

BAMBULOSA - UN SISTEMA CONSTRUCTIVO PREFABRICADO INNOVADOR Y SUSTENTABLE PARA LOSAS Y CUBIERTAS A PARTIR DE VIGUETAS DE BAMBÚ PRESFORZADAS

Mathieu Queiros, Claudia Lilián Luque Rodríguez, Verónica María Correa Giraldo, Jorge Eduardo Aguilar Rojas

Kaltia Consultoría y Proyectos S.A. de C.V., Hortensia 90, Col. Santa María la Ribera, Del. Cuauhtémoc, C.P. 06400, México D.F., México, correo: mathieu.queiros@kaltia.com.mx, tel.: 52 55 56159617

Palabras claves: Estructural, ACV, viga, prefabricado.

Resumen

Se presenta la metodología, el proceso y principales hallazgos del desarrollo tecnológico y de la validación de un sistema prefabricado compuesto por viguetas presforzadas de bambú estructural (*Guadua angustifolia*), para losas de entresijos y cubiertas. Este producto llamado Bambulosa® es uno de los componentes de un sistema constructivo para la creación de soluciones de vivienda sustentable de bajo costo. El desarrollo y las validaciones del producto se realizaron en un periodo de tres años, gracias a la colaboración de un grupo de profesionales en varias disciplinas, tales como ingeniería mecánica, diseño industrial, ingeniería ambiental, ingeniería industrial, arquitectura bioclimática, construcción y otros aspectos generales aplicados al bambú y a la innovación.

Abstract

This paper presents the method, the process and main discoveries of the technological development and validation of a prefabricated system made up of structural bamboo (*Guadua angustifolia*) pre-stressed joist, for intermediate floors and roofs of houses and low buildings. This product called Bambulosa®, is one of the components of a building system for the creation of low cost sustainable housing solutions. The development and validations of the product were realized in a three years period, thanks to the collaboration of a transdisciplinary professionals group, including areas of mechanical engineering, industrial design, environmental engineering, industrial engineering, bioclimatic architecture, construction and other general aspects applied to bamboo and innovation.

Introducción

La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) estima que México tiene un déficit de vivienda de aproximadamente 6 millones, cantidad a la que año con año se agregan presiones adicionales derivadas del incremento poblacional a un ritmo de 1.8% anual, y de la formación de nuevas familias que demandan vivienda. La problemática de las soluciones de vivienda para las esferas marginadas en México, se caracteriza por costos altos, baja calidad e innovación en materiales y sistemas constructivos con impactos ambientales altos; en contraste con las demandas, políticas

y tratados mundiales, que van dirigidos hacia mecanismos de desarrollo sustentable, exigiendo parámetros de eficiencia energética, hídrica y bajo impacto ambiental.

Es común encontrar soluciones habitacionales con escaso o nulo diseño urbano, arquitectónico biohabitacional y estructural, con tecnologías foráneas que no siempre se adaptan a las necesidades locales, y en general soluciones descontextualizadas de las necesidades locales en la perspectiva sociocultural. Dichas soluciones suelen cambiar las dinámicas sociales, produciendo de esta manera una ruptura del tejido cultural existente, además de poner en riesgo la vida de sus habitantes.

No hay posibilidad de desarrollo autónomo y armónico de las familias, lo que conlleva a una afectación a la salud física y emocional de los miembros y a la contaminación y deterioro ambiental. Los programas oficiales de vivienda existentes, están orientados al uso y aplicación de materiales comerciales (concreto y acero), cuyos costos no son accesibles a las familias de escasos recursos, además su impacto ambiental elevado.

En consecuencia, se genera una alta producción de vivienda por autoconstrucción, con graves deficiencias cualitativas y cuantitativas, debido a la carencia de asistencia técnica y a la ausencia de oferta en tecnologías alternativas de construcciones accesibles, sustentables, acreditada y de bajo costo. La autoproducción representa el 14.1% de la demanda y totaliza 161 mil 390 soluciones de vivienda para 2013.

En los últimos años a la industria de la construcción se le ha atribuido impactos ambientales asociados al cambio climático, por la generación de gases efecto invernadero (GEI) en su cadena de valor y México no es un escenario apartado. Según datos publicados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), los (GEI) derivados de los procesos industriales, se incrementaron en 102.3%, de 1990 al 2010. Este aumento se debió al crecimiento en el uso de gases fluorados, de piedra caliza y dolomita, como la producción de cemento. En 2010 las fuentes que más contribuyeron a las emisiones de CO₂ fueron: la producción de cemento, con 47.5%, el uso de piedra caliza y dolomita, 29.6%, producción de hierro y acero, 12.1%, y otros elementos. Además de presentarse problemas asociados, reúso y/o reciclaje, de los materiales de construcción.

Por lo anterior este proyecto busca aportar soluciones tecnológicas de bajo impacto ambiental y concretas en materia de vivienda social para una digna autoconstrucción, con estrategias que detonen un mercado ágil para el sector de la construcción, a través de la creación de un sistema constructivo a partir de prefabricados, para las familias localizadas en zonas semiurbanas y rurales de regiones productoras de bambúes leñosos.

Descripción del producto

El sistema constructivo Bambulosa® consiste en un sistema prefabricado a base de viguetas compuestas presforzadas de bambú y elementos de acero que sirve como sistema de soporte a una cubierta conformada por una o varias capas con funciones estructurales y/o estéticas (diafragma resistente y acabados superior e inferior). Es una alternativa sustentable para la construcción de

losas y cubiertas, con costo competitivo en el mercado, óptimo desempeño estructural, térmico y acústico; alta durabilidad y bajo impacto ambiental.

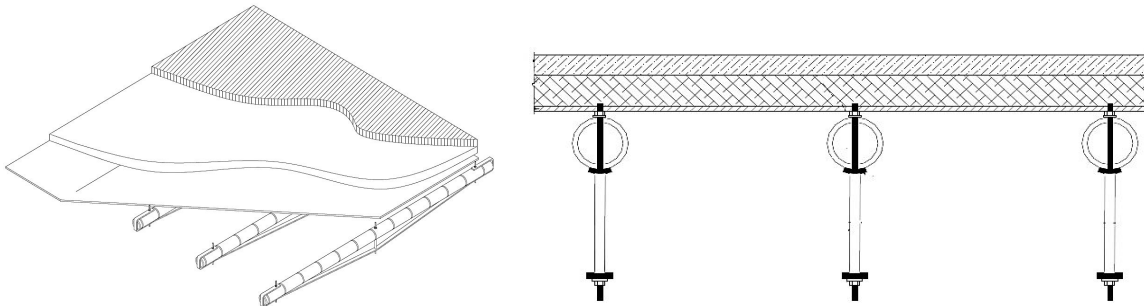


Figura 1. - Vista isométrica y transversal del sistema

Desarrollo del producto

En la figura 2 se muestra la secuencia del desarrollo tecnológico del sistema Bambulosa, el cual se desarrolló durante un periodo de tres años, gracias a la conjunción de varias disciplinas tales como la ingeniería mecánica, la ingeniería ambiental, la ingeniería industrial, la arquitectura bioclimática y la construcción.

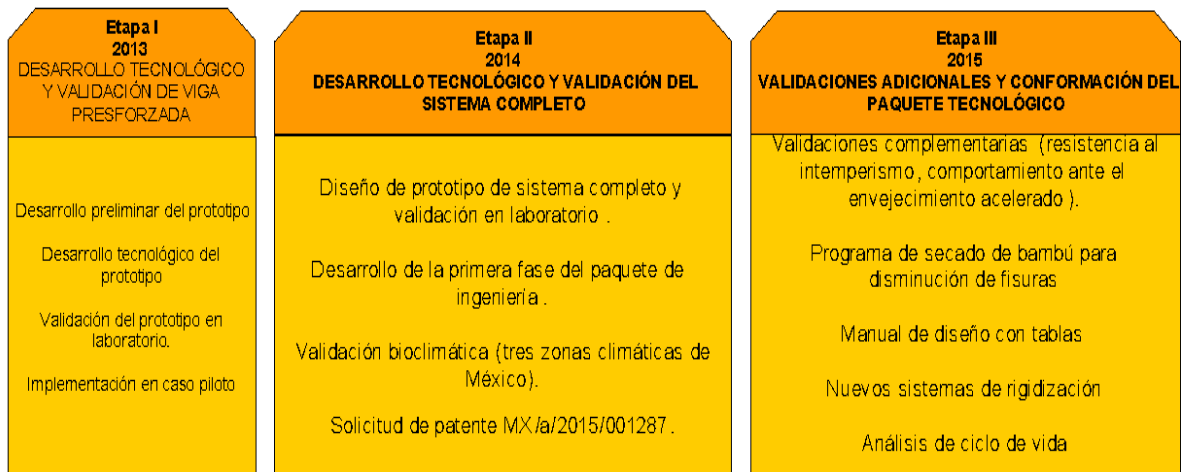


Figura 2. - Secuencia del desarrollo tecnológico

Validación estructural

Se realizaron varias validaciones del comportamiento estructural de las vigas presforzadas, mediante la generación de 20 prototipos y más de 140 ensayos en total, hasta encontrar el óptimo comportamiento estructural, gracias a la colaboración de la Universidad Autónoma Metropolitana, sede Azcapotzalco, en la Ciudad de México.

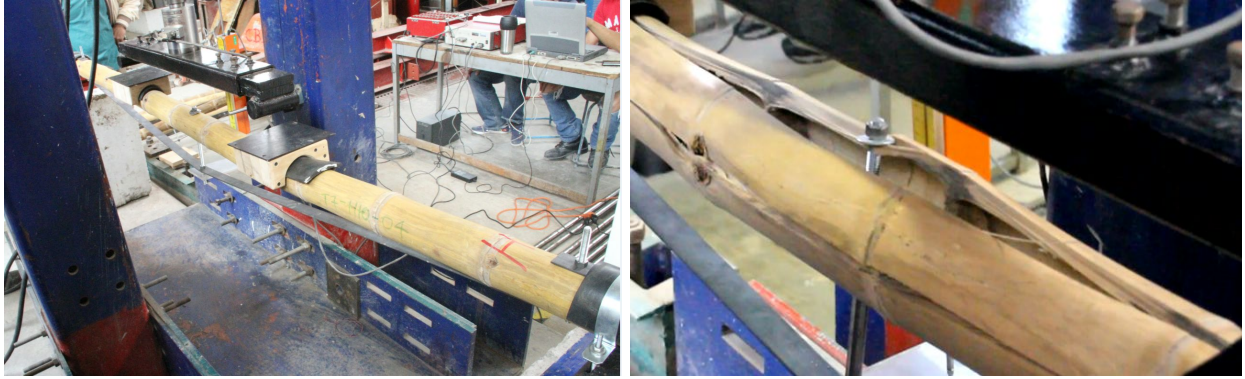


Figura 3. - Fotos de ensayo estructural en laboratorio y una falla

Para la optimización de los prototipos se realizó un análisis de los diferentes tipos de falla, también se analizaron las resistencias y las rigideces de los prototipos, de tal manera que se logró aumentar 4 veces la resistencia y 5 veces la rigidez comparando uno de los prototipos óptimos con resultados típicos de ensayos de culmos de bambú sometidos a flexión.

De estas pruebas de laboratorio se obtuvieron ecuaciones y tablas de diseño estructural, que permiten realizar el diseño de losas de entrepisos y cubiertas utilizando este sistema constructivo y cumpliendo con los requerimientos del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias. Actualmente el producto cuenta con un manual de diseño que se compone de la descripción del sistema estructural, un resumen del proceso de fabricación, recomendaciones de almacenamiento e instalación del sistema, tablas de diseño estructural, detalles de conexiones, un análisis de costos, un ejemplo de diseño estructural del sistema y un resumen del estudio bioclimático con recomendaciones.

Además de la validación de los prototipos de viguetas, se realizaron ensayos de laboratorio del sistema completo (vigüeta + cubierta) con la colaboración del Instituto de Ecología en Xalapa, Veracruz. Igualmente se realizó un estudio de los tipos de falla y de la resistencia.



Figura 4. - Foto de un ensayo de una vigüeta con una cubierta de concreto de 5cm de espesor.

El sistema constructivo Bambulosa® ya ha sido instalado en algunas edificaciones, en varias partes del país, como por ejemplo en una casa comunitaria en San Pedro Apóstol, Oaxaca, en el centro regional deportivo y cultural Ocotelulco en Totolac, Tlaxcala, así como en el pabellón del agua, en el Centro Cultural Helena Poniatovska, Delegación Magdalena Contreras en la Ciudad de México.



Figura 5. – Sistema Bambulosa® en el Pabellón del agua, Centro Cultural Helena Poniatovska, Del. Magdalena Contreras, Ciudad de México

Identificación de impactos ambientales del producto Bambulosa® por medio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Se desarrolló un análisis de ciclo de vida al producto Bambulosa® con el fin de identificar cuantificar y evaluar los impactos ambientales potenciales, que pudiera generara el producto en su proceso de producción; considerando, las etapas de generación de materia prima, fabricación del sistema y transporte a la obra, con lo que se tiene un análisis de la cuna a la tumba (ISO 14040:2006), se tuvieron que calcular escenarios futuros, para las etapas de uso y mantenimiento, por un periodo de 60 años, al igual que para la disposición final del producto. Cabe aclarar que las modelaciones fueron necesarias porque el sistema no posee registros de antigüedad y comportamiento mayores a un periodo de 2.5 años, dada su reciente creación.

El estudio de ACV sigue la norma internacional ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, y sus equivalentes en México son las NMX-SSA-14040-INMC-2008 y NMX-SSA-14044-INMC-2008. Este método es reconocido a nivel mundial y es una herramienta importante para los fabricantes, ya que aporta información sobre el desempeño ambiental del producto, e información clave para la formulación de planes y programas ambientales, implementación de sistemas de ecoeficiencia, ecodiseño, eco-etiquetado y declaraciones ambientales tipo III.

En las gráficas que aparecen a continuación se presentan los resultados de la evaluación de impacto del ciclo de vida del producto (EICV).

En un primer escenario se modeló el producto para ser usado en interiores por sus acabados, que en específico son: linaza, limos y trementina, un primer alquidámico anticorrosivo y un protector con efecto fungicida para acabados y protección de madera; estos materiales se definieron después de realizar pruebas de intemperismo durante 1 año en las instalaciones de Kaltia, para identificar su comportamiento en el sistema. De igual manera se realizaron las mismas pruebas para definir los acabados para exteriores y las cantidades usadas que se evaluaron fueron las correspondientes a 60 años de uso y mantenimiento, que es la vida útil promedio atribuida a elementos constructivos.

El escenario calculado para el fin de vida útil del sistema Bambulosa®, está asociado a criterios de ciclo de vida abierto, ya que las salidas del sistema son 0. Este término es usado cuando los componentes del producto harán parte de otro producto, recuperando en un 90% el total de los materiales que hacen parte del sistema original, para transformarse en nuevos productos, tomando en cuenta los transportes de los materiales a las zonas de recuperación.

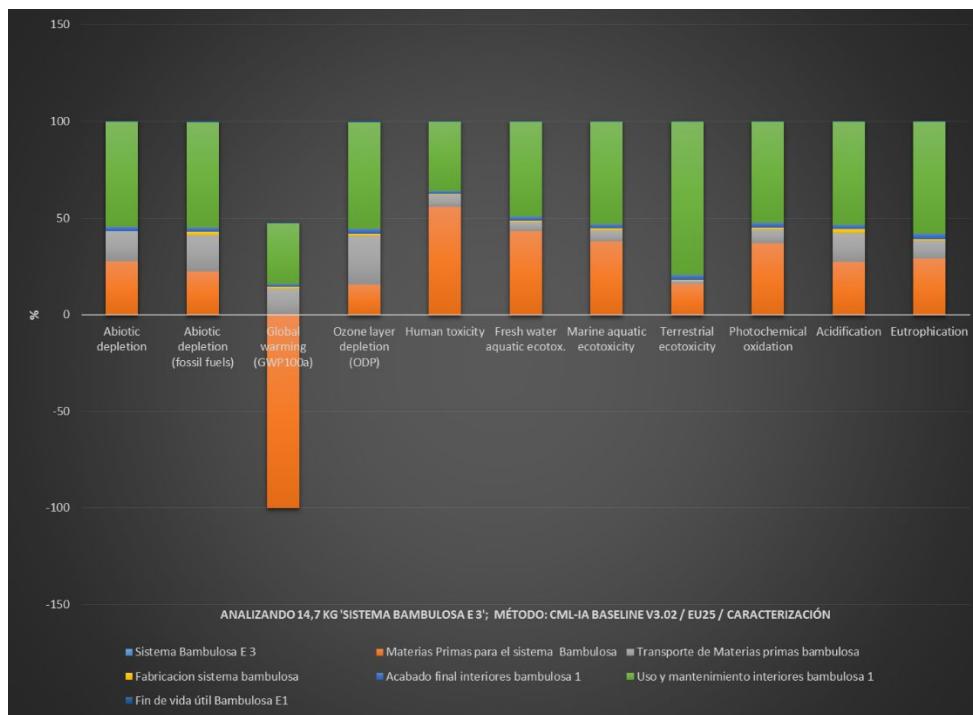


Figura 6. – EICV con acabados para interiores

Los datos arrojados mostraron que durante el ciclo de vida del producto los impactos ambientales de mayor peso son los atribuidos a las etapas de uso y mantenimiento del sistema, mientras que el uso de diversos acabados como pinturas y aceites etc. El fin de vida útil y el transporte son aspectos de mediana relevancia, los cuales se espera sean mitigados mediante el uso de acabados sustentables, la generación de materias primas cercanas a las áreas de construcción y una estrategia de recuperación, reúso y reciclaje del sistema de viga; es importante resaltar que la barra mostrada de manera negativa se refiere a la fijación de carbono de la guadua angustifolia en su periodo de crecimiento, fijando 112.92 Kg de carbono, para un tramo de 6 m de longitud de

culmo aprovechable (cepa, basa y sobrebasa), que es la medida en la que se compra la materia prima (bambú) para fabricar vigas de bambulosa.

Según los resultados, el uso de *Guadua angustifolia* es conveniente en términos ambientales, por sus bajos impactos en el proceso de extracción y sus beneficios en la captura de CO₂ y fijación de carbono; pero se considera que es sustentable siempre y cuando se respete la regla de aprovechamiento del 40% de las plantas por hectárea, con el fin de asegurar que los procesos de rebrote y fijación de carbono sean continuos.

En la etapa de ciclo de vida correspondiente al uso y mantenimiento, es donde más se identifican los impactos ambientales potenciales, originados por el uso de pinturas y selladores que producen compuestos orgánicos volátiles (VOC). Actualmente Kaltia realiza una investigación de intemperismo sobre culmos de diferentes especies de bambú, recubiertos con pinturas, aceites y acabados orgánicos, ecológicos y biodegradables, sin plomo y sin emisión de VOC, para interiores y exteriores.

Finalmente, es de resaltar que la estructura, en su fin de vida útil, no puede ser demolida de manera abrupta, el desensamble cuidadoso de las vigas daría oportunidad para reciclar un gran porcentaje de sus componentes, como el acero y el mortero. En el caso del bambú, se pueden fabricar un sinnúmero de productos, usando el culmo desensamblado, sobre todo en el área de producción de muebles.

Referencias

INECC. (2010). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*. Mexico D.F: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Obtenido de www.inecc.gob.mx

Kaltia Consultoría y Proyectos. (2014). *Informe técnico del proyecto Desarrollo tecnológico y validación de prototipo de sistema prefabricado para losa de entrepiso y cubierta con Bambú estructural*. Programa de estímulos a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación 2013. Proyecto 197085.

Kaltia Consultoría y Proyectos. (2015). *Informe técnico del proyecto Desarrollo tecnológico y validación de prototipo de sistema prefabricado para losa de entrepiso y cubierta con Bambú estructural Etapa II – Sistema completo*. Programa de estímulos a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación 2014. Proyecto 211300.

