



## PREFABRICACIÓN CON BAMBÚ DEL BAJAREQUE TRADICIONAL

Francisco J. Soria López<sup>1</sup>, Luis Fernando Guerrero Baca<sup>2</sup>, Felipe Martínez Flores<sup>3</sup>

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Área Reutilización del Patrimonio Edificado, México

<sup>1</sup>fsoria@correo.xoc.uam.mx, <sup>2</sup>luisfg1960@yahoo.es, <sup>3</sup>mafi3107@hotmail.com

**Palabras clave:** construcción con bambú, tierra estabilizada, arquitectura sostenible

### Resumen

Ante el creciente deterioro ambiental, la humanidad requiere implementar sistemas de construcción más amables y compatibles con el entorno natural. La construcción con tierra es una alternativa para lo anterior pero se hace necesaria la generación de nuevos desarrollos tecnológicos, basados en las múltiples técnicas que esta tradición constructiva tiene, a fin de optimizar los materiales y procedimientos de ejecución. Como parte de un proyecto para el uso de materiales y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental que se lleva a cabo en la UAM-Xochimilco, en la Ciudad de México, se ha diseñado y experimentando un sistema para la prefabricación de muros de bajareque contruidos a base de paneles de bambú. Estos componentes se han construido mediante secciones partidas de bambú, lo que facilita el ensamblado de los componentes, evitando las conexiones elaboradas que implican las secciones redondas y que requieren mano de obra especializada. A partir del ensamblado y entramado de medias secciones y latas de bambú, se procede a incorporar la mezcla de tierra y paja para construir el muro de bajareque de forma tradicional. El diseño está pensado para la construcción de muros “convencionales” es decir de secciones rectas, esquinas perpendiculares y emboquillados planos ya que la estructura de bambú queda ahogada en la mezcla de tierra, y terminada con el revoque correspondiente. Se pretende que estos sistemas puedan generar edificaciones de bajo impacto ambiental y a la vez sean accesibles desde el punto de vista tecnológico y económico para diversas comunidades.

### 1 INTRODUCCIÓN

El deterioro ambiental que vive actualmente la humanidad es, sin duda alguna, un problema de primera importancia que requiere de atención urgente. Son ya muchos los elementos tangibles que ponen en evidencia la necesidad de cambiar la forma de convivir con la naturaleza si se pretende su conservación, no sólo para beneficio propio, sino sobre todo para que las futuras generaciones tengan la misma oportunidad de conocer y disfrutar de este patrimonio.

Como ya se ha documentado ampliamente, el entorno edificado, que incluye desde las grandes o pequeñas ciudades hasta la arquitectura e infraestructura de distintas características, concebidos y erigidos para generar un espacio habitable – esa llamada “segunda naturaleza” creada por el hombre – se construye a partir de los recursos naturales disponibles y mediante la tecnología desarrollada durante siglos. Esa transformación acumulada y creciente del entorno natural está llegando a límites insostenibles, que rebasan la capacidad del planeta para absorber y equilibrar los impactos negativos que genera lo construido.

De allí que el campo del diseño se ha convertido en un referente de primer orden, ya que se trata de prefigurar soluciones para desarrollar espacios habitables que disminuyan su impacto sobre los entornos preexistentes, que incluye a la naturaleza, pero también entornos que han adquirido valores de orden cultural, donde la historia, la estética, el mismo desarrollo social y tecnológico del que son reflejo, son objeto de un proceso necesario de conservación. Esto es, sin duda, algo que caracteriza al denominado diseño sostenible que particularmente en el ámbito de la arquitectura se está promoviendo:

El diseño sustentable en edificación es un proceso de creación en el cual se establecen criterios de desarrollo sustentable tales como: reducción de los gastos en los recursos naturales empleados, reducción de la contaminación del suelo,

aire y agua, mejoramiento del confort y de la calidad interior del edificio, ahorro económico y financiero en los proyectos constructivos, reducción de los desechos generados en el proceso constructivo, de mantenimiento y de fin de vida útil del edificio, asimismo procura la reducción de los desperdicios industriales generados por fabricación de materiales constructivos y equipo para edificios (Hernández, 2008, p. 20).

Sin embargo, el diseño ambientalmente responsable no es necesariamente una práctica nueva que las circunstancias están obligando a la sociedad contemporánea a adoptar, por el contrario, se trata de una actividad ampliamente desarrollada a lo largo de la historia. No existe, un “impacto cero”, pues el espíritu que caracteriza la acción humana, la lleva a generar un cambio, una intervención en lo preexistente así sea por el solo hecho de apreciar y valorar un espacio, un objeto o a los mismos seres vivientes que han evolucionado sobre la tierra. Así mismo, la sociedad contemporánea ha cambiado en diversos sentidos, no se habita de la misma manera, existen nuevas necesidades, muchas de ellas basadas en tecnología más desarrollada y sofisticada, que permite mejores condiciones de vida, espacios más cómodos, confortables y seguros. Sin embargo, esto ha hecho más dependiente a la población de recursos tanto naturales como tecnológicos que gastan enormes cantidades de energía, de agua, de suelo, de aire, así como de diversas materias primas de origen natural.

La edificación es uno de los productos culturales que requiere un profundo conocimiento del entorno donde se construye, el cual ha sido observado cuidadosamente, en el que se ha habitado por lapsos prolongados, generando una experiencia acumulada que se refleja en formas de concebir, materializar y utilizar la arquitectura. En ese sentido la denominada arquitectura tradicional o vernácula, es uno de los referentes más importantes para una arquitectura sostenible, pues está basada no sólo en las formas sociales que un determinado grupo humano ha desarrollado a lo largo del tiempo, sino también en el aprovechamiento de las características del territorio, de sus condiciones climáticas y, por supuesto, del uso inteligente de los recursos materiales disponibles en el lugar.

Hoy los profesionales en el ámbito del diseño de los espacios habitables deben estar comprometidos en desarrollar construcciones más amables con el entorno natural, que generen un menor impacto ambiental, pero que al mismo tiempo permitan el desarrollo de edificaciones adecuadas a los tiempos y formas de vida presente donde seguridad, confort, funcionalidad, estética o durabilidad, entre otros factores, sean parte de una arquitectura social, ambiental, económica y tecnológicamente sostenible. De allí que la investigación y desarrollo de materiales y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental se hace indispensable.

Este trabajo de investigación recoge las preocupaciones y compromisos descritos, para diseñar un sistema de construcción que recupere los principios y conceptos de la arquitectura tradicional que ha sido reconocida por su adaptación a los entornos donde se desarrolla, que represente una disminución significativa del impacto ambiental para su edificación, mantenimiento y eventual disposición, sin dejar de responder a las condiciones de habitabilidad que la sociedad actual demanda.

Un primer sistema constructivo tradicional que se utilizó como referente para el presente desarrollo experimental de una construcción de bajo impacto ambiental, es el bajareque. Se parte de la hipótesis general que este sistema puede ser la base para una construcción sistematizada, que utilice mayormente materiales de origen natural y que sea tecnológica y económicamente accesible para personas o grupos sociales de menores ingresos.

El sistema propone el uso de bambú para la fabricación del entramado y tierra, con sus respectivos elementos adicionados para su estabilización. Evidentemente el uso de estos dos materiales no es nuevo, por el contrario, hay una amplia experiencia al respecto con buenos niveles de éxito. Sin embargo, un segundo supuesto desde donde se parte es que el uso del bambú como estructura portante, hasta ahora desarrollada, requiere una importante intervención de mano de obra especializada para garantizar uniones adecuadas que hacen estable el sistema. De allí que se requiere producir otras formas de trabajar y unir el bambú

que permita la simplificación del ensamblado y por lo mismo sea más sencilla la transferencia tecnológica para grupos sociales que muchas veces desarrollan ellos mismos los procesos constructivos.

## 2 EL BAJAREQUE: CARACTERIZACIÓN DE UNA TRADICIÓN CONSTRUCTIVA

La edificación de espacios habitables con el sistema constructivo denominado bajareque tiene una dilatada historia que conviene revisar de manera general para entender su origen y evolución. Se trata de una técnica constructiva que se utiliza desde épocas prehispánicas en el caso de América y que puede describirse de la siguiente manera:

En esencia, se puede decir que el bajareque consiste en la realización de una estructura de pies derechos de madera que se empotran a la cimentación o al suelo natural, a la cual se le fijan travesaños del mismo material pero de menor sección con separaciones de entre 80 y 120 cm. Posteriormente se incorpora el tejido de varas, cañas, carrizos u otro tipo de bambúseas que, según su diámetro, se pueden entramar enteras o seccionadas en toda su longitud. Esta estructura es revestida por ambas caras con lodo adicionado con fibras vegetales en dos o tres capas sucesivas de espesor decreciente (Guerrero, 2007, p. 196).

Existen diferentes denominaciones para esta forma de construcción y que varían de acuerdo con la región donde se desarrolla. Para el caso de México se le conoce como *bajareque*, similar al de Colombia, Ecuador y Venezuela donde se escribe como *bahareque*; más al sur se encuentra la denominación de *fajina* en lugares como Uruguay, para cerrar con el término *quincha* en tierras del Perú y Chile. También en otras latitudes se desarrollaron sistemas similares denominados en estado en España y Portugal, *torchis* para el caso francés. (Rocha; Jové, 2015, p.43) o *wattle and daub* en el contexto angloparlante. Como todo sistema constructivo, existen ciertos principios generales que caracterizan y son comunes a las distintas regiones, pero de la misma manera, cada sitio incorpora matices o variantes específicas en función de los materiales o especies vegetales disponibles, a las condiciones geográficas particulares y, por supuesto, a la tradición constructiva desarrollada.

El bajareque se caracteriza por ser un muro bastante más ligero si se compara con el adobe o la tapia, pues está soportado de manera fundamental en un entramado de madera y que puede estructurarse a partir de dos variantes. Por un lado, existen sistemas de bajareque que cumplen más con una función divisoria, como es el de la casa maya, cuya estructura portante se conforma con cuatro postes con horcones, sobre los cuales se colocan los travesaños horizontales que sostendrán la cubierta. Posteriormente se emplea "...tierra en combinación con el zacate y el agua [para] conformar el embarro (pak-kancab) que se aplicará sobre el conjunto de varas verticales y darán cuerpo al muro de bajareque (colox-che')..." (Sánchez, 2007, p.56), el cual se desplanta sobre un cimiento pétreo y se amarra a los travesaños y horcones.

Sin embargo, los muros de bajareque también pueden ser concebidos y fabricados para tener una función estructural, soportando las cargas de la techumbre. Para ello el sistema se conforma con postes verticales puestos a distancias que oscilan entre los 80 cm y 120 cm, a los cuales se les colocan en ambas caras listones (o latas) horizontales a cada 15 cm o 20 cm aproximadamente. Se termina el muro rellenando el espacio entre postes y latas con una mezcla de barro y fibras. El muro se remata con un travesaño horizontal a manera de corona que recibe la estructura de madera de la techumbre y a su vez permite repartir la carga sobre el muro de una forma más homogénea. Se trata de un trabajo estructural conjunto donde:

... la tierra no constituye un simple relleno para la madera, sino que desarrolla un papel unitario en el que, al igual que sucede con el concreto armado, los esfuerzos de compresión los absorbe la tierra y el entramado de madera soporta la tracción y flexión. Al colocarse la madera tanto en posición vertical como horizontal, el entramado reparte de manera uniforme esas tensiones y garantiza la unidad estructural del conjunto (Guerrero, 2017, p.73).

Esta técnica para construir es probablemente de las más primitivas y fue aplicada prácticamente en todo el mundo. Se remonta miles de años en el tiempo y Vitrubio la describía como “La Orden que ellos siguieron al principio fue la de clavar horquillas y ramas de árboles rellenándolas y cubriéndoles con tierra gruesa para levantar paredes” (Rocha; Jové, 2015, p.100).

Se pueden encontrar diversas variantes de bajareque que dependen un tanto de su proceso constructivo como se sus detalles:

- Estructura portante principal sobre postes de madera aislados en las esquinas y en ocasiones a centro de claro, con muros conformados por rollizos de madera o caña anclados a la cimentación y a la propia estructura portante. Los rollizos, cañas o bambú son colocados de manera continua, formando una superficie unitaria, sobre la cual se embarra el lodo en ambas caras.
- Postes de madera a cada 0,80 a 1,2 m sobre los cuales se colocan listones de madera, cañas delgadas o bambú partido en ambas caras a cada 15 o 20 cm de separación. Esta estructura es posteriormente rellanada con la mezcla de tierra, en ocasiones con pequeñas piedras y guijarros.
- Otra variante consiste en colocar un entramado de listones, cañas o bambú partido al centro de la estructura de madera que es posteriormente recubierto de tierra para cubrir la estructura de madera.

La mezcla de tierra varía en función de la disponibilidad de materiales en cada región. Se busca que preferentemente tenga un contenido importante de arcilla de alta plasticidad y se le adiciona paja, u otro de tipo de fibra para mejorar su comportamiento y hacer la mezcla más estable ante los procesos de retracción y para facilitar su manejo. Esta condición permite una adecuada adherencia a los listones o rollizos de madera continuos, o entramados centrales con que caracterizan la técnica más utilizada. Pero si la tierra disponible es más arenosa, los sistemas de encestado, es decir entramados en ambas caras, permiten “contener” el relleno de tierra.

### **3 PANEL DE BAMBÚ COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

La utilización del bambú para la construcción de vivienda es una práctica creciente en ámbito de la arquitectura sostenible en todo el mundo por los beneficios ambientales que una planta de estas características aporta. Buena parte de la tecnología del bambú se concentra en las uniones y ensambles de los culmos (Hernández, 2018, p.24-26), lo que ha generado un enorme abanico de alternativas, que van desde las más tradicionales con amarres, hasta el uso de conectores de acero inoxidable de alta tecnología. En ese sentido se han logrado edificar estructuras de grandes dimensiones a base de columnas y armaduras especialmente para cubiertas para diversas tipologías arquitectónicas.

El uso del bambú para construir viviendas también ha proliferado y se maneja en combinación con otros materiales para cerrar el envolvente para dar el confort interior que se requiere en espacios habitables de uso doméstico. De allí que el muro se debe recubrir ya sea con el uso del mismo bambú de manera continua con diferentes técnicas (culmos contiguos, tejido de latas, colocación de esterillas), la aplicación de morteros a base de cemento (bambú encementado), o con morteros de tierra con la técnica del bajareque.

En el caso de la vivienda los muros requieren un mayor grado de continuidad en su superficie para evitar el paso del viento, de la lluvia, controlar la exposición al sol, disminuir los cambios bruscos de temperatura entre interior y exterior e incluso para motivos de privacidad. En tal sentido muros vegetales como la colocación de bambú en muros ofrecen menos resistencia a la penetración de factores climáticos, se deterioran también de manera más acelerada que aquellos con protección de algún tipo. Por supuesto el uso de morteros a base de cemento con tela de gallinero, han sido efectivos para garantizar una mejor

adherencia a la estructura de bambú, pero no resultan tan apropiados desde el punto de vista ambiental.

### 3.1 El diseño del panel

El panel de bambú que se propone tiene varios objetivos de orden constructivo, con el propósito principal de convertirse en una alternativa para edificar viviendas de bajo costo económico y bajo impacto ambiental. Las metas principales son las siguientes:

- En primer lugar, facilitar el ensamblado del bambú eliminando las uniones entre secciones redondas (tubulares) que requieren mano de obra especializada, a partir de cortes esencialmente rectos que pueden hacerse con herramienta de carpintería básica.
- Que el bambú sirva de estructura portante con resistencia a la flexión y tracción.
- Que se generen piezas autoportantes y moduladas para facilitar su prefabricación y ensamblado en obra.
- Que el bambú quede cubierto en su totalidad por la tierra, la cual aporta resistencia a la compresión al muro ya terminado, durabilidad ante factores ambientales y confort higrotérmico en los espacios techados.
- Que el panel ya cubierto con tierra, conforme muros convencionales de superficie reglada y ángulos rectos que son las más utilizados en la vivienda social.

### 3.2 La fabricación

El sistema se basa en el uso de culmos de bambú partidos en dos mitades, que son reensambladas por su cara convexa utilizando conectores de latas de bambú. La unión de las piezas de bambú se logra mediante tornillos autopercutorantes que facilitan y aceleran el trabajo de unión. Lo anterior da una pieza de bambú ensamblado, una suerte de polín, que puede ser acoplado con otros mediante tiras de latas de bambú que se conectan al centro de cada pieza.



Figura 1. El culmo de bambú es partido en dos mitades para ser reensambladas al juntar ambas caras convexas (crédito: J. Soria)



Figura 2. El polín de bambú ensamblado se une mediante conectores al centro y refuerzos en las cuatro caras para rigidizarlo (crédito: J. Soria)

De esta manera se fabrican paneles modulados (en este caso de 0,90 m x 2,4 m) que se conforman por polines de bambú ensamblados entre sí para formar un marco rectangular dividido en dos cuadrados, que a su vez llevan un polín en diagonal para rigidizar la pieza. Esta condición se puede lograr también a partir del tejido intermedio de latas de bambú.

Para terminar la estructura del panel se pueden utilizar algunas variantes. Una primera posibilidad consiste en colocar un tejido central de latas de bambú en cuadrícula a cada

20 cm aproximadamente y que servirá de estructura portante de la mezcla de tierra que se utilizará como relleno, dando como resultado una especie de “barro armado”, haciendo un símil con el concreto reforzado.

La otra forma posible es colocar en cada una de las caras externas un tejido en cuadrícula de latas y rellenar el espacio central con la mezcla de tierra, lo que genera un “barro contenido”. Una tercera alternativa es el uso de esterilla colocada en ambas caras del panel que da una superficie continua de apoyo, la cual es recubierta de lodo, dejando el centro vacío, es decir, dos caras de “barro flotado”.

El diseño contempla como elementos complementarios, la colocación de latas de bambú sobre las cuatro caras del polín de bambú para dar rigidez adicional a la pieza.

### 3.3 La integración del sistema

El sistema en su conjunto está constituido por piezas prefabricadas, moduladas (en este caso a partir de medidas de 0,30, 0,60, 0,90 y 1,2 metro) que se elaboran en taller, lo que permite acelerar el proceso de ensamblado y que posteriormente son colocados en obra. Cada pata del panel se fija a la base seleccionada, ya sea de manera ahogada (sea de piedra o de concreto) o anclada mediante ángulos de acero atornillados (en este caso a una cadena de concreto armado).

Para conformar un muro de las dimensiones seleccionadas, se coloca el número de paneles de 0,90 m de ancho y, en su caso, un módulo de ajuste de menores dimensiones. Los paneles se unen entre sí mediante latas de bambú que son atornilladas al centro de cada polín. Así mismo, para conformar las esquinas (todas perpendiculares), se utilizan varillas roscadas colocadas en diagonal y unidas con tuercas para ligar los paneles y configurar una cruz vista en planta, forma que rigidiza la estructura portante en este punto.



Figura 3. El panel se ensambla a partir de la unión de polines de bambú y tejido central de latas de bambú que rigidizan la pieza y soportan el embarrado (crédito: J. Soria)

La figura 4 muestra la fijación de los paneles de bambú que fijan sus pata al desplante mediante ángulos y tornillos de acero. Así mismo, se conectan horizontalmente entre sí mediante tiras de latas trabajar como una sola unidad, lo que se refuerza con polín de bambú en la parte superior como solera de arriostre

Por último, para rematar el muro, se utiliza un polín de bambú ensamblado que se conecta a los paneles con latas de bambú atornilladas en el centro y que funciona como solera de arriostre. Este elemento horizontal tiene la función de unir los paneles en su parte superior y, además, repartir la carga de la cubierta de una manera más uniforme. En este caso es

necesario colocar latas de refuerzo en ambas caras para unir panel y polín de arriostre, lo que ayudará también a evitar el aplastamiento del bambú partido al recibir la carga de la cubierta.



Figura 4. Peneles de bambú fixados (crédito: J. Soria)

Una vez terminada la estructura de bambú se procede a colocar el embarre de tierra en tres capas: la primera, al centro que cubre el entramado de latas y se embute entre los polines; las segundas capas que se aplican una en cada cara del muro, que recubre por completo el panel (y especialmente la cara cóncava del polín) y da uniformidad a la superficie; por último una capa de acabado que puede ser de barro para el caso de espacios interiores y a base de cal arena para muros de fachada exterior.

Para el caso del primer prototipo que se construyó en el Municipio de Totolapan, a 50 km al suroeste de la Ciudad de México, se empleó tierra de la localidad, la cual se caracteriza por ser notablemente arenosa. Se trata de un material conocido regionalmente como “tepetate”<sup>1</sup> que en la prueba de granulometría pasa el 26% del material por la malla #200. En las pruebas de laboratorio mostró un límite líquido de 20,3%; un límite plástico de 10,5% y un índice de plasticidad de 9,8%. Con estos datos se pudo establecer que se trata de una tierra que corresponde al tipo “SC” del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, es decir una “arena arcillosa” (Juárez; Rico, 2010, p.161).

Por tratarse de un material poco apropiado para edificar con la técnica de bajareque debido a su baja plasticidad, se realizaron varias pruebas de caracterización y compensación, añadiéndole arcilla concentrada de dos fuentes diferentes: la primera era una tierra con arcilla roja potásica y la segunda con una bentonita. Por tratarse de arcillas de alta plasticidad las proporciones añadidas fueron relativamente bajas, del orden del 5% en volumen de cada una.

Conforme avanzó la obra se pudo conseguir un tepetate de mucha mayor plasticidad y con arenas más finas en relación con la primera. De este modo la demanda de arcillas concentradas disminuyó de modo considerable.

De esta manera se integró una mezcla con tierra compensada con arcilla para tener un material lo suficientemente maleable y cohesivo para garantizar un embarado adecuado. Posteriormente, la mezcla se estabilizó con paja de avena (20 % del volumen), estiércol de caballo (5% del volumen) y agua con mucílago de nopal (aproximadamente un 18%).

<sup>1</sup> término que no pertenece a las clasificaciones edafológicas oficiales y se usa para denominar específicamente unas capas endurecidas formadas de la ceniza volcánica

La tierra por utilizar se preparaba con antelación y se dejaba “reposar” por al menos dos días antes de su embarrado sobre los paneles. Con ello se pudo observar una mejora en la consistencia y adherencia de la mezcla con relación a la que se utilizó en un principio de manera inmediata a su fabricación.

Este primer módulo experimental está diseñado para una vivienda de un nivel con dos recámaras, baño, cocina y área común. Se utilizaron paneles modulares de 0,90 m x 2,40 m que se colocaron sobre una cimentación de piedra, unida con mortero de cal-arena, confinada con una cadena de concreto armado como sobrecimiento.

El módulo se encuentra en su etapa final de construcción en la que están por aplicarse los acabados. Es importante resaltar que el sistema de techo de la vivienda utiliza una adaptación del sistema de muros, y es soportado por armaduras de “alma abierta” realizadas también con bambú seccionado longitudinalmente y reensamblado, siguiendo el procedimiento descrito líneas arriba.

#### **4 REFLEXIONES FINALES**

El desarrollo experimental de esta técnica de bajareque con paneles prefabricados de bambú ha mostrado varios beneficios, algunos que ya habían sido supuestos de inicio, pero otros surgidos durante la edificación de los muros.

El corte de bambú por mitad permite, de entrada, una mejor aplicación de un tratamiento para su conservación. Se adquirió bambú en culmos ya tratados que fueron partidos en taller, donde se pudieron observar dos fenómenos: en algunos casos el líquido de tratamiento no había impregnado en su totalidad el interior del culmo especialmente en cápsulas centrales del bambú. En la mayoría de los casos el tratamiento había penetrado, pero el proceso de secado fue deficiente y la proliferación de hongos era un síntoma evidente.

El uso intensivo del sistema constructivo propuesto, podría abrir la posibilidad para desarrollar sistemas de tratamiento que se realicen con posterioridad al corte de los culmenes y su seccionamiento en “medias cañas”. De este modo, al tener acceso a toda la superficie del bambú, el tratamiento puede ser más efectivo y monitoreado de una manera más eficiente que con los culmos cerrados.

Si bien es cierto que el bambú al ser partido en dos mitades pierde resistencia en comparación con un culmo cilíndrico –forma estructural natural– al ser reensamblado se genera una estructura en dos o tres dimensiones (dependiendo del tipo de armado final de panel) que le confiere una resistencia adecuada para soportar cargas para estructuras ligeras, siendo elementos autoportantes.

El ensamblado de un panel a base de “polines” de bambú como los aquí descritos se facilita al utilizar elementos modulados que pueden ser prefabricados en taller y luego desplazados a la obra. En el caso descrito, la capacitación de los obreros se realizó en pocos días comenzando con la fabricación de dos paneles por día con dos operarios para, alcanzar a la semana, un rendimiento de 7,5 paneles por día. Lo anterior es importante no sólo para reducir costos de mano de obra, sino que además se capacita a trabajadores no especializados en carpintería. Esto se logra al simplificar el procedimiento de ensamblado utilizando cortes rectos o en diagonal de medios culmos y latas de bambú, para después unirlos con tornillos autoperforantes mediante taladros ligeros.

La colocación de paneles prefabricados sobre el desplante permite la conformación de muros de manera rápida pudiendo colocar tres operarios, una vez capacitados, cerca de 16 paneles en un día, es decir, un cuarto de 3,6 m x 3,6 m aproximadamente.

El embarrado de tierra resultó más difícil en la capacitación, ya que involucraba hacer pruebas de las proporciones a utilizar en la mezcla. Así mismo, la técnica de bajareque requiere tierra más plástica, por lo que fue necesario “importar” arcilla para tener una mezcla trabajable y apropiada a la técnica. Al mismo tiempo, la colocación tanto de la primera como

la segunda capa de barro tuvo sus dificultades al principio, pues los albañiles de la región tardaron en “acostumbrarse” en esta tarea.



Figura 5. El embarrado inicial cubre el entramado de latas de bambú del panel prefabricado. (crédito: J. Soria)



Figura 6. Mediante capas adicionales por ambas caras se completa el muro hasta cubrir el bambú en su totalidad. (crédito: J. Soria)

Después de dos semanas de trabajo, se pudo evidenciar un trabajo más eficiente de colocación del barro, pero aun así, el tiempo invertido ha sido importante, lo que implica una elevación en los costos de mano de obra y en los tiempos de ejecución que puede ser un elemento desalentador para su aplicación. Este es un tema para desarrollar, a fin de hacer más eficiente el proceso de embarrado.

También es conveniente resaltar que la tierra que recubre totalmente la estructura de bambú, sin dejar superficies o elementos expuestos, con adecuadas acciones de mantenimiento, puede extender su vida útil como elemento portante. Esta es una cualidad invaluable del sistema pues, como es sabido, una de las principales limitaciones que a la fecha han presentado las estructuras de bambú expuestas, radica en sus procesos de intemperización que pueden, por un lado, resecar el material y generarle fisuras longitudinales, o en el polo opuesto, en climas húmedos, propiciar el desarrollo de microflora o bacterias que detonan procesos irreversibles de deterioro.

La estructura de muros a base de paneles de bambú con tierra pueden ser muy apropiados para su utilización en zonas sísmicas, pues su ensamblado genera componentes continuos, con capacidad de trabajo a la flexión, pero con la rigidez necesaria para resistir empujes horizontales, por tratarse de estructuras bien arrostradas (como armaduras de alma abierta). Esta condición desde luego va de la mano de un diseño arquitectónico apropiado de muros en dos direcciones, formas regulares y, de manera muy importante, una cubierta que permita “amarrar” la estructura para que trabaje de manera unitaria.

Los primeros resultados son alentadores en cuanto a ser una técnica de fácil manejo y capacitación, que involucra el uso de materiales mayoritariamente de origen natural con procesos de transformación que requieren poca energía y la posibilidad de edificar muros “convencionales” que, sin ser un factor de observación del presente estudio, influye en la percepción de en cierto tipo de usuarios.

Otro factor que surgió fue la posibilidad de desmantelamiento del panel, que permite incluso una recuperación total de la tornillería involucrada (reutilizable), dando la posibilidad de reciclar o reintegrar la totalidad de los materiales utilizados.

La propuesta busca disminuir el impacto ambiental y a la vez generar espacios confortables desde el punto de vista térmico, seguros ante fenómenos naturales y estéticamente atractivos, lo que el uso de la tierra y el panel de bambú prefabricado puede convertirse en una alternativa plenamente sostenible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Guerrero, L. F. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una constructiva. Revista Apuntes, vol.20, No.2. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, p.182-201

Guerrero, L. F. (2017). Pasado y porvenir de la construcción con bajareque. Gremium: Revista de restauración arquitectónica, No. 8. México. Editorial Restauro, p. 69-80

Hernández, A. (2008). El diseño sustentable como herramienta para el desarrollo de la arquitectura y edificación en México. Acta Universitaria, vol.18, No.2, p. 18-23 México: Universidad de Guanajuato

Hernández, A. (2018). Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar Caso de estudio: Estado de Veracruz. Tesis de Doctorado, México: Facultad de Arquitectura UNAM.

Juárez, E.; Rico, A. (2010). Mecánica de suelos, Tomo I, Fundamentos de la mecánica de suelos, México: Limusa.

Rocha, M.; Jové, F. (2015). Técnicas de construcción con tierra. Lisboa: Editorial Argumentum

Sánchez, A. (2007). Viviendas en la zona maya. En L. Guerrero (coord) Patrimonio construido con tierra. México: Universidad Autónoma Metropolitana. p. 47-58

## AUTORES

Francisco Javier Soria López, arquitecto, maestro en Restauración y doctor en Arquitectura. Profesor-Investigador del Cuerpo Académico "Conservación y reutilización del patrimonio edificado" (UAM-X-CA-60). Jefe del Departamento de Tecnología y Producción. División de CYAD. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Ciudad de México, CP. 04960. Tel. (55) 54837155.

Luis Fernando Guerrero Baca, Arquitecto, maestro en Restauración y doctor en Diseño. Profesor-Investigador del Cuerpo Académico "Conservación y reutilización del patrimonio edificado" (UAM-X-CA-60), Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Cátedra UNESCO "Arquitecturas de tierra, culturas constructivas y desarrollo sostenible" de CRATerre.

Ignacio Felipe Martínez Flores. Arquitecto, maestro en Reutilización del Patrimonio. Profesor Temporal del Departamento de Tecnología y Producción. División de CYAD. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Ciudad de México, CP. 04960. Tel. (55) 54837155.