener muros anchos el entramado de los paneles puede colocarse en las caras exteriores del Polín.

Fuente: Fotografía de F.J. Soria.

Entre las principales ventajas de este sistema se encuentra la posibilidad de utilizar los paneles prefabricados como componentes de muros, entrepisos y cubiertas. Esta opción se deriva de la resistencia que alcanzan los Polines, tanto a la compresión cuando se colocan a manera de postes, como a la flexión en componentes horizontales (Tejada, 2001). Un adecuado diseño y modulación permiten contar con los Polines como esqueleto de la estructura y los entramados no sólo sirven como relleno, sino que ayudan a una transferencia uniforme de esfuerzos en todas direcciones. En este proceso, el papel de la tierra arcillosa es clave porque se comporta como un sistema articulado que, aunque es parcialmente dúctil, adquiere la resistencia a la compresión necesaria para soportar la transmisión de cargas a los marcos (figura 7).



Figura 7.

El proceso de embarrado de los paneles conforma una etapa fundamental para conseguir una articulación completa del sistema.

Fuente: Fotografía de L. Guerrero.

Por otra parte, el Polín de Bambú Ensamblado, al igual que los culmos naturales, puede funcionar como cualquier viga o morillo para servir como elemento de apoyo directo de cubiertas ligeras o tejados. Obviamente su capacidad de carga estará condicionada por la longitud de las piezas y el adecuado diseño de la separación entre los conectores.

Adicionalmente, en el caso de que se requiera contar con claros de mayores dimensiones o más carga de entrepisos o techos, los Polines pueden destinarse a la configuración de armaduras de alma abierta, con lo que su resistencia se incrementa de manera exponencial. El principio de ensamblado es el mismo que el utilizado en el panel sólo que se requiere la introducción de piezas cortadas en ángulo en sus extremos para poder conformar refuerzos diagonales y contraventeos.

Por último, es importante mencionar que esta serie de sistemas basados en el desarrollo de diversas uniones de Polines han sido realizados por trabajadores convencionales de la construcción sin especialización alguna. Por ejemplo, una pareja formada por un oficial y un peón después de una semana aprendizaje, fueron capaces de elaborar hasta 6.5 paneles en un

periodo de 8 horas. Este proceso incluyó desde el corte de las piezas hasta su ensamblado final. Igualmente, una vez capacitados los trabajadores, hicieron armaduras de 4.5 m de longitud y 60 cm de peralte en promedio, tardando aproximadamente 5 horas por pieza (figura 8).



Figura 8.

El proceso constructivo desarrollado a partir de la combinación de Polines de Bambú Ensamblados ha sido probado para verificar su aplicabilidad, costos y rendimientos de obra.
Fuente: Fotografía de F.J. Soria.

Aunque falta documentar en laboratorio la resistencia mecánica de los Polines, paneles y armaduras, en esta primera fase de la investigación se buscó implementar ciclos completos de fabricación de componentes y su ensamblado en obra para estudiar la factibilidad para su desarrollo como sistema constructivo y evaluar los tiempos de capacitación, fabricación, ensamblado y terminado. Es fundamental pensar en sistemas modulados para hacer más accesible la construcción y aceptación del bambú.

CONCLUSIONES

El sistema propuesto de Polín Ensamblado probó ser factible para implementarse como método de construcción a base de paneles y armaduras desde el punto de vista de facilidad de fabricación y ensamblado en obra. Las uniones propuestas facilitaron el proceso de construcción, tanto de las piezas moduladas individuales, como su ensamblado para conformar muros y cubiertas utilizando obreros con experiencia en la obra convencional, que mediante una instrucción corta fueron capaces de ensamblar las piezas solicitadas.

Otro aspecto para destacar es que el sistema no pretende que las piezas sean “aparentes”, por el contrario, se trata de un sistema que considera el bambú ensamblado como estructura portante para ser recubierta. Esto tiene el propósito de proteger el bambú de los

factores ambientales y mejorar su durabilidad. Pero además, se considera que el sistema, al igual que los materiales comerciales más utilizados (tabique y concreto) genere estructuras recubiertas con aplanados y pintura en superficies planas continuas, que pueden conformar espacios arquitectónicos “convencionales” para ser más aceptados por parte de los usuarios.

A pesar de que hace falta concluir las pruebas de resistencia de los paneles y armaduras bajo condiciones de laboratorio, es indudable, a partir de estos experimentos, que las estructuras propuestas a base de bambú ensamblado para conformar edificaciones de una planta son viables estructuralmente hablando y pueden ser suficientemente seguras para ser habitadas incluso en regiones sísmicas.

Finalmente, se advierte que, en el tema de costos, el sistema propuesto puede ser competitivo con las técnicas más convencionales de concreto y acero, pues su precio es accesible y la mano de obra requiere poca capacitación para ensamblar piezas de calidad controlada. Al mismo tiempo se enfrenta a dificultades concretas como la disponibilidad del material, ya que no es fácil conseguir proveedores con experiencia para entregar material de calidad controlada y mucho menos distribuidores que faciliten la compraventa de bambú para la construcción en regiones no productoras.

Pero el crecimiento que paulatinamente va alcanzando el uso del bambú permitirá que en muy poco tiempo se aproveche mejor la materia prima de grandes zonas productoras del país como las que se localizan en Puebla, Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Colima. Nos encontramos en un momento crucial para la generación de soluciones eficaces y sostenibles para elevar la calidad de vida de la sociedad y, en este proceso, la construcción con bambú combinado con tierra juega un papel determinante.

FUENTES DE CONSULTA

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2019), Manual para la construcción sustentable con bambú, semarnat-conafor, Zapopan. [En línea] https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/manual_para_la_construccion_sustentable_con_bambu.pdf, consultado el 10 de marzo de 2019.
- Cortés Rodríguez, G. R. (2000), “Los bambúes nativos de México”, conabio. Biodiversitas, vol. 30, núm. 5. pp. 12-15. [En línea]. <https://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv30art3.pdf>, consultado el 2 de agosto de 2018.
- Flores Méndez, E., Correa Giraldo, V. M., Queiros, Mathieu y Ordóñez, V. R. (2014), Estado Actual de la construcción con bambú. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Puerto Vallarta. [En línea] http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_18/te_08/ar_07.pdf, consultado 7 de julio de 2018.
- Guerrero Baca, L. (2015), “Sostenibilidad y conservación del patrimonio edificado”, Revista Palapa, vol. III, núm. 1, pp. 73-84.

- Guerrero Baca, L. (2017), "Pasado y porvenir de la construcción con bajareque", *Revista Gremium*, vol. IV, núm. 8, pp. 69-80.
- Manjunath, N. (2015), "Contemporary Bamboo Architecture in India and its Acceptability". En 10Th World Bamboo Congress, Korea, 2015. [En línea] <https://worldbamboo.net/wbcx/Sessions/Theme%20Architecture%20Engineering%20Social%20Housing/Manjunath,%20Neelam.pdf>, consultado el 23 de julio de 2018.
- Minke, G. (2005), *Manual de construcción en tierra, Fin de Siglo*, Uruguay.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2007), *Diseño para la sostenibilidad. Un enfoque práctico para economías en desarrollo*. [En línea] <http://www.d4s-de.org/d4sspanishlow.pdf>, consultado el 23 de julio de 2018.
- Shady, Ruth et al., (2009), *Caral. La civilización más antigua de las américas: 15 años develando su historia*. Instituto Nacional de Cultura, Lima, Perú.
- Tejada, U. (2001), *Buena tierra. Apuntes para el diseño y construcción con adobe*, CIDAP, Lima, Perú.
- Trebilcock, M. (2009), "Proceso de Diseño Integrado: nuevos paradigmas en arquitectura sustentable", *Arquitectura revista*, vol. 5, núm. 2, pp. 65-75 (julho/dezembro 2009). [En línea] <http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/4805>, consultado el 2 de agosto de 2018.
- Trujillo, D.J., Ramage, M. & Chang, W-S (2013), "Lightly modified bamboo for structural applications". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Construction Materials* vol. 166, Issue CM4, pp. 238-247. [En línea] <http://dx.doi.org/10.1680/coma.12.00038>, consultado el 7 de julio de 2018.