

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PABELLÓN CULTURAL UNIVERSITARIO, BASADO EN UNA ESTRUCTURA TENSEGRÍTICA CON BAMBÚ

Design and construction of an university cultural pavilion,
made of bamboo tensegritic structures

DR. EN COM. VIS. ARQ. Y DIS. VÍCTOR MANUEL MARTÍNEZ LÓPEZ
Profesor Investigador
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México
vmartin_l@yahoo.com.mx

MARTÍN ABDÍ MORTERA AGUILAR
Alumno del último semestre en la Facultad de Arquitectura
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México
guadamx@hotmail.com

Fecha de recibido: 19 enero 2013
Fecha de aceptado: 28 febrero 2013

pp: 65 - 76



FAD | UAEMéx | Año 8, No 14
Julio - Diciembre 2013

RESUMEN

El siguiente escrito describe algunos principios básicos del diseño de estructuras tensegríticas, así como nociones elementales para trabajar con bambú. Se muestra el trabajo con un grupo de alumnos a los que se ha instruido para lograr comprender estos principios y poder llevar a cabo con maquetas, un ejercicio para configurar un modelo a escala de un pabellón académico y cultural. Posteriormente, se documenta el comienzo de la construcción y montaje de dicha estructura tensegrítica a escala real con bambú, con nodos en metal y cable de acero y finalmente, se hacen algunas recomendaciones para el diseño futuro basado en esta experiencia.

Palabras clave: Tensegridad, bambú, diseño.

ABSTRACT

The following paper describes some basic principles for designing tensegrity structures, as well as elemental notions for working these with bamboo. The work of students is shown, with previous instruction on the matter for the understanding of these basic principles and notions of tensegrity structures with bamboo, and making a scale model of a cultural and academic pavilion. Moreover the documentation of the construction of a structure in real scale is presented, showing the assembly with bamboo, metal nodes and steel wire. Finally some recommendations are made for future design based on this experience.

Key words: Tensegrity, bamboo, design.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una demanda real para optar por elementos alternativos en cuanto a materiales y a sistemas constructivos, por lo que es plausible proponer sistemas estructurales que funcionen de manera independiente, que sean económicos en su montaje y que se muestren innovadores estructuralmente; que funcionen sin la necesidad de cimentación y con elementos que estén sometidos puramente a tracción y compresión, estamos hablando entonces de una estructura tensegrítica (Lonardo, 1992: 35).

De igual forma, conocer el bambú, implica saber que este recurso natural tiene una gran capacidad de producción de biomasa en corto tiempo; sirve entre muchas otras cosas para regular el cauce de los ríos, evita la erosión del suelo o embellece el paisaje (Maury, 2009: 58). Al crecer, genera un proceso de purificación de tipo aerobio, no genera huella ambiental debido a que se autopropaga fácilmente y su mantenimiento es mínimo, además genera fauna de sombra, sotobosques y microclimas; por ejemplo, sus hojas caulinares se ocupan para producir alimentos o papel, entre muchas otras ventajas.

El montaje de una estructura tensegrítica con bambú, es una interesante combinación para proponer diseños innovadores de carácter experimental y además, con carácter económico y sustentable en aras de mejorar la calidad de vida de los espacios para exposiciones y convivencia de los estudiantes en la universidad.

El trabajar con un grupo de alumnos para adquirir experiencia para modelar un objeto de este tipo a escala, implicó poner en práctica algunos principios básicos de la teoría de estructuras tensegríticas y además, entrar en contacto con la naturaleza propia del bambú. Con este conocimiento elemental y puesta en práctica, mediante maquetas a escala, se procedió a la construcción experimental de una estructura a una escala mayor, de la que se obtuvieron otro tipo de vivencias, tales como conocer los límites de los materiales en la práctica, la resistencia del cable de acero, la realidad estructural del bambú tipo guadua, y por supuesto, la necesidad de diseñar un nodo único, hecho en sitio con tubo de metal; aunado al aprendizaje de las cuestiones técnicas y problemas de montaje y control de las herramientas básicas para la construcción final.

Todo esto sin duda, se traduce en un proyecto que comenzó con carácter de diseño experimental y que se continuó como una experiencia materializable que muestra un potencial enorme como alternativa de diseño arquitectónico y estructural. Sigue una metodología en la que se comienza induciendo conceptos básicos y teóricos acerca de la tensegridad y el bambú; proponiéndose posteriormente, ejemplos prácticos en base a maquetas y modelos virtuales, finalizando con la documentación del proceso de construcción y montaje a escala real.

TENSEGRIDAD

Las ventajas de este tipo de estructuras son relevantes, debido a la disminución de elementos a compresión, la reducción de mano de obra, el rápido montaje; óptimo funcionamiento de los elementos constructivos, huella ambiental mínima, espacios diáfanos, innovación estructural y una considerable mejora en la calidad de vida espacial y por ende, cultural (Hoyos, 2009: 65). Los ejemplos de estructuras tensegríticas, los encontramos desde el propio átomo en el cuerpo humano y hasta en el Sistema Solar. Se atribuye su origen y lógica estructural a Fuller, Snelson y Emmerich (ver Fig.1 y 2).

PATENTES			
inventor	título	presentada	concedida
RS Fuller	Tense-integrity structures	31 ago 1959	13 nov 1967
KD Snelson	Continuous tension, discontinuous compression structures	14 mar 1960	14 mar 1965
DG Emmerich	Construction de réseaux autotendants	15 abr 1963	28 sep 1964

Fig.1. Origen y patentes de las estructuras tensegríticas

Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)

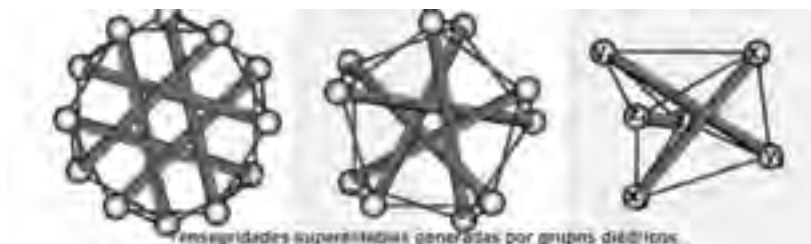


Fig.2. Principios matemáticos de la lógica tensegrítica

Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)

Si este sistema trabaja en óptimo comportamiento estructural, se plantea entonces la utilización de un recurso natural, como en este caso, el bambú guadua (especie *angustifolia kunth*) por tener capacidad estructural compatible con este tipo de estructuras.

BAMBÚ

Algunas ventajas y potenciales para diseñar con bambú, tomando como ejemplo el pabellón diseñado por Simón Vélez; son las siguientes (Hidalgo, 1981: 61), (ver Fig.3):

- Expresión de sensualismo, simetría y ritmo, vértigo espacial, inestabilidad y osadía; curvas que crean una perspectiva visual infinita.



Fig.3. Pabellón en Alemania, por Simón Vélez, 2000
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)

Algunas ventajas en su utilización ambiental:

- Regulan el agua de los cauces de los ríos, controlan la erosión del suelo, aportan materia orgánica, conservan la biodiversidad y purifican el agua.

En la construcción, es muy versátil debido a su naturaleza fibrosa y por la cantidad de celulosa y poca cantidad de lignina (ver Figura 4). Éstas se pueden utilizar para realizar cuerdas, mobiliario y artesanías. El rizoma se puede utilizar también para la fabricación de juegos infantiles, artesanías y mobiliario. Resiste muy bien a la tracción debido a la cantidad de fibras y epidermis dura, lo cual lo hace comparable al comportamiento del acero. Es por eso que es denominado a veces, como el acero natural. Además, resiste muy bien ante movimientos sísmicos, debido a su sección circular, pues es un material hueco lo cual concentra la carga a la periferia, reduciendo el giro por la simetría que maneja en sus anillos además de ser muy liviano (Villegas, 2003: 125).

Ventajas en la industria de la construcción (Eraso, 2010: 98):

- Rápido volumen de crecimiento y regeneración; resistente para estructuras de construcción, versátil y de fácil adaptación.

Con este material se pueden generar una gran variedad de pisos laminados y aglomerados (ver Fig.4). Además, se pueden rellenar sus entrenudos de diferentes químicos o materiales para convertirlo en un

material más térmico o acústico, de tal forma que es posible mejorar sus propiedades físico mecánicas, combinándolo con otros materiales.



Fig. 4. Ejemplo en la industria de la construcción, para un piso interior
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)

TENSEGRIDAD CON BAMBÚ

Inicialmente, se trabajó un taller de inducción, para que un grupo de alumnos fuesen capaces de reproducir un diseño tensegrítico básico, mediante una maqueta a escala hecha de madera, anillos e hilo elástico (ver Figura 5a a 5d). El objetivo fue, que el alumno comprendiese la lógica de los grupos diédricos para diseño tensegrítico; para unir las piezas y crear estabilidad, aparte de las cuestiones técnicas al manipular el material a esta escala.



Fig. 5a, 5b y 5c. Trabajo e inducción con un grupo de estudiantes
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)



Figura 5d. Maqueta a escala, hecha de madera, anillos e hilo elástico
 Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)

Posteriormente se trabajó en un taller, el diseño de los nodos en acero y se hicieron pruebas con el tensado de los cables (ver Fig. 6a, 6b y 6c):



Fig 6. Pruebas de montaje en el taller
 Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)

Más adelante, se comenzó el montaje en el sitio, con la colocación de piezas de bambú guadua en los casquillos de acero, con los cables fijos en todos los nodos; con ayuda de un grupo de alumnos para poder maniobrar y trabajar con el peso del bambú adecuadamente (ver Fig.7a, a 7g).



Fig.7a. Fijación del Bambú *Guadua angustifolia Kunth*, con ayuda de 5 personas para mantener estabilidad y facilitar las maniobras de montaje
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)



Fig.7b. Detallado de los???, con lo liviano de la estructura se rotaba para detallar los nodos ya tensados
Fig. 7c. Supervisión de la correcta posición de las barras de Bambú *Guadua angustifolia Kunth* para lograr su estabilidad, y con las barras trabajando al ángulo previsto
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)



Fig.7d. Soporte de las barras de bambú *guadua angustifolia Kunth* para poder abrir la estructura de forma convexa
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)



Fig. 7e. Tensado y ajuste de la estructura
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)



Fig. 7f. Con la estructura tensegrítica ensamblada y montada se puede apreciar una estabilidad que es muy gratificante y que despierta diferentes sensaciones espaciales al ver barras de bambú flotando por medio de cables unidos entre sí de manera muy ligera y estable
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)



Fig. 7g. Equipo de estudiantes participantes en el montaje final de la primera etapa
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)

CONCLUSIONES

Mediante esta experiencia, se puede concluir que el método de construcción y montaje a base de tensado de cable de acero y el diseño del nodo en tubo, ha dejado un aprendizaje bastante práctico en alumnos y maestros, ya que el hecho de llevar a la realidad una estructura de este tipo, a esta escala, implicó una capacitación teórica previa; el trabajo en equipo para resolver problemas técnicos al manejar el material y corregir y ajustar los ensambles. De tal forma que es posible optimizar cada uno de los pasos en tiempo y forma para un futuro trabajo con este tipo de estructuras.

En cuanto a la función del sistema tensegrítico con bambú, en donde el único material artificial fue el acero, nos hace pensar en la posibilidad de sustituirlo y utilizar raíces como mimbre yarey o bejuco, conocidos estos como acero natural; y crear un sistema puramente ecológico y sustentable ya que, si se sabe llevar una correcta ejecución en base a un módulo, para formar configuraciones basándose por ejemplo, en la geometría fractal, donde un patrón se repite a diferentes escalas, se puede llegar a un perfecto equilibrio con posibilidades de ampliarse y crecer espacialmente (Mandelbrot, 2002: 18).

Es importante señalar que una de las aplicaciones de las estructuras tensegríticas y su relación con la calidad de vida en el espacio habitable, es increíblemente innovador, ya que produce una sensación muy expresiva de ligereza, y es funcional al mismo tiempo. Al construirlas con bambú se añade un valor adicional por considerarse un material ecológico.

Cuando se comenzó a construir la estructura final se pensó que su función final debía ser la de un pabellón cultural universitario. El trabajo posterior y basado en esta experiencia, consistirá en completarlo con una cubierta lonaria o modular para utilizarlo como una estructura desmontable y transportable que funcione con carácter de arquitectura efímera (ver Fig.8a y 8b).



Fig. 8a. Diseño de posible cubierta con lonarias para el pabellón académico y cultural
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)



Fig. 8a. Diseño de posibles cubiertas alternativas para el pabellón académico y cultural
Fuente: Imagen proporcionada por el autor (2012)

FUENTES DE CONSULTA

1. Eraso O., Ivan M.(2010), *Vivienda sismo resistente en Guadua*, Universidad Piloto de Colombia, Colombia.
2. Hidalgo L., Oscar (1981), *Manual de construcción con bambú*, Estudios Técnicos Colombianos Ltda, Colombia.
3. Hoyos M., Juan M. (2009), *Las estructuras de Tensegrity*, Colección punto aparte, U. Nacional, Colombia.
4. Lonardo, Emilio (1992), *Le strutture tensegrali. In copertina: K.Snelson. 5 degrees*, Italia.
5. Mandelbrot, Benoit (2002), *La geometría fractal de la naturaleza*, España, Tusquets.
6. Maury M., Marcel A. (2009), *La esencia del árbol*, Colección punto aparte, U. Nacional, Colombia.
7. Villegas, Marcelo (2003), *Guadua Arquitectura y diseño*, Villegas editores, Colombia.