

TEMA: “DISEÑO DE PUENTES PEATONALES UTILIZANDO CAÑA GUADUA COMO ELEMENTO DE CONSTRUCCION”

Kathia Vásconez Miranda ¹, José Rolando Marín²

¹ Ingeniera Mecánica 2005

² Director de Tesis. Ingeniero Naval, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1982, Postgrado EE.UU, Universidad de Michigan, 19__, Profesor de ESPOL desde 198_

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñaron dos puentes de 10 y 20 metros de longitud, tomando a la caña guadua como material de construcción. Debido a la falta de información detallada sobre las uniones, se procedió a realizar pruebas en el Laboratorio de Sólidos de la FIMCP para obtener valores referenciales de cuánta carga puede soportar una unión tipo IV (sujetas por elementos que van de la sección transversal a un elemento perpendicular al culmo) de caña soportada por pernos de acero de diferentes diámetros. Se realizaron en total 22 pruebas, de las cuales se obtuvo que 1200 Kg es el valor máximo al que puede ser sometida una unión tipo IV antes de que se produzca la falla. Así mismo, de las pruebas con columnas cortas se obtuvo un valor promedio de $22.21E5 \text{ Kg/m}^2$ para el esfuerzo de fluencia de la caña, el cual fue utilizado en el diseño de los puentes. Se realizó luego el diseño de un puente de caña de 10 m de longitud, a base de cerchas, partiendo de un diseño preliminar. Este diseño fue mejorado por medio de la variación de varios parámetros que permitiera la disminución de valores de fuerzas axiales y momentos generados en la estructura, obteniendo así factores de seguridad confiables en el diseño;

el análisis se desarrolló empleando el método de Elementos Finitos. De la misma forma se realizó el diseño del puente de 20 m. Finalmente, en el presente trabajo se realizó una estimación aproximada de costos de construcción de un puente de 20 m longitud, considerando como ítems: materia prima, insumos, mano de obra, entre otros; y los pasos a seguir y metodología para la fabricación e instalación de los mismos. El valor de construcción obtenido fue de 7500 dólares, aproximadamente.

TITLE: “THE DESIGN OF BRIDGES USING BAMBOO AS CONSTRUCTION MATERIAL”

SUMMARY

The following work presents the design of two bridges, 10 and 20 meter long, using bamboo (caña guadua) as construction material. Due to the lack of detailed information concerning the joints that are used in construction laboratory tests were done at the Solids Laboratory of the FIMCP-ESPOL, in order to obtain referential values on how much load can be apply to an union type IV (Joints from cross-section to an element perpendicular to the culm), made of bamboo supported by steel bolts of different diameters. A total of 22 tests were carried out, and a value of 1200Kg was obtained as the maximum load a union type IV can support before failure. The results obtained from the short columns tests gave an average value of $22.21E5 \text{ kg/m}^2$ corresponding to the fluency stress of the Ecuadorian Coast's Bamboo, this result was used in the design of the bridges. The design of the 10 and 20 meter long bridges was based on trusses, starting off from a given shape. This was improved throughout the variation of several parameters that permitted the reduction of

values on axial forces and moments generated in the structure, in order to result reliable safety factors in the design. The Finite Element Method was the tool used for analyzing the designs. Finally this work presents an approximate construction cost value for a 20meter long bridge, considering items such as: raw materials, **insumos**, and workforce, among others. The approximate cost of a 20 meter long bridge is 7500 dollars.

INTRODUCCIÓN

En época invernal las intensas lluvias provocan el desborde de los ríos de la Costa lo que causa la destrucción de muchos puentes, quedando así, comunidades enteras completamente aisladas. Una solución rápida y económica a esta emergencia es la construcción de puentes peatonales de Caña Guadua. Este material es una buena alternativa por las ventajas que presenta, como su bajísimo costo y abundancia en el mercado. Sin embargo a pesar que existen publicaciones sobre la construcción con caña como La Guía de Construcción de Puentes en Caña (Proyecto GTZ 2001, primera edición), donde se enfatiza en la forma de construcción, pero no se muestran resultados de cálculos de esfuerzos y deformaciones para poder garantizar un diseño confiable de puentes en Guadua. Además, entre los datos disponibles no existe información detallada sobre las uniones que aseguren la transmisión adecuada de fuerzas y momentos desarrollados. Finalmente para una fácil instalación, las dos bases de cemento que forman parte del anclaje podrían ser reemplazadas por un cable de acero que cumpla la misma función: evitar el desplazamiento horizontal debido a las reacciones de los extremos, reduciéndose la complejidad de la instalación.

En esta tesis se pretende desarrollar el diseño detallado de puentes peatonales de longitud corta e intermedia, utilizando la Guadua Angustifolia como elemento de construcción.

Específicamente los objetivos que se desea alcanzar son los siguientes:

- Desarrollar pruebas mecánicas de las uniones más comunes que se utilizan en estructuras con Guadua.

- Diseñar en forma detallada puentes de longitud corta e intermedia, incluyendo un análisis de los esfuerzos y deformaciones, hasta obtener un factor de seguridad según lo recomendado por normas adecuadas de construcción en madera.
- Diseñar un sistema de conexión entre los extremos con fijación de uno de ellos, para reemplazar el anclaje a través de bases de cemento.
- Determinar la forma de fabricación e instalación de los puentes diseñados, detallar brevemente los costos de construcción y compararlos con los de un puente en acero.

Las pruebas de las uniones servirán para determinar su resistencia, y se realizarán en el laboratorio de Mecánica de Sólidos de la FIMCP. El análisis de la estructura del puente se desarrollará por el Método de Elementos Finitos (MEF), para diferentes condiciones de carga; se empleará el programa SAP90. En el análisis de costo y montaje se determinará la forma de construcción e instalación del puente y se incluirá un desglose de la cantidad de materiales y herramientas a usarse.

Con este trabajo se espera obtener un diseño confiable de un puente peatonal en caña, de bajo costo y fácil instalación que pueda suplir las necesidades de conexión de las comunidades rurales de la costa. El análisis por el MEF provee resultados confiables y se complementa con la determinación de la resistencia de las uniones a través de pruebas mecánicas para asegurar una transmisión adecuada de las fuerzas internas generadas. El análisis de costos nos mostrará cuán económico resulta el uso de la caña guadua en la construcción de puentes peatonales.

CUERPO

Esta especie de bambú sobresale dentro del género por sus propiedades estructurales tales como la relación resistencia/peso que excede a la mayoría de las maderas; esto le permite absorber gran cantidad de energía y admitir una mayor flexión. Una de las uniones con caña utilizada en la construcción son las uniones sujetas por elementos que van de la sección transversal a un

elemento perpendicular al culmo ver figura 2.2, la misma que fue la utilizada en las pruebas de laboratorio realizadas.



Figura 2.2 Unión utilizada en pruebas

Las pruebas se realizaron en dos grupos, en el Laboratorio de Mecánica de Sólidos de la FIMCP, en la Máquina Universal de Ensayos INSTRON, ver Figura 2.3. En total se realizaron 22 pruebas.



Figura 2.3 Máquina Universal de Ensayos, INSTRON

El modelo de unión probado consistió de tres elementos de caña unidos entre sí por un perno: dos elementos laterales posicionados diagonalmente y un elemento central en forma vertical, indicado en la figura 2.2, el cual fue sometido a compresión. Se registraba el valor máximo de fuerza al que se produjo la falla de la unión en uno de sus elementos. Con la finalidad de ampliar el rango del análisis se probaron diferentes ángulos: 30, 45 y 60 grados. Se desarrollaron las pruebas con pernos de acero de dos diámetros: 1/4" y 3/8".

Equipos y herramientas

Para posicionar los modelos en la prensa con estabilidad se construyó una pequeña estructura de acero, la cual consistió de dos vigas C 125*50, de 4 mm de espesor soldadas en uno de sus extremos formando ángulo recto. Una para cada elemento diagonal, ver figura 2.3.

Resultados Obtenidos de las Pruebas Experimentales

De las tablas de resultados se deduce que las fuerzas obtenidos en el momento de falla de la unión se encuentran dentro de un rango de valor de: 1050 Kg. – 1625 Kg para el perno de 1/4", y, 1200 Kg – 2300 Kg para el perno de 3/8". También se realizaron 13 pruebas de compresión de columnas cortas para complementar la información sobre las propiedades mecánicas de la caña, de los cuales se registran únicamente 10. Se puede observar en la figura 2.8 graficados los valores de las fuerzas en el momento en que se produjo la falla en las columnas, encontrándose dentro de un rango de 3700 Kg - 10000 Kg.

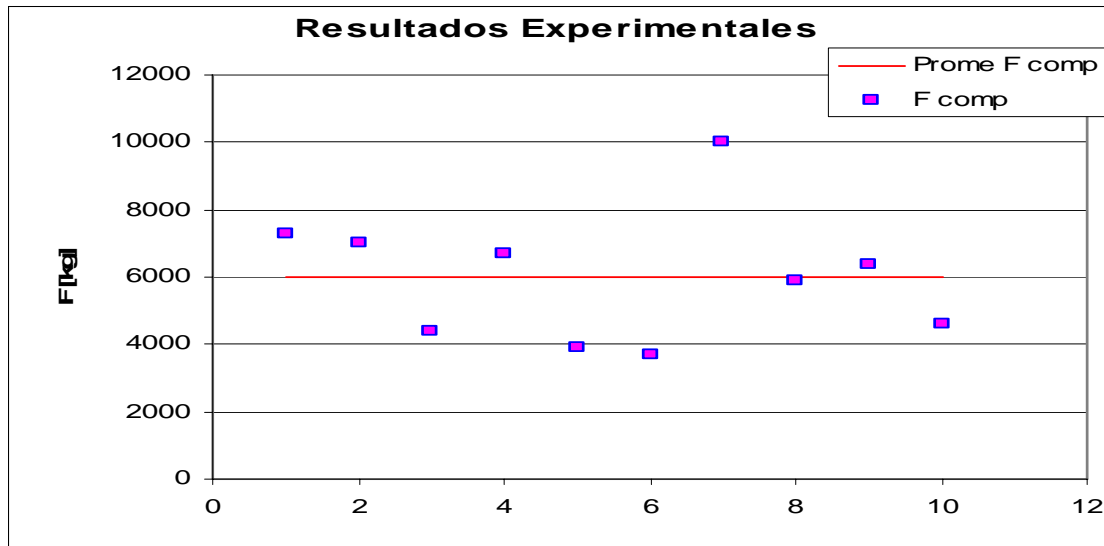


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.

Resultados Experimentales de Pruebas de Columnas

Análisis de los Resultados

De las pruebas realizadas se pudo notar que la relación de fuerzas entre uniones con perno de $\frac{1}{4}$ " y uniones con pernos de $\frac{3}{8}$ " es de 1:1.5 y ésta aumenta a medida que aumenta el diámetro del perno. Se podría decir que con un perno de mayor diámetro, la unión puede soportar mayor fuerza. La carga aplicada afecta directamente al perno en dos puntos. Este valor de fuerza registrada dividido para dos es el valor ejercido sobre el perno en cada lado. Se puede comparar con el de fluencia al corte del acero que es de 1680 Kg/cm^2 (Popov, Mec. de Sólidos), el cual, por la relación $F = \text{Esf} * A$, permite generar una fuerza de hasta 364.56 Kg . con un perno de $\frac{1}{4}$ " y 1105.44 Kg . con un perno de $\frac{3}{8}$ ". De los datos obtenidos se concluye que el diámetro de perno a utilizarse en este tipo de uniones no debe ser mayor a $\frac{3}{8}$ ", y el esfuerzo máximo que puede soportar la unión es de 912.5 Kg/cm^2 . Este valor de esfuerzo permite trabajar con un factor de seguridad de 1.8, por lo tanto no se justifica el uso de un perno de mayor diámetro. De las pruebas de columnas se tiene que los valores de esfuerzos se encuentran entre 111.47 y 384.62 Kg/cm^2 , con un valor promedio de 222.19 Kg/cm^2 , y con una razón de esbeltez

promedio de 25.5. Por lo tanto, para futuros análisis se tomará el valor de 222.19 Kg/cm² como referencia para ser comparado con esfuerzos generados en la estructura. La razón de esbeltez nos indica que, los elementos de caña, con las dimensiones especificadas en la tabla 6 y sometidos a compresión, deben ser consideradas como columnas cortas. Sin embargo, para futuros análisis todo elemento a compresión debe siempre considerarse pandeo.

En el diseño del puente de 10 metros de longitud, se partió de un modelo determinado, tomado del Manual de Construcción de Puentes (Alemán-Colombiano). Los valores de fuerzas axiales generados en la estructura al ser sometida bajo determinada carga, se compararon con los valores obtenidos en las pruebas realizadas con las uniones. Las dimensiones del puente son: 10 m de largo por 1.75 m de ancho, y 2.65 m de alto con cable de ¾". El peso total aplicado fue de 8207.5 Kg. De esta forma, al reducir la carga aplicada, se redujo las fuerzas internas generadas. La carga que se consideró es realmente extrema, por considerar 4 personas por metro cuadrado con peso de 75 Kg por persona, y, considerando que cada persona soporta una carga adicional de 23 Kg. Como resultado se obtuvieron fuerzas internas de compresión de 1170.11 Kg producidas en los elementos diagonales de los extremos conectados directamente con los apoyos en la cercha mayormente cargada. El esfuerzo producido comparado con el esfuerzo de fluencia de la caña proporciona un factor de seguridad de 2. Siendo este el factor de seguridad del diseño del puente de 10 m de longitud.

En el diseño del puente de 20 m de longitud, se hizo iguales consideraciones que para el de 10 m, resultando un peso total aplicado de 15842 Kg. El diseño de este puente es ligeramente diferente al primero, porque no era posible con el diseño original reducir los esfuerzos a valores aceptables. En este caso hubo necesidad de incluir dos arcos de resistencia, que parten de las bases que soportan los extremos del puente. Las fuerzas máximas compresivas (9201.98 Kg) se presentaron en el arco superior de la cercha del lado que soporta la carga viva, la cual se reparte para seis cañas, desarrollándose una fuerza axial de 1644.14 Kg. El esfuerzo generado proporciona un factor de seguridad de 3.4, siendo este el factor de seguridad del puente de 20 m.

La fabricación del puente se debe realizar mediante cerchas, las que se construirán en el piso para luego ser levantadas y ancladas. Como resultado de un breve análisis se concluye que el costo de construcción de un puente peatonal fabricado en caña guadua de 20 m de longitud es de aproximadamente \$7.500,00, lo que refleja la tremenda ventaja de utilizar el material propuesto.

REFERENCIAS

1. JUDZIEWICS/ CLARK/ LONDOÑO/ STERN, *American Bamboo*, 1999, Smithsonian Institution Press, Washington and London.
2. HORMILSON I.A./ RÍOS CRUZ, *La Guadua: Nuestro Bambu*, 1994, Corporación Autónoma Regional del Quindío-C.R.Q, FUDEGRAF, Colombia.
3. *Memorias del I Seminario Bamboo*, 2001, Guayaquil-Ecuador, Organizado por: Ecuabambu, Expoplaza, INBAR.
4. HERRERA, EDGAR GIRALDO/ SABOGAL OSPINA A., *Una Alternativa Sostenible: La Guadua*, 1999, Corporación Autónoma Regional del Quindío, FUDESCO.
5. Propiedades Mecánicas de diferentes fuentes.
6. JANSSEN JULES, J.A., *Designing and Building with Bamboo*, INBAR (International Network for Bamboo and Rattan), Technical Report No.20.
7. HIDALGO LÓPEZ, OSCAR, *Manual de Construcción con Bambú - Construcción Rural 1*, Estudios Técnicos Colombianos Ltda.-Editores, Universidad Nacional de Colombia-Centro de Investigación de Bambu y Madera CIBAM.

8. PROYECTO UTP-GTZ, *Guía Para Construcción de Puentes en Guadua*, 1ra. edición 2001, Cooperación Republica de Colombia-Republica Federal de Alemania, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, Santa fe de Bogota-Colombia.
9. INSTITUTE OF THE LIGHTWEIGHT STRUCTURE, *Bambus as a Building Material- IL31*, 1985, University of Stuttgart, Alemania.
10. MARÍN LÓPEZ, JOSÉ R., *Notas del Curso "Elementos Finitos"*, 2001, FIMCP-ESPOL.
11. EDWARD L. WILSON, SAP90 Programa de Análisis Estructural, Copyright © 1978-1988.
12. ROBERT L. NORTON, *Diseño de Maquinas*, Primera edición, Prentice Hall, México, 1999.
13. ANDREW PYTEL/ FERDINAND L. SINGER, *Resistencia de Materiales*, Cuarta Edición, Harla, México, 1994.
14. Manual Para Selección de Cables, Prolansa.
15. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, *NSR-98 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente*, 1998, Santafé de Bogotá DC, Colombia.
16. MARTINEZ ERNESTO, *Curso de Instalaciones Industriales*, 2001, FIMCP-ESPOL.

Elaborado por: Kathia Vásconez

Aprobado por: Dr. José Marín Lítez
