

Bambú Guadua en puentes peatonales

Fecha de recepción: 04/05/2009

Fecha de aceptación: 20/06/2009

Virginia Carmioli Umaña¹

Estas innovadoras construcciones no solo permiten cruzar ríos y carreteras sino que muestran la competitividad de este material en la ingeniería ecológica.

Palabras clave

Bambú, Guadua, puente, peatonal, ingeniería ecológica, cercha, arco, compresión, tensión, tracción.

Key words

Bamboo, Guadua, pedestrian bridge, ecological engineering, fence, arch, compression, tension, traction.

Resumen

Cuando se habla de puentes peatonales en bambú es conveniente estudiar de cerca las últimas obras que se producen en Colombia. Estas innovadoras construcciones no solo permiten cruzar ríos y carreteras sino que muestran la competitividad de este material en la ingeniería ecológica (Figura N.º1). La propagación de este tipo de construcciones por todo el país denota que la Guadua ya forma parte de la cultura colombiana y de un estilo fresco y propio que ha dejado de relacionarse solo con pobreza o construcciones de interés social. Además, se deja en evidencia que este material es una opción perfectamente viable para un país que, como el nuestro,

está expuesto a avalanchas, inundaciones y sismos.

A pesar de que en un principio los puentes peatonales se construyeron para acortar distancias y superar barreras naturales, en las últimas décadas también se han convertido en una necesidad para la seguridad del transeúnte que está inmerso en un desmedido crecimiento urbano. Sin embargo, y aunque existan diferentes alternativas para responder al mismo problema, casi todas ellas se posponen porque comúnmente requieren de inversiones a nivel estatal.

Este artículo trata de una técnica constructiva que proviene inicialmente de los indígenas suramericanos. A pesar de que estuvo olvidada por varias generaciones, esta técnica, ahora renovada, trae consigo múltiples beneficios. La inyección de concreto en los entrenudos del bambú permite desarrollar obras más acordes a las exigencias actuales, puentes con luces más amplias y, sobre todo, construcciones de bajo impacto, accesibles a los recursos económicos de pequeñas comunidades o empresas privadas.

1. Profesora-investigadora del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial. Correo electrónico: vcarmioli@itcr.ac.cr

Abstract

When you speak of bamboo pedestrian bridges, it is convenient to study the latest works produced in Colombia. These innovative constructions not only make it possible to cross rivers and roads but to highlight the competitiveness of this material in ecological engineering (Figura N.º1).



Figura N.º 1. Puente sobre la Avenida Libertadores y Rotonda Arnulfo Briceño, Jörg Stamm.

The spread of this type of construction throughout the country shows that Guadua is already a part of the Colombian culture with its fresh and proper style no longer linked to poverty or social interest projects. Furthermore, it shows that this material is a perfectly feasible option for a country, such as ours, which is exposed to landslides, floods and seismic movements.

Despite the fact that at first pedestrian bridges were built to shorten distances and overcome natural barriers, in the last decades they have become a necessity for the safety of pedestrians buried in an uncontrolled urban growth. However, and

although there are different alternatives to the same problem, almost all of them are postponed because they normally involve investment from the State.

This article deals with a technical construction which initially originated with the South American indigenous populations. Despite the fact that it was forgotten by several generations, this already renewed technique brings with it multiple benefits. The injection of concrete in the bamboo's knots makes it possible to develop works that are more aligned to the current demands, bridges with broader lights and above all, low impact constructions accessible to the economies of small communities or private companies.

Introducción

La utilización de bambú como material de construcción se remonta a la época de los incas que ya contaban con puentes colgantes de diseños avanzados. También los indígenas paeces de Colombia demostraron ser verdaderos maestros en la construcción de puentes, pues lograron combinar el arco falso hecho con guadua, con tirantas del mismo material. Estas últimas las trabajaban a tracción amarrándolas a pilotes o árboles del lugar.²

Todo este conocimiento indígena sigue vigente en la actualidad y es a ellos a los que se recurre cuando se necesita reemplazar algún elemento constructivo. Sin embargo, los tiempos han cambiado y se ha iniciado una nueva era, con construcciones más grandes e innovadoras. La utilización del bambú con mortero es una técnica que amplía las posibilidades constructivas con luces más largas y mayores cargas a compresión.

2. Stamm, J. Guía para la construcción de puentes en Guadua. Proyecto UTP-GTZ. Pereira, Colombia, 2001

Este nuevo amanecer para la *guadua* inició en Colombia después de la avalancha del río Páez en 1994. Este río ubicado en el territorio del Cauca, se llevó todo lo que tenía por delante, incluyendo un puente en Belalcázar construido por los indígenas de la zona.

El daño causado a la infraestructura de caminos y puentes fue tan devastador que no había forma de llevar material para comenzar la reconstrucción. La pérdida de vidas humanas y materiales fue sumamente cuantiosa y comparable a la que tuvimos en nuestro país el 8 de enero del 2009 en (Cinchona y Vara Blanca). Volviendo al caso colombiano, el bambú *guadua* crecía abundantemente en las laderas de la comarca. A partir de este triste episodio, la comunidad se armó de coraje y le hizo frente a la tragedia. Se comenzó a utilizar la *guadua* para puentes peatonales y se reactivó la economía del lugar. Los primeros y más beneficiados fueron los campesinos, pues pudieron movilizarse a caballo y llevar sus productos al mercado.

En la actualidad, las carreteras de alto tránsito provocan un aislamiento antinatural entre las comunidades cercanas, por eso muchas veces se pierde el acceso a los servicios básicos o la interacción entre pobladores de la misma localidad. El desmedido privilegio que se le ha dado al tránsito vehicular está encerrando al ciudadano en espacios cada vez más estrechos y menos saludables, donde el hecho de caminar se vuelve más riesgoso e incómodo que transitar en automóvil. Otro caso frecuente y de interés para nuestra sociedad son los niños pequeños que se trasladan desde su hogar a los centros educativos. Esta situación es muy riesgosa para los pequeños, pues en la zona urbana deben atravesar carreteras congestionadas de automóviles y en la zona rural se enfrentan a depresiones y ríos.

Puentes de Guadua

La idea de construir un puente de bambú viene ligada al empleo de materiales de la zona, maquinaria manual de bajo costo, pocos trabajadores y, sobre todo, una obra sin contaminación ambiental o destrucción de bosques. En otras palabras, es una opción económica, ecológica y, al mismo tiempo, educativa porque un trabajador que aprende a construir con bambú tendrá la posibilidad de ejercer este oficio con recursos propios.

Para el diseño de este tipo de puentes no existen recetas porque cada caso tiene sus propias características funcionales, geológicas y topográficas.

Como el bambú es un material natural, sus cañas no pueden ser idénticas y, por lo tanto, el material se escoge y se separa en grupos de acuerdo a su diámetro y longitud. Por ejemplo, las cañas más gruesas y derechas se utilizan para los postes y diagonales a compresión mientras que las intermedias se dejan para las diagonales tensionadas y correas. Las que tienen alguna curvatura se aprovechan en los arcos y barandales, y las que tienen más de dos curvaturas se dejan para los *pie de amigo* o para los rieles del piso chorreado.³

En general las *guaduas* que se utilizan en los puentes son largas y flexibles porque se acostumbran arquear hacia arriba, de esta forma la curvatura convexa hace que se neutralice la flexibilidad del bambú. En las orillas o en los extremos del puente, las *guaduas* se tensionan entre rocas, piedras o cimientos de concreto. La estructura habitualmente está conformada por grupos de 5 a 8 *guaduas* que se colocan de forma alternada con el extremo grueso o el delgado.⁴

Cuando el diseño del puente tiene vigas demasiado largas y la longitud de las

3. Stamm, J. Guía para la construcción de puentes en Guadua. Proyecto UTP-GTZ. Pereira, Colombia, 2001.

4. [en línea] Disponible en: <http://www.luguiva.net/documentos/detalle.aspx?id=72&d=6> [2009, 17 de enero].

guaduas es insuficiente, se deben unir *cepa* con *cepa*⁵ o *cola* con *cola*⁶ e introducir al final de ambas una varilla longitudinal que las sujete (Figura N.º2). Esta unión se rellena posteriormente con mortero.

Por otro lado, cuando se construye una viga compuesta por varias hileras de guaduas hay que ubicar la unión entre ellas de forma traslapada, como se pegan los ladrillos de construcción. Para que un grupo de guaduas se comporte como una viga compuesta o arco, es necesario, además, amarrar todas las piezas a través de tornillos perpendiculares cada 1,5 a 2,0 metros (Figura N.º3). Este refuerzo es independiente del que se hace cuando la unión entre guaduas es longitudinal, pero, en general, todos los entrenudos que

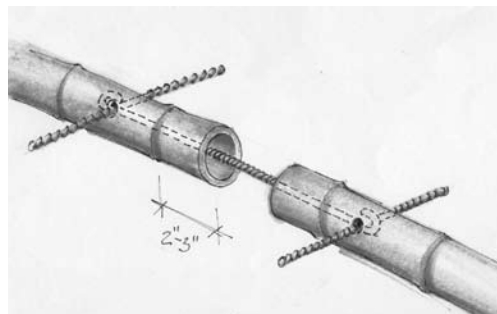


Figura N.º 2. Unión de guaduas longitudinalmente.

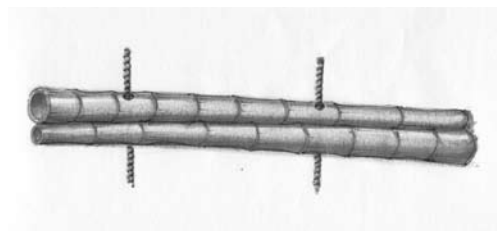


Figura N.º 3. Unión de guaduas transversalmente.

5. Cepa es la parte más baja y gruesa del bambú.
6. Cola es la parte más alta y delgada del bambú.
7. [en línea] Disponible en: <http://puentemedellinregionalquindio.blogspot.com/2008/09/los-puentes-en-guadua-construidos-en.html> [2009, 24 de marzo].
8. Stamm, J. Guía para la construcción de puentes en Guadua. Proyecto UTP-GTZ. Pereira, Colombia, 2001.

contienen tornillos se rellenan con mortero para evitar el aplastamiento. No obstante, este detalle constructivo añade sobrepeso a la estructura, pero, aunque es la única opción implementada, no parece ser la solución óptima.⁷

Diseño estructural

El diseño de la estructura puede aumentar o reducir la deflexión de una viga; por ejemplo, dos guaduas puestas una al lado de la otra horizontalmente (Figura N.º6), se flexionan la mitad de lo que se flexionaría si la guadua estuviera sola (Figura N.º5). Pero dos guaduas unidas verticalmente (Figura N.º7) reducen esa flexión a la mitad. Estos sencillos pero lógicos y eficientes conceptos son la base del cálculo que se debe contemplar para realizar el diseño estructural.

Las cerchas son las estructuras más utilizadas en la construcción de puentes, pero su diseño se debe realizar cuidadosamente porque en sus elementos se genera gran cantidad de esfuerzos que trabajan tanto a compresión como a tensión.

Estas estructuras se construyen, por lo general, con una contraflecha, ya que con ella se obtiene una especie de arco que compensa en algo el inevitable asentamiento del armazón (Figura N.º4). Recordemos que la estructura se diseña buscando el equilibrio de fuerzas, por ejemplo, una viga en cercha de Rey deflacta menos que una viga simple y, bajo las mismas condiciones de luz, la deflexión se puede minimizar aún más con una viga tipo celosía (simple o doble) o con una viga tipo arco y celosía.⁸

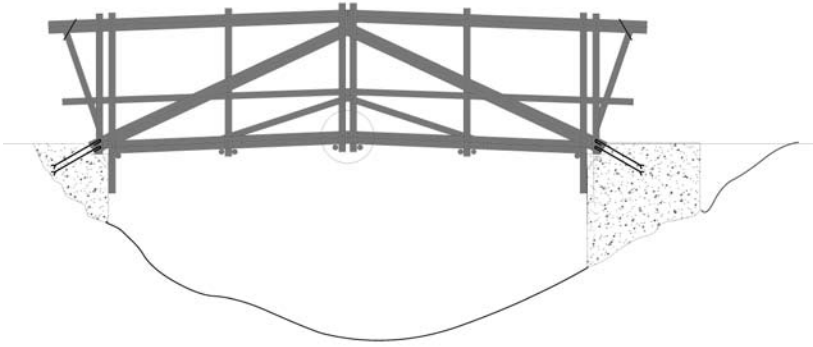


Figura N.º 4. Vista Frontal de la Contraflecha en un puente de Jörg Stamm.

La cercha “Rey” se utiliza de forma simple en puentes pequeños mientras que para luces de hasta 20 metros se puede emplear el “Rey” cruzado o “Howe”. Sin embargo, para puentes más largos, como el de la Universidad Tecnológica de Pereira (40 m), es recomendable combinar el Howe con un arco de carga. La ventaja de la cercha es que tiene la posibilidad de ser construida a través de módulos idénticos, por eso una cercha de 20 metros se puede hacer con 4 módulos de 5 metros de longitud cada uno (Figura N.º8).

El diseño empleado para la construcción de puentes más largos incluye la cercha de módulos con el arco de carga que, por lo general, esta conformado por 4 a 6 guaduas en forma de racimo (Figura N.º9). Cuando el arco es el elemento principal de la estructura, se trata de aprovechar las ventajas a compresión que tiene el bambú, basándose en las últimas investigaciones colombianas que han ratificado su empleo en esta condición.⁹

En un puente de bambú es común hablar de *arco de carga*, *arco de piso* y *arco de barandal*. (Figura N.º10) Todos ellos comúnmente se unen en el chaflán del estribo, sin embargo, la construcción de un puente se realiza en un inicio, en el suelo.

9. [en línea] Disponible en: <http://puentemedellinregionalquindio.blogspot.com/2008/09/los-puentes-en-guadua-construidos-en.html> [2008, 23 de noviembre].

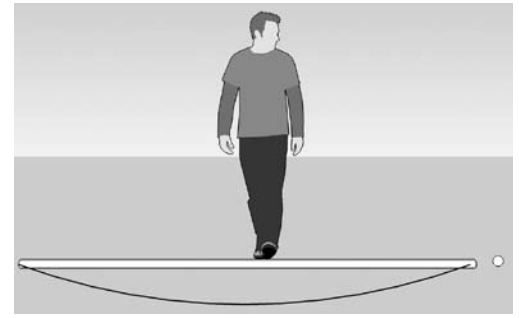


Figura N.º 5. Deflexión con una guadua.

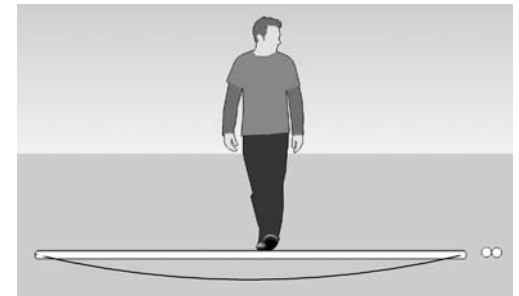


Figura N.º 6. Deflexión con dos guaduas unidas horizontalmente.

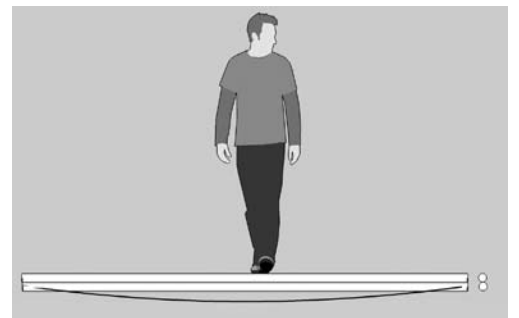


Figura N.º 7. Deflexión con dos guaduas unidas verticalmente.

Se trazan las cotas y los ejes, luego se preparan los arcos compuestos por varias guaduas. Después se encajan las diagonales en los respectivos arcos y, finalmente, se colocan los postes principales y los postes auxiliares que sirven para estabilizar el pandeo lateral del arco principal.

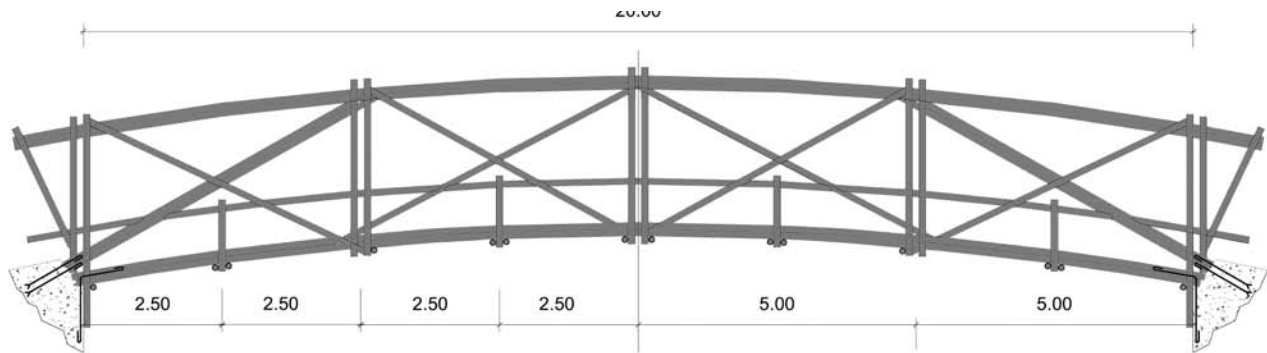


Figura N.º 8. Cercha Rey cruzado en un puente de Jörg Stamm.



Figura N.º 9. Arco compuesto por 6 guaduas. Jörg Stamm.

Para concluir, se procede a instalar los arcos en forma de sándwich.

El cálculo estructural debe contemplar las diferentes cargas que interactúan en un puente, desde el peso propio de la estructura, hasta las cargas correspondientes a las personas, el viento o un eventual terremoto. En síntesis, se habla de cargas vivas y ocasionales, estas últimas se relacionan con la carga muerta de la estructura, pero pueden, en determinado momento, afectar la configuración del puente porque trabajan a compresión en barlovento (entrada de viento) y succionan la estructura en sotavento (salida de viento). En los puentes de bambú, la carga permanente no sólo incluye el peso propio del material, sino de todos los demás elementos, como el concreto, las platinas y los pernos, además del entrepiso y la cubierta. Es importante recordar que en las zonas rurales los puentes peatonales pueden ser utilizados para trasladar ganado y por eso es indispensable el cálculo de un ingeniero estructural, pues un rebaño puede llegar a pesar más que un automóvil.¹⁰

Este profesional no trabajará simplemente con los límites o los extremos que puede

10. Stamm, J. Guía para la construcción de puentes en Guadua. Proyecto UTP-GTZ. Pereira, Colombia, 2001.



Figura N.º 10. Arco de carga y arco del barandal. Puente en Cúcuta, Jörg Stamm.

soportar el material, sino que estará en capacidad de calcular las deformaciones que mantienen una seguridad aceptable. Es decir, con el valor que determinan los códigos, tales como el *esfuerzo admisible*.

Para terminar con este apartado debemos recalcar que las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente contemplan el diseño de casas de uno y dos pisos en bambú, pero los puentes no son considerados en ninguna de las normas de diseño estructural. Por esta razón han surgido grupos de investigación para determinar las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia*. Tanto en la Universidad Nacional de Colombia, como en los departamentos del Quindío y Caldas, se han realizado estudios para determinar la resistencia a la compresión paralela a la fibra, la tensión perpendicular a la misma,

el esfuerzo de compresión admisible bajo diferentes combinaciones de carga y el módulo de elasticidad.¹¹

Sin embargo, en todo momento se debe recordar que una construcción antisísmica no necesariamente tiene que ser rígida, pero sí debe resistir las ondas de choque que la pueden flexionar en diferentes direcciones. Por ser tan liviano, el bambú tiene la ventaja de que se mueve al ritmo que se mueve la tierra y por eso en Colombia lo catalogan como un material “sismo-indiferente”, en otras palabras, “antisísmico”.

Puente de Cúcuta, Jörg Stamm

Para ilustrar este artículo hemos considerado de mucho provecho traer a colación el último trabajo del constructor de puentes Jörg Stamm. Este alemán radicado en Colombia ha sabido combinar la carpintería alemana con las técnicas tradicionales de la construcción con *guadua*. Stamm fundamenta su diseño en los puentes atirantados de los indígenas suramericanos, en las membranas de Otto Frei y en la arquitectura de Frank Gehri. Pero, sobre todo, debemos reconocer que en su obra hay más trabajo que inspiración, porque su vasta experiencia en construcción de puentes es la que le ha llevado tan lejos en esta travesía. Stamm aprovecha las características físicas de la *guadua* y en especial su flexibilidad para la construcción de formas geométricas que serían muy complicadas de lograr en materiales industriales. Es así como ha logrado posicionar la *guadua* en un nivel mucho más contemporáneo y acorde con su belleza natural, tal es el caso del puente

11. Takeuchi, Patricia, González, César E. [en línea] Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2343080> [2008, 13 de octubre].

ubicado en Cúcuta, ciudad fronteriza con Venezuela. (Figura N.º11)

Este puente ha llegado a consolidarse como un símbolo para la población y hace un llamado a la reforestación de la *guadua* como una salida provechosa para Colombia.

Antes del puente en Cúcuta, Stamm construyó muchos otros en diferentes partes del mundo, de los que se destacan el de la Universidad de Pereira (40 m),¹² el de Tierradentro (30 m), el de Salvajina, el del Liceo Francés (52 m) y el Green School en Bali (22 m).

En el puente de Cúcuta participaron el ing. Oscar Montoya, el maestro de obras Israel Collazos y un total de ocho trabajadores que laboraron durante solo tres meses. El

primer mes se destinó para la construcción de los estribos, el segundo para la estructura en *guadua* y en el último mes se instaló la lona. En septiembre del 2008 el puente estuvo terminado, pero su inauguración debió esperar hasta diciembre del mismo año, porque los trabajos de jardinería no estuvieron listos hasta entonces.

El puente fue cubierto con lona importada de Francia, cuya vida útil se estima en aproximadamente 25 años. Se trata de un material de PVC conocido como Ferrari 702 que tiene protección UV. Como dato curioso cabe destacar que este material no se ensucia, porque él mismo repele la mugre. Su utilización va más allá del aspecto funcional, pues a nivel cromático contrasta con el bambú y sintetiza la unión entre lo natural y lo moderno.



Figura N.º 11. Puente en Cúcuta, Colombia. Detalle de las tirantas, Jörg Stamm.

12. Seminario Taller diseño y construcción de puentes en Guadua. [en línea] Disponible en: <http://www.utp.edu.co/facultad/ambiental/guadua/html/puente.htm> [2009, 20 de abril].

No se trata de competir con otros materiales más duraderos, pero sí de ser pro-activos y de resolver nuestros problemas con los recursos que tenemos disponibles. Recordemos que cualquier infraestructura urbana requiere de elevadas inversiones que pueden durar meses o hasta años para su tramitación, mientras que el bambú se puede usar como material temporal y de bajo impacto.

Los detalles técnicos de esta membrana le correspondieron al Ing. Gerardo Castro, quien es un reconocido experto en el tema por sus trabajos en América del Sur.¹³

En relación con la estructura de concreto, el puente tiene dos bases y un muro de contención. Como cualquier obra de ingeniería en materiales convencionales, el puente también debió cumplir con las normas básicas de resistencia y durabilidad, es decir, con una vida útil de al menos 30 años. Por esta razón el Ing. Herman Lehmann, quien tuvo a su cargo el cálculo estructural, mandó probar la estructura durante la construcción con una carga de 12 toneladas. Las pruebas de resistencia se hicieron con barriles llenos de agua y los resultados demostraron que el arco bajó solo 3 cm en los 31 metros de luz que tiene el puente. La carga simétrica de 450kg/m² (exigida para puentes peatonales), se probó en un tercio de la superficie en donde surgió una deformación de 9 cm. Sin embargo, ambas curvas regresaron a su forma original luego de dichas pruebas.

Según datos suministrados por Jörg Stamm, el puente cumplió con la regulación colombiana y tendrá la capacidad para soportar una carga viva equivalente a 40 personas. Antes del test también se realizaron pruebas de ajuste para prevenir la mordedura que tienden a hacer las roscas de los tornillos.

Es importante recalcar que a nivel estructural, el arco es el elemento principal de este puente. Visualmente parece que los cables de bambú son los que mantienen suspendido el puente, pero en realidad el 90% de su carga es absorbido por el arco y prueba de ello es que el test de resistencia se hizo sin los cables tensores de las torres.

Para la construcción del puente se utilizaron 600 guaduas de 10 a 14 cm de diámetro y de 6 a 10 m de largo, que corresponden a la cosecha anual de una hectárea. La materia prima fue seleccionada minuciosamente y preservada contra insectos, con métodos no tóxicos para los humanos. El costo aproximado de la obra (2008) en dólares americanos fue de \$50.000 para la infraestructura de concreto que consistió básicamente en los estribos y en los accesos, \$50.000 para la estructura de bambú y la misma cantidad para la membrana.¹⁴

El puente pesa 130 toneladas, tiene 31 metros entre los apoyos principales y 29 metros entre los apoyos auxiliares. El proceso de diseño se fundamentó en la construcción de varias maquetas hasta que se llegó a la propuesta final.

Para concluir, es importante señalar que esta obra es una muestra de ingeniería ecológica donde la experiencia constructiva de Jörg Stamm se conjuga con la competitividad del bambú *guadua*.

Conclusión

Los puentes peatonales hechos con bambú no solo protegen y dan seguridad a las personas que circulan por ellos, sino que, al mismo tiempo, añaden ese calor y contacto con la naturaleza que falta tanto en nuestras ciudades.

No se trata de competir con otros materiales más duraderos, pero sí de ser pro-activos y de resolver nuestros problemas con los recursos que tenemos disponibles. Recordemos que cualquier infraestructura urbana requiere de elevadas inversiones que pueden durar meses o hasta años para su tramitación, mientras que el bambú se

13. [en línea] Disponible en: www.castrorojas.com [2008, 15 de diciembre].

14. Datos suministrados por Jörg Stamm.

puede usar como material temporal y de bajo impacto. En época de crisis, cuando las poblaciones han quedado incomunicadas, cuando los daños son tan cuantiosos que la ayuda estatal tarda en llegar, debemos pensar en opciones alternativas de bajo costo y fáciles de construir.

La información aquí suministrada deja en evidencia que los puentes de bambú en su larga trayectoria han demostrado ser muy resistentes y duraderos.¹⁵

Bibliografía

- Carmioli, V. (1998). *Muebles en bambú. Phyllostachys áurea, manual de construcción*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Carmioli, V. (2005). *Bambú Guadua, Documental (DVD) y Manual Técnico (CD)*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia.
- Castillo, F. (1987 enero-febrero). Tecnología de construcción: El bambú una alternativa para vivienda de bajo costo. *Noticias*. INA.
- Chávez, Ana C. (1985). Uso del bambú en la construcción. *Desarrollo: Tribuna para una política científico tecnológica*.
- Dunkelberg, K. (2000). *IL 31 Bamboo as a building material*. Karl Krämer Verlag, Stuttgart.
- García, R. (1985). La gran opción para la vivienda. *Desarrollo: Tribuna para una política científico tecnológica*.
- Hidalgo-López, O. (2003). *Bamboo, The Gift of the gods*.
- Hidalgo López, O. (1976). Nuevas técnicas para la construcción con bambú. *Centro de Investigación de Bambú y de Fibras Vegetales*.
- Hidalgo-López, O. (1974). Bambú su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura ingeniería y artesanía. *Estudios Técnicos Colombianos Ltda*.
- Kankan, George y Perry. (1988 enero-febrero). Bamboo-Reinforced concrete beams subjected to third-point loading. *ACI, Structural Journal*. Detroit.
- Kowalski, T.G. (1974). Ventajas del bambú como refuerzo del concreto. *Indian Concrete Journal*.
- MC. Clure, F.A. (1986). *El bambú como material de construcción*. AID.
- Montiel, M. (2006). Ultraestructura del Bambú, Géneros Guadua y Dendrocalamus. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 54, Universidad de Costa Rica.
- Montiel, M. (1998). Cultivo y uso del Bambú en el neotrópico. *Revista de Biología Tropical*. Universidad de Costa Rica, 46.
- Taschen, A. (2006). *Bamboo style*. Taschen GmbH.
- Vélez, S. (2000). *Grow your own house. Simón Vélez and bamboo achitecture*. Vitra Design Museum und autorem.

15. Tecnólogos en Construcción de Guadua. [en línea] Disponible en: <http://construccion427012.blogspot.com/2008/09/proyecto-puente-en-guadua.html> [2008, 18 de noviembre].