

La *Guadua angustifolia* como alternativa para la construcción de puentes peatonales

FABIÁN AUGUSTO LAMUS BÁEZ¹

CARLOS FELIPE URAZÁN BONELLS²

SOFÍA ANDRADE PARDO³

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de una propuesta de módulos estructurales de *Guadua angustifolia* para la construcción de puentes peatonales, como una solución al déficit de infraestructura en caminos veredales e incluso en zonas suburbanas. Se ha planteado un módulo que puede ser empleado en la construcción de puentes de arco, puentes colgantes y pasos flotantes. Sin embargo, en este trabajo la revisión del módulo se realizó para ser usado en puentes de cercha rectos, ya que se considera que es la configuración en la cual los elementos del puente estarían solicitados a fuerzas internas de mayor magnitud. La resistencia de los elementos se determinó analíticamente mediante el método de los esfuerzos admisibles. Posteriormente, se realizaron pruebas de carga en especímenes a escala real de los módulos y los elementos estructurales. Mediante una modelación numérica, se encontró que usando las especificaciones de carga del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes podría conformarse un puente con una luz libre de hasta 21 m.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*, puente peatonal, modular, esfuerzos admisibles.

¹ Ingeniero civil. Doctor en Ciencia y Tecnología de Materiales, Profesor asistente, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: falamusb@unisalle.edu.co

² Ingeniero civil, Doctor en Gestión Territorial e Infraestructuras del Transporte, Profesor, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: caurazan@unisalle.edu.co

³ Ingeniero civil. Magister en Estructuras. Profesor asistente, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: soandrade@unisalle.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 10 DE OCTUBRE DE 2013 • FECHA DE APROBACIÓN: 2 DE MARZO DE 2014

Cómo citar este artículo: Lamus Báez, F. A., Urazán Bonells, C. F. y Andrade Pardo, S. (2014). La *Guadua angustifolia* como alternativa para la construcción de puentes peatonales. *Épsilon* (23), 43-62.

Guadua angustifolia as an alternative for the construction of pedestrian bridges

ABSTRACT

This paper proposes structural modules of *Guadua angustifolia* for the construction of pedestrian bridges as a solution to the lack of infrastructure in village roads and even in suburban areas. The proposed module can be used in the construction of arch bridges, suspension bridges, and floating steps. However, in this work, the module was designed to be used in straight truss bridges, since this is the configuration in which the bridge elements would be exposed to internal forces of greater magnitude. Element resistance was analytically determined by the method of allowable stresses. Subsequently, load tests were performed on full-scale specimens of the modules and structural elements. Using a numerical model, it was found that, following load specifications by the Colombian Code of Bridges, a bridge with a clear span of up to 21 meters could be constructed.

Keywords: *Guadua angustifolia*, bridge, pedestrian, modular, allowable stresses.

La Guadua angustifolia como alternativa para a construção de passarelas para pedestres

RESUMO

Neste trabalho se apresenta o desenvolvimento de uma proposta de módulos estruturais de *Guadua angustifolia* para a construção de passarelas para pedestres, como uma solução ao déficit de infraestrutura em caminhos de veredas e inclusive em zonas suburbanas. Foi proposto um módulo que pode ser empregado na construção de pontes de arco, pontes suspensas e passagens flutuantes. Porém, neste trabalho a revisão do módulo se realizou para ser usado em pontes de treliça retas, considerando que é a configuração onde os elementos da ponte estariam solicitados a forças internas de maior magnitude. A resistência dos elementos se determinou analiticamente mediante o método dos esforços admissíveis. Posteriormente, se realizaram provas de carga em espécimes a escala real dos módulos e os elementos estruturais. Mediante uma modelação numérica, se encontrou que usando as especificações de carga do código colombiano de pontes poderia conformar-se uma ponte com uma luz livre de até 21 m.

Palavras chave: *Guadua angustifolia*, ponte, passarelas, modular, esforços admissíveis.

La guadua: presencia regional

La guadua (Guadua angustifolia Kunth) es una de las especies de bambú de mayor demanda y mejor aceptación por parte del sector productivo, dada su fácil capacidad de propagación, rápido crecimiento, utilidad y tradición para trabajar sus productos y el enorme potencial para la construcción, elaboración de muebles, artesanías, fabricación de papel, pisos, modulares, combustible y sus características benéficas para el medio ambiente.

Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
(2005)

El bambú ha sido usado a lo largo de cientos de años como material para la construcción de diferentes estructuras. La mayor tipología encontrada en la literatura abarca edificaciones de baja altura y puentes peatonales. El bambú es un material natural que puede obtenerse en casi toda América Latina, con excepción de Chile y las islas del Caribe, y su uso es tan antiguo que, según Hidalgo (1978), en Ecuador se han encontrado improntas de bambú en construcciones que se estima tienen 9500 años de antigüedad. Su uso se remonta a la época de la preconquista, cuando los incas elaboraban puentes colgantes y atirantados y diversas embarcaciones. Colombia, Ecuador y Panamá son los países con más amplia tradición de uso.

Por su parte, De Boer y Bareis (2000) mencionan que en Guayaquil (Ecuador) vivían aproximadamente 800.000 personas en edificaciones construidas con estructuras de bambú en 2000. Situaciones parecidas pueden encontrarse en otras zonas latinoamericanas, al igual que en países como India, China e Indonesia. En el caso latinoamericano, la entidad Guadua Bambú Costa Rica (s. f.) expresa en su página web que:

El área con el mayor grado de endemismo y diversidad es la región de Bahía en Brasil, seguida de la cordillera de los Andes y la parte más al sur de Centroamérica. De los países Latinoamericanos, Brasil posee la mayor diversidad con un total de 137 de especies de bambús madereros. Le sigue Colombia (70), Venezuela (60), Ecuador (42), Costa Rica (39), México (37) y Perú (37).

Esto se muestra en la figura 1.



Figura 1. Distribución de la guadua en América del Sur

Fuente: Guadua Bambú Costa Rica (s.f.).

En cuanto a disponibilidad nacional del bambú *Guadua angustifolia*, en Colombia se encuentra principalmente a lo largo de la cordillera Central y en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Huila, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca. Se ha estimado que Colombia ocupa el segundo lugar en diversidad de bambú en Latinoamérica, con nueve géneros y setenta especies

registradas. La región andina tiene la mayor cantidad y la más grande diversidad en población de especies de árboles (89 %) y la cordillera oriental la más rica, con el 55 % de bosques de bambú reportados hasta ahora (Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005).

Una de las principales virtudes de la guadua en la construcción es el bajo costo resultante, por ello ha sido elemento constructivo desde tiempos inmemoriales. Existe evidencia que indica que los indígenas americanos usaban este material incluso de tiempos anteriores a la época de la Colonia (Cano, López, y Stamm, 2004), tanto en la edificación de vivienda como en la construcción de puentes y otras estructuras. Sin embargo, el atractivo de la *Guadua angustifolia* no se limita al bajo costo, sino que se trata de un material autóctono y de fácil manejo en autoconstrucción, cuyo cultivo tecnificado trae como consecuencia una larga lista de beneficios medioambientales.

La urgente necesidad de puentes peatonales de bajo costo

El contexto latinoamericano encuentra entre sus múltiples necesidades la mejora de gran parte de su infraestructura vial, especialmente la que atañe a escenarios de escasos recursos como lo son algunas zonas de hábitat rural. Este tipo de situaciones es presentado por la organización Puentes de la Esperanza, la cual se autodenomina como una iniciativa que nace con el propósito de ayudar a comunidades rurales que padecen dificultades de movilidad por la ausencia de pasos peatonales seguros. La organización manifiesta que “durante décadas, muchos colombianos han sufrido aislamiento y han tenido que ver con impotencia un aviso imaginario que dice ‘fin del camino’, arriesgando muchas veces sus vidas para llegar a su destino” (Puentes de la Esperanza, s. f.a) (figura 2).

En otras situaciones, la necesidad del puente corresponde a una escasez de recursos, principalmente en asentamientos precarios, con desarrollo incompleto (figura 3), o simplemente a la conclusión de una emergencia por el deterioro o el colapso de estructuras existentes debido a la falta de mantenimiento, la presencia de inundaciones, fallas en el terreno por aumento de la humedad de este, o avenidas que exceden los niveles habituales de los ríos por variaciones en el clima.



Figura 2. Puentes peatonales inadecuados en zonas rurales colombianas

Fuente: Puentes de la Esperanza (s. fa).



Figura 3. Puente peatonal construido por una comunidad de escasos recursos. Guapi, Cauca, 2011

Fuente: cortesía del ingeniero Edgar Humberto Sánchez Cotte.

Tan solo la labor adelantada por Puentes de la Esperanza registra al menos 40 puentes ubicados en diferentes regiones del país (figura 4), como es el caso del puente denominado El Espejo, ubicado en el municipio de Ragonvalia, Norte de Santander. Se trata de una estructura de 40 m de longitud (figura 5) que benefició a cerca 30 familias rurales tras su reconstrucción en 2013, luego de verse seriamente afectado en la temporada de lluvias de 2011.



Figura 4. Mapa de ubicación de los proyectos de la organización Puentes de la Esperanza
Fuente: Puentes de la Esperanza (s. f.b).



Figura 5. Puente El Espejo. Ragonvalia, Norte de Santander, Colombia
Fuente: Puentes de la Esperanza (s. f.b).

El bambú, elemento constructivo de puentes peatonales

Uno de los usos del bambú, de gran difusión en la literatura, es en la construcción de puentes peatonales. Alrededor del mundo ha sido empleado como material para la construcción de un gran número de puentes peatonales, con lo cual ha demostrado que es un material versátil, de bajo costo. La mayoría de estas estructuras erigidas con elementos de bambú obedecen a técnicas ancestrales, que en muchos casos son el resultado de prácticas tradicionales (figura 6), y en muchos otros obedecen a una especie de improvisación (figura 7). En todos los casos expuestos en este artículo, un componente común es la construcción por parte de la misma comunidad.



Figura 6. Puente en Bohol, Filipinas

Fuente: Renier Figuracion (s. f.).



Figura 7. Puente a las afueras de Chiang Mai, Thailandia

Fuente: Dave's Travel Corner (2013).

Sin embargo, tanto en el orden como en el caos, el factor común es que el uso del material ha perdurado de manera sostenible; un claro ejemplo es el puente sobre el río Min en China (figura 8), el cual ha sido cruzado por personas por más de 1700 años, o los puentes en Laos, que año tras año son reconstruidos después de ser arrasados por las corrientes generadas durante el monzón (figura 9).



Figura 8. Puente Anlan, China

Fuente: Guadua Bambu (s. f.).



Figura 9. Puente en Luang Prabang, Laos

Fuente: Donenfeld (2013).

Mientras una gran cantidad de estos puentes son construidos conectando los diferentes elementos por medio de tarugos de madera, macanas o el uso de so-

gas elaboradas a partir de fibras de origen vegetal, en las últimas décadas se han construido puentes más modernos (figura 10), haciendo uso tanto de técnicas constructivas más sofisticadas como de materiales y elementos más tecnificados, como por ejemplo el acero en los cables para puentes colgantes, o los pernos para las conexiones y el cemento en el mortero. Sin embargo, cuando se usa el mortero como relleno de los canutos para intentar realizar conexiones resistentes a tracción, en realidad el incremento en el peso de la estructura podría superar el aporte de este a la resistencia (Andrade, Torres y Lamus, 2013).



Figura 10. Puente construido por la comunidad en Davao, Filipinas

Fuente: Fitrianto (s. f.).

Puentes modulares de *Guadua angustifolia*

En la Universidad de La Salle, sede Bogotá, se ha planteado la alternativa del uso de puentes modulares de *Guadua angustifolia* como una respuesta a la necesidad de las poblaciones en estado de vulnerabilidad relacionada con el déficit de pasos elevados para sortear precipicios y cañadas, y que además se encuentran dentro del territorio en donde crece esta especie de bambú.

Cada módulo (figura 11) está conformado por dos armaduras planas, conectadas por elementos horizontales que sirven de soporte al tablero y le dan estabilidad a la estructura; tiene una longitud de 4,2 m, una altura libre de 2,05 m y un ancho de

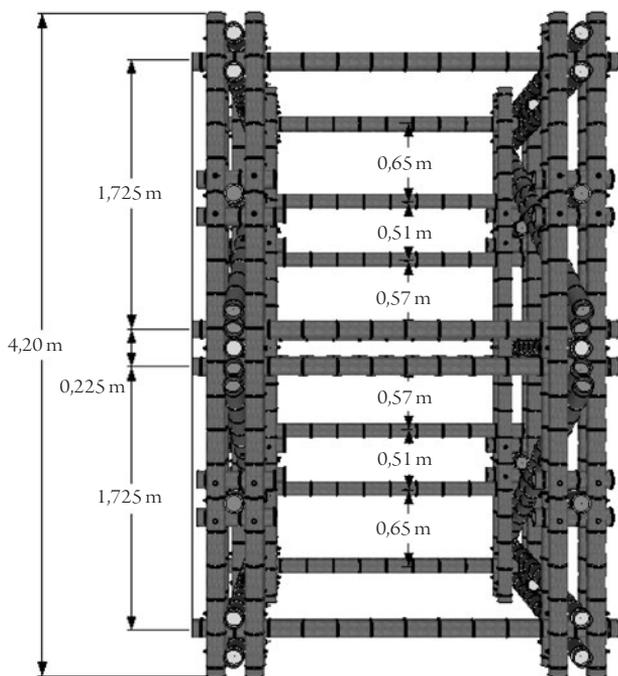
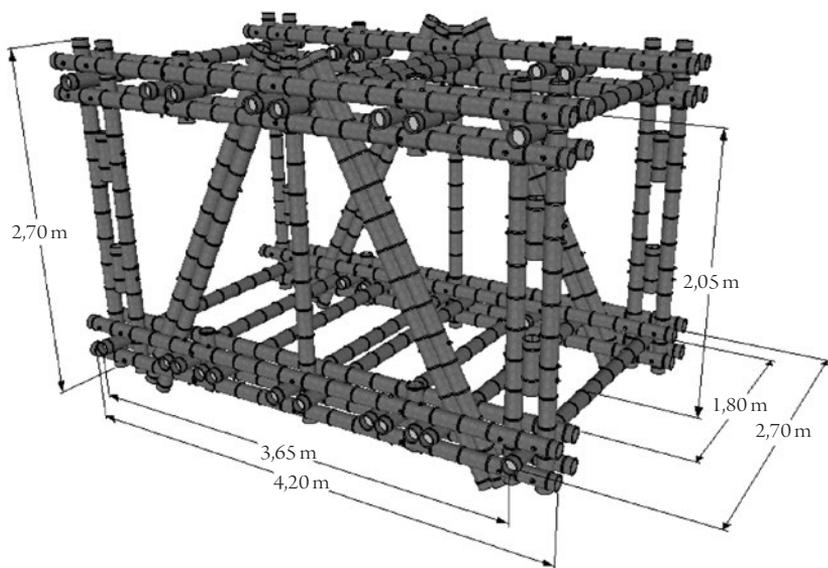


Figura 11. Sección modular de puente

Fuente: elaboración propia.

tablero de 1,8 m. Las dimensiones se seleccionaron pensando en que la circulación se realizara por dentro de la estructura, de manera que las cargas vivas serán aplicadas sobre el cordón inferior de las armaduras. Adicionalmente, se consideraron las longitudes comunes de los tramos rectos en los culmos de guadua, así como la posibilidad de que el módulo sea levantado por un grupo de personas. Se ha planteado de manera que todos los cortes realizados durante su construcción sean rectos y las conexiones sean empernadas usando varillas roscadas de acero SAE1020, de media pulgada de diámetro, y que requieran únicamente de la perforación de los agujeros para su ensamblaje.

Todo esto con el fin de facilitar la posibilidad de que durante su desarrollo sea la comunidad beneficiada la que intervenga en todos los procesos, garantizando que sea seguro, económico, liviano, fácil de construir y sobre todo una excelente respuesta cuando se requiere atender de manera rápida la necesidad de restablecer el paso en caminos peatonales y de bestias. Eventualmente, este tipo de puentes podría soportar el uso de vehículos automotores pequeños, como se pudo demostrar mediante ensayos (figura 12).



Figura 12. Prueba de carga con un vehículo liviano, peso aproximado 18 kN

Fuente: elaboración propia.

En una primera instancia se realizó un análisis de la resistencia de los elementos del puente mediante el método de los esfuerzos admisibles, y la resistencia de diseño del material se consideró igual a los valores establecidos por el Reglamento

NSR-10 para la *Guadua angustifolia*, los cuales se resumen en la tabla 1. El módulo de elasticidad usado fue de 19.000 MPa.

Tabla 1. Esfuerzos admisibles de la *Guadua angustifolia* (MPa)

Flexión	15,0
Tracción	18,0
Compresión Paralela a la Fibra	14,0
Compresión Perpendicular a la Fibra	1,4
Corte	1,2

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2010).

Mediante una modelación en un programa comercial, se realizaron los análisis de puentes rectos de una luz, conformados a partir de la conexión de varios módulos, para longitudes totales entre 8,4 y 33,6 m correspondientes a la unión entre dos y ocho módulos. Las fuerzas internas se determinaron a partir de las consideraciones de carga requeridas por el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCP) (AIS, 2011), para el diseño de estructuras de puentes peatonales, y variando las condiciones de apoyo.

Se determinó que el módulo podría soportar las acciones de servicio para luces libres de hasta 21 m, siempre y cuando se usen dos módulos complementarios, uno en cada extremo, para proporcionar soporte a la estructura. Es decir que en total el puente estaría conformado por ocho módulos. Para este caso, el elemento crítico fue el cordón superior, el cual presentó una fuerza de compresión de 168 kN, bastante cercana a la resistencia del elemento obtenida a partir de los esfuerzos admisibles, la cual se calculó como 175 kN.

Ensayos de los elementos

Se decidió realizar la verificación de la resistencia de los elementos que conforman los cordones del puente mediante un programa experimental llevado a cabo sobre especímenes construidos a escala real y conformado de la siguiente manera: tres especímenes del cordón superior solicitados a compresión y tres del cordón inferior solicitados a flexión.

Con el fin de obtener las propiedades mecánicas de la *Guadua angustifolia* se realizaron ensayos de tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra y corte paralelo a la fibra, de acuerdo con las especificaciones de la norma NTC 5525 (Icontec, 2006). Adicionalmente, se realizaron ensayos de tracción perpendicular a la fibra usando una adaptación del montaje propuesto en la Universidad Nacional de Colombia (Pacheco, 2006) y ensayos de compresión perpendicular (Torres, 2007). Para cada una de las probetas ensayadas se determinó el contenido de humedad.

Los cordones superiores se ensayaron a compresión en la máquina universal del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia, aplicando carga axial al elemento (figura 13a), mientras que los cordones inferiores se ensayaron a flexión, en el marco de carga del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Colombia, aplicando carga transversal en los tercios de la luz (figura 13b).

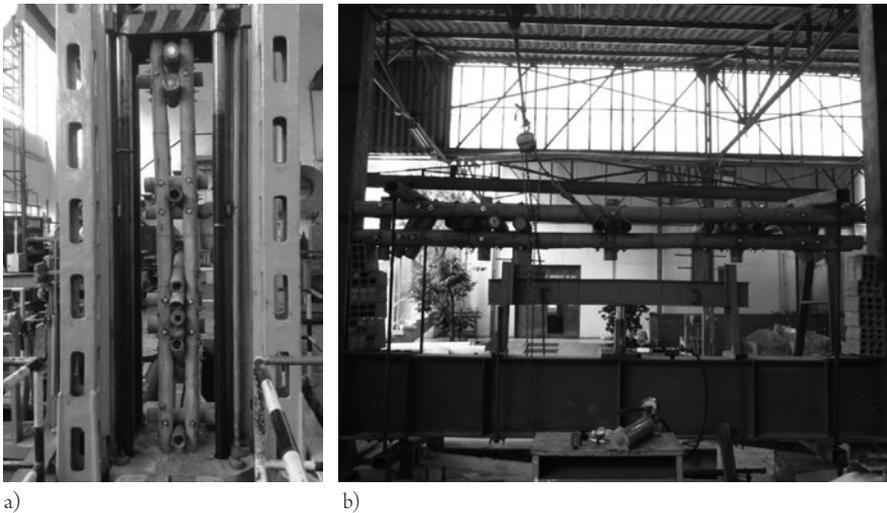


Figura 13. a) Ensayo a compresión en los cordones superiores. b) Ensayo a flexión en los cordones inferiores

Fuente: elaboración propia.

La resistencia a flexión de los cordones se pudo obtener directamente de los ensayos de carga, mientras que las resistencias a la tracción y al aplastamiento se calcularon a partir de los valores de esfuerzo promedio obtenido en los ensayos de tracción paralela a la fibra y compresión paralela a la fibra, respectivamente. A partir del

ensayo de compresión axial realizado a los especímenes de los cordones, se pudo determinar la carga crítica promedio para una luz no soportada de 4,0 m y a partir de esta se comprobó el valor de la inercia de la sección para predecir mediante la ecuación de Euler la carga crítica de pandeo con una longitud no arriostrada de 2,2 m. Estos resultados se presentan en la figura 14.

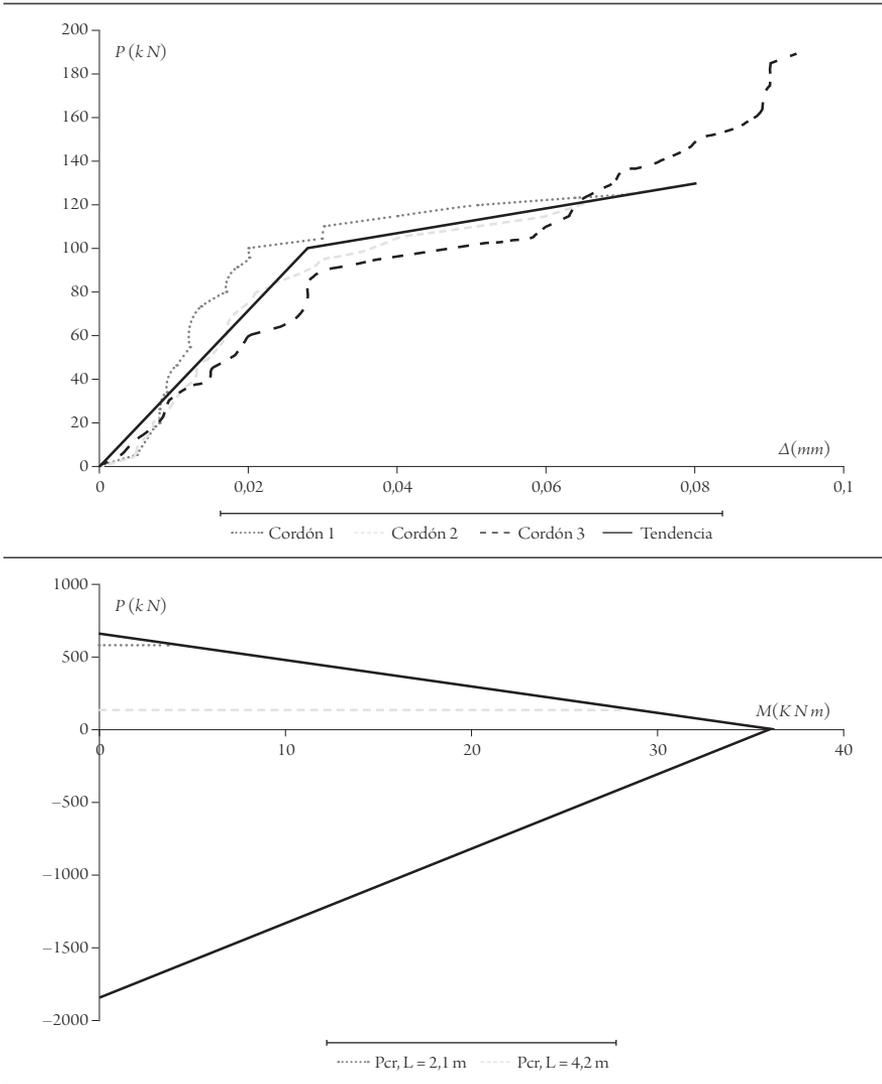


Figura 14. Capacidad de carga de los cordones. Izquierda: carga a compresión de elementos con una luz no soportada lateralmente de 4 m; derecha: curva de interacción para los cordones

Fuente: elaboración propia.

Se pudo determinar que la resistencia del cordón superior está limitada por la carga crítica, ya que para una luz arriostrada de 2,2 m el elemento presenta pandeo con una compresión de 211 kN, equivalente a 1,2 veces la resistencia calculada empleando los esfuerzos admisibles.

Pruebas de carga

Con el fin de verificar el comportamiento de las secciones modulares de puente y calibrar los modelos numéricos, se realizó una serie de pruebas de carga. Para esto se construyeron dos secciones modulares de puente. La construcción de un módulo tardó tres días contando con un frente de trabajo de seis personas, quienes no contaban con experiencia en la construcción. La prueba de carga de los módulos (Quiroga y Rocha, 2013) se realizó aplicando una fuerza distribuida sobre el área del tablero con incrementos de carga de 800 kg-f correspondientes a 32 bultos de 25 kg de arena localizados como se muestra en la figura 14. El ensayo se llevó hasta una carga de 4400 kg equivalentes aproximadamente a 1,5 veces la carga viva de servicio exigida por el CCP (figura 15) que debería ser aplicada por cada módulo.

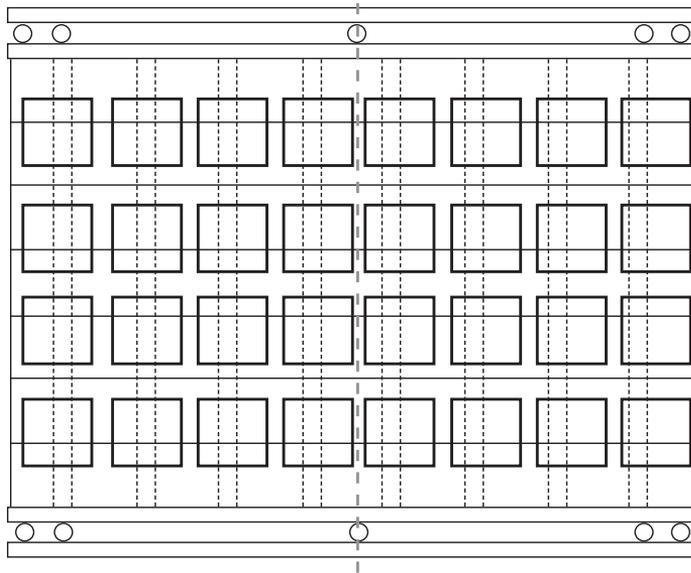




Figura 15. Distribución de la fuerza aplicada durante las pruebas de carga realizadas a cada uno los módulos

Nota. Cada cuadro en blanco representa la ubicación de un bulto de arena en cada una de las etapas de carga.

Fuente: izquierda: Quiroga y Rocha (2013); derecha: elaboración propia.

En cada ensayo los módulos se instrumentaron con deformímetros electrónicos y mecánicos en varios puntos, siendo el de mayor interés el correspondiente a la mitad de luz. Para el mayor nivel de carga aplicada se encontró que las deflexiones no superaron los 2,5 mm, lo que corresponde a la luz sobre 1600 ($L/1600$). En ambos casos los módulos recuperaron la totalidad de las deformaciones, lo cual indica que en ningún momento se superó el rango elástico. En la figura 16 se presenta una comparación entre los desplazamientos medidos en el centro de la luz de los módulos y los obtenidos mediante la modelación numérica.

Conclusiones

Se determinó mediante la modelación numérica que el módulo puede ser empleado en la construcción de un puente con una luz libre máxima de 21 m sin que se superen los esfuerzos admisibles en los elementos.

Los parámetros empleados en la modelación del módulo permitieron predecir una respuesta en el campo de los desplazamientos bastante cercana a la obtenida en las pruebas de carga.

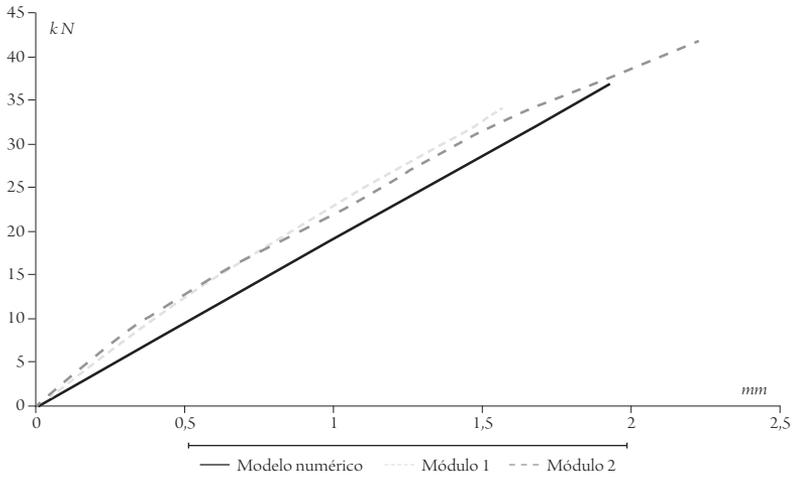


Figura 16. Curva carga contra desplazamiento en el centro de la luz

Fuente: adaptado de Quiroga y Rocha (2013).

Los ensayos experimentales permitieron comprobar que los elementos presentan resistencias últimas superiores a las calculadas usando los esfuerzos admisibles. Sin embargo, el comportamiento del módulo se encuentra limitado por la resistencia crítica de los cordones superiores solicitados a compresión, puesto que la carga de pandeo es tan solo un 20 % mayor que la resistencia calculada para el elemento a partir de los esfuerzos admisibles.

Se ha planteado la realización de pruebas de carga sobre un prototipo de puente conformado por dos módulos, para determinar el comportamiento de las conexiones y definir las posibles debilidades del módulo al ser llevado a niveles de carga que superen el rango elástico del material (figura 17).

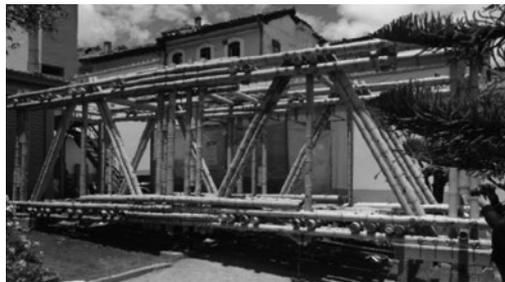


Figura 17. Prototipo de puente ensamblado a partir de dos módulos

Fuente: elaboración propia.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al programa de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle, en cabeza del ingeniero Manuel Tobito, por su apoyo y la financiación en la construcción de uno de los módulos construidos. De la misma forma, quieren expresar su agradecimiento a Helbert Quiroga, Gabriel Rocha, Freddy Cely, Mauricio Cruz, Andrés Galeano, estudiantes del programa de Ingeniería Civil, quienes participaron en la elaboración de los prototipos evaluados en el proyecto, y a todos aquellos, estudiantes y profesores, que colaboraron durante las pruebas de carga, especialmente a los ingenieros Sandra Ospina y Camilo Torres.

Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismorresistente (NSR-10)*. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Cultura y Territorio, Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2011). *Código colombiano de diseño sísmico de puentes*. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte. República de Colombia.
- Andrade, S., Torres, N. y Lamus, F. (2013). Respuesta estructural de una conexión de columnas de *Guadua angustifolia* a su cimentación. *VI Encuentro de Ingenieros de Suelos y Estructuras, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*. Bogotá.
- Cano, M., López, C. y Stamm, J. (2004). Expansión holocénica de la *Guadua* en el Cauca Medio: cambios climáticos, eventos volcánicos e impactos culturales. *Simposio Internacional de la Guadua*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Cely, J. y Cruz, M. (2013). *Determinación de la resistencia de los elementos que conforman la sección de un puente peatonal modular construido con Guadua Angustifolia Kunth* (trabajo de grado). Bogotá: Universidad de La Salle.
- Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2005). *La cadena de la guadua en Colombia*. Bogotá.
- Dave's Travel Corner (2013). Thailand-North. Recuperado de <http://www.davestravelcorner.com/photos/thailand/north.htm>
- De Boer, D. y Bareis, K. (2000). *Bamboo building and culture*. Deboer Architects. Recuperado de <http://jubilee101.com/subscription/pdf/Bamboo-Construction/Bamboo-Building-and-Culture--27pages.pdf>

- Donenfeld, J. (2013). Post archive by month. Recuperado de <http://jeffreystonefeld.com/blog/2013/05/>
- Fitrianto, A. (s. f.). Villagers in the Philippines build a gorgeous new bridge from bamboo. Recuperado de <http://inhabitat.com/villagers-in-the-philippines-build-a-gorgeous-new-bridge-from-bamboo/andrea-fitrianto-local-people-bamboo-bridge-philippines-1/?extend=1>
- Galeano, A. (2014). *Diseño de una conexión entre módulos prefabricados de puentes en Guadua Angustifolia Kunth* (trabajo de grado). Bogotá: Universidad de La Salle.
- Guadua Bambú (s. f.). Making bamboo cables. Recuperado de <http://www.guaduabamboo.com/making-bamboo-cables.html>
- Guadua Bambú Costa Rica. (s. f.). La guadua angustifolia. Recuperado de <http://www.guaduabamboo.com/la-guadua-angustifolia.html>
- Hidalgo, O. (1978). *Nuevas técnicas de construcción con bambú*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Icontec. (2007). *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth*. NTC 5525. Bogotá.
- Morán, J. (2003). *Pasado, presente y futuro del bambú en las Américas*. Documento procedente del III Seminario Internacional del Bambú. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Fundación Polar, Gobernación del estado Yaracuy, Fundación para la Investigación Agrícola DANAC. Yaracuy, Venezuela.
- Pacheco, C. (2006). *Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra de la Guadua angustifolia* (trabajo de grado). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Puentes de la Esperanza. (s. fa). Por Colombia, uniendo caminos. Recuperado de <http://puentesdelaesperanza.org/contenido/por-colombia-uniendo-caminos>
- Puentes de la Esperanza. (s. fb). Mapas. Recuperado de <http://puentesdelaesperanza.org/mapas>
- Renier Figuracion (s. f.). Bamboo bridge. Recuperado de http://www.trekearth.com/gallery/Asia/Philippines/Central_Visayas/Bohol/Bohol/photo698176.htm
- Quiroga, H. y Rocha, G. (2013). *Calificación estructural de un módulo de puente para uso provisional en pasos peatonales construido con Guadua Angustifolia Kunth* (trabajo de grado). Bogotá: Universidad de La Salle.
- Torres, C. (2007). La ciudad informal colombiana. *Bitácora*, 11(1), 53-93.
- Villegas, M. (2005). *Guadua, arquitectura y diseño*. Bogotá: Villegas.