

bamboo space.....proyecto de investigación

***bambu : recurso sostenible
para estructuras espaciales***

arq. tim martin obermann.....ing.civil ronald laude

universidad nacional de colombia.....sede medellín.....2003/2004

• introducción.....	3
el material	4
• antecedentes de construcción	5
• ventajas / desventajas	6
• propiedades mecánicas de la "guadua".....	7
• la "guadua" en comparación	8
una nueva unión	9
• antecedentes	10
• inspiraciones	11
• la propuesta.....	12
• montaje y resistencia	13
aplicación	14
• proceso del diseño de un prototipo	15
• diseño final.....	16
• preparaciones	17
• la estructura	18
• la membrana.....	19
anexo	20
• resultados de los calculos	20
• otros diseños de bamboo space	21
• bibliografía	22
• contacto	23

introducción

El bambú nos fascinó desde que lo vimos por la primera vez. Su estética, su extraordinariedad, sus secretos y su gran potencial nos motivaron de acercarnos a él.

Aunque los múltiples usos del bambú tienen una larga tradición en América Latina y Asia, el bambú está todavía muy subestimado y poco conocido en el campo de la construcción actual. Los usos más comunes son casas en bahareque, artesanía o muebles y solo pocos lo aplican para estructuras modernas.



Fig. 1 – bambú en Colombia



Fig. 2 – „*Guadua angustifolia Kunth*”

Pero justamente hoy en día se necesita el desarrollo técnico de los recursos naturales y renovables para poder construir de una manera sostenible que nos permita una calidad de vida a largo tiempo.

Esta investigación quiere participar en la búsqueda de encontrar nuevas formas para el uso del bambú porque creciendo rápido y siendo muy resistente, el bambú es muy competitivo con respecto a otros materiales.

La idea principal de esa investigación es aplicar al bambú las técnicas modernas de estructuras livianas, espaciales y flexibles de acero o madera.

Esa documentación consiste en las tres partes siguientes:

1. El material bambú y en especial la especie “*Guadua*”
2. Una nueva propuesta para uniones constructivas
3. La aplicación de la investigación para la construcción de un pabellón como prototipo de la unión

El proyecto y la realización del pabellón sólo fue posible gracias al apoyo de las siguientes personas y entidades. Les queremos agradecerlo mucho.

Universidad Tecnológica de Berlín y el DAAD – Alemania, ICETEX - Colombia
Tomas Nieto, Eugenia Gonzales, Josef Farbiaz - Universidad Nacional Sede Medellín
Horacio Valencia, Francisco Cardona - Empresas Públicas de Medellín
Ximena Londoño, David Trujillio, Oscar Montoya - Sociedad Colombiana del Bambú
C.I Maderinsa S.A., Conconcreto S.A., Sintéticos S.A., IKL S.A., Agroguadua S.A.

Tim Martin Obermann y Ronald Laude, Medellín Agosto 2004

el material

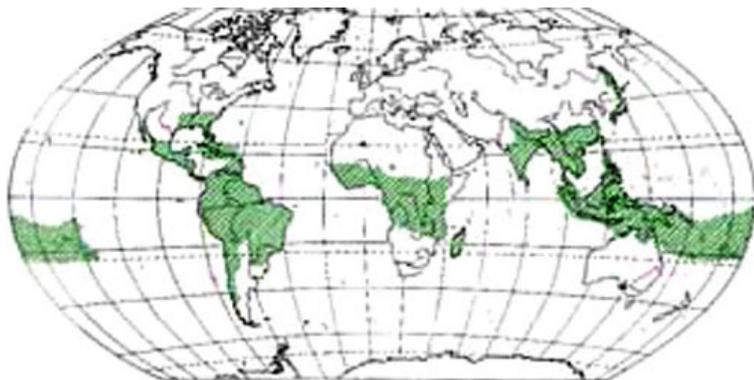


Fig. 3 – presencia de bambú en el mundo



Fig. 4 – varios especies del bambú

El Bambú es un “pasto gigante”. Sus muchas especies se encuentran en clima trópico y templado en Asia, America y Africa. (ver Fig. 3) Algunas especies son tan pequeñas que se las puede comer pero otras son muy grandes y resistentes. (ver Fig. 4)

En general, el bambú crece muy rapidamente y puede llegar a una altura de 10m a 20m en menos que un año. Tiene la forma de un tubo ligeramente cónico y el diámetro exterior puede variar de 3cm a 25cm según la especie.

Aquí no hay espacio para una clasificación taxonómica y morfológica. Se recomienda la literatura de Walter Liese(B1). Oscar Hidalgo (B2). Ximena Londono (B3) etc.

La “Guadua angustifolia Kunth” es una de las muchas especies del bambú. Su diámetro exterior tiene un promedio de 12cm y un diámetro interior entre 8-10 cm. La guadua llega en sólo 6 meses a una altura hasta 12m y obtiene su madurez después de 3 años. (ver Fig. 5)

Uno lo encuentra en America Latina y especialmente en el eje cafetero de Colombia. (B3) Gracias a su alta resistencia, la guadua es la especie mas utilizada de los bambús en America Latina. Por eso, la siguiente investigación se refiere especialmente a la guadua.

Aunque ya existe mucha experiencia en el uso de la guadua y se hicieron varios investigaciones (B4), todavía la guadua produce varios prejuicios. Este bambú no es ni “el acero vegetal” ni “la madera de los pobres”.

Cabe decir que existen varios otros especies del bambú que tienen propiedades físicas parecidas y se podrían aplicar las mismas técnicas que se van a presentar aquí.



Fig. 5 – “guadua angustifolia kunth”

antecedentes de construcción



Fig. 6 – juegos de bambú en Asia



Fig. 7 – puente tradicional de guadua en Colombia



Fig. 8 – puente actual de guadua en Colombia de Jörg Stamm



Fig. 9 – pared de bahareque

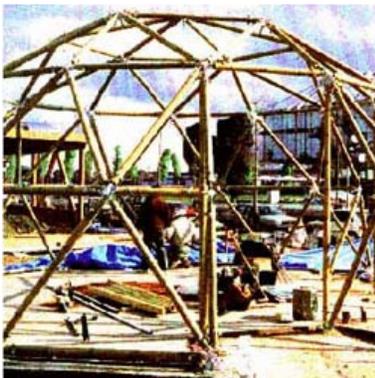


Fig. 10 – cúpula geodésica de S.Yoh



Fig. 11 – pabellón de guadua en Colombia de Simón Velez

El uso de la guadua tiene una larga historia. Por ejemplo en Colombia, la guadua desde siempre hizo parte de los materiales de construcción de fácil acceso y bajo costo. Técnicas tradicionales son por ejemplo puentes con uniones de simples cuerdas o casas populares con paredes de bahareque. (ver Fig. 6,7,9)

Hoy en día, las construcciones de guadua más conocidas son los puentes del carpintero alemán Jörg Stamm (ver Fig. 8) y los pabellones del arquitecto colombiano Simón Velez (ver Fig. 11). Los ensayos para estructuras espaciales como la cúpula geodésica de Shoji Yoh en Japón por ejemplo son todavía muy pocos. (ver Fig. 10)

ventajas / desventajas

- + El bambú tiene muy buenas cualidades físicas para un material de construcción.
 - Es un material *liviano* que permite bajarle el peso a la construcción y que es un factor muy importante para construcciones sismoresistentes.
 - Especialmente sus fibras exteriores la hacen *muy resistente* a fuerzas axiales.
 - La *relación entre peso - carga máxima* y su *forma tubular* apto para fuerzas axiales lo convierten en un material perfecto para estructuras espaciales en donde trabajan solamente dichas fuerzas axiales.
 - El rápido crecimiento del bambú lo hace *económicamente* muy competitivo.

- + En el contexto ecológico el uso del bambú juega un papel muy importante (B5).
 - El bambú es un *recurso renovable y sostenible*.
 - Su rápido crecimiento y la alta densidad de culmos por área significa una productividad muy importante de la tierra y una *biomasa considerable* (B6).
 - El bambú se utiliza como planta de *reforestación* (B7).
 - Si el bambú lograra reemplazar la madera o el acero en algunas construcciones, *la tala de la selva tropical se disminuiría* por una demanda que cambiaría.
 - La manipulación del bambú desde el lugar donde crece (gradual) hasta la obra necesita *muy poca energía*; la diferencia de la cantidad de energía y gastos que se necesita en su proceso es muy grande con respecto al acero u otros materiales en obras parecidas. (B8)

- Inconvenientes propios del bambú
 - La resistencia a fuerzas perpendiculares a las fibras (cortante) es muy baja lo que significa que el bambú *tiene tendencia de rajarse* fácilmente paralelo a las fibras.
 - Una construcción de bambú necesita una protección por diseño que asegure que el bambú no recibe directamente *ni humedad, ni rayones directos del sol*.
 - El bambú coge fácilmente *fuego* y como es vacío se quema rápido.
 - Todavía no se estableció una técnica confiable de inmunización contra *hongos*.

- El bambú es un recurso natural que no se puede estandarizar
 - El comportamiento del bambú *puede variar mucho* con respecto a la especie, al sitio donde crece, a la edad, al contenido de humedad y a la parte del culmo o de la sección que uno este utilizando.
 - Aún no existe *ningún código oficial* que ofrezca una norma de clasificación para el uso estructural del bambú.
 - Se necesita un buen *mantenimiento* para la durabilidad.

propiedades mecánicas de la "guadua"

Aunque todavía no existe ningún código, ya se hicieron varios ensayos que nos permiten conocer las propiedades mecánicas de la guadua - como fuerzas de rotura, deformaciones en el límite proporcional y recomendaciones para fuerzas admisibles.

Los distintos resultados están variando en sus especificaciones y en sus valores, pero ya se puede concluir un promedio de resistencias mínimas de todas las investigaciones.

A dichos valores todavía hay que aplicar factores de seguridad para conocer las fuerzas admisibles. La siguiente tabla presenta los valores con los que trabaja bamboo-space.

Autor / Año	Especificación	Compresión	Tracción	Flexión	Cortante	MOE
Martin, Mateus, Hidalgo 1981, Bogotá (B9)	ED 3-5 años DB 0.8g/cm ³ CH ≤ 30 %	6.29 σ_{max} 4.90 σ_{prom} 3.50 σ_{min} 2.80 σ_{lp}	20.00 σ_{max} <i>fibra exterior</i> 7.00 σ_{max} <i>fibra interior</i>			1200 σ_{max} 600 σ_{min}
Garcia, Martinez 1991, Quindio (B10)	ED 4-5 años DB 0.7g/cm ³ CH ≤ 30 % <i>Macana</i>	3.80 σ_{prom} 3.43 σ_{min} 1.35 σ_{adm}		3.00 σ_{prom} 1.75 σ_{min} 0.60 σ_{adm}	0.38 σ_{prom} 0.23 σ_{min} 0.11 σ_{adm}	300 σ_{prom} 250 σ_{min}
Gonzalez, Diaz 1992, Medellín (B11)	DB 0.6g/cm ³ <i>Macana</i>	3.43 σ_{max} 1.76 σ_{lp}		6.24 σ_{max} 3.40 σ_{lp}	0.66 σ_{min}	1250 σ_{max}
Trujillio, & Lopez L. F. 2000, Medellín (B12)	ED 3-5 años DB 0.7g/cm ³ CH ≤ 30 %	6.50 σ_{max} 4.38 σ_{prom} 2.80 σ_{min} 1.40 σ_{adm}	7.40 σ_{max} 5.40 σ_{prom} 3.50 σ_{min} 2.60 σ_{adm}	<i>calculado</i> 1.50 σ_{adm}	0.80 σ_{max} 0.60 σ_{prom} 0.43 σ_{min} 0.11 σ_{adm}	1200 σ_{prom} 600 σ_{min}
FMPA, ZERI Stuttgart, 1999 (B13)	<i>culmos</i> $\lambda=10$ <i>enteros</i> , $\lambda=56$ $\lambda=86$	5.60 σ_{prom} 3.90 σ_{prom} 2.70 σ_{prom}	9.00 σ_{prom} 1.80 σ_{lp}	7.40 σ_{prom} <i>calculado</i>	0.43 σ_{prom} 0.11 σ_{lp}	1800 σ_{prom}
<i>resistencia mínima</i>		3.00 σ_{min}	5.00 σ_{min}	3.00 σ_{min}	0.40 σ_{min}	600 σ_{min}
<i>fuerzas admisibles</i> (B14)		1.50 σ_{adm}	2.50 σ_{adm}	0.95 σ_{adm}	0.10 σ_{adm}	600 σ_{min}

Unidades en KN/cm²

E : MOE Módulo de elasticidad

CH : Contenido de Humedad

DB : Densidad Básica

ED: : Edad / Tiempo de Corte

σ_{max} : MOR Esfuerzo de Rotura máxima del ensayo

σ_{prom} : MOR Esfuerzo de Rotura promedio del ensayo

σ_{min} : MOR Esfuerzo de Rotura mínima del ensayo

σ_{lp} : RLP el límite de deformación proporcional

σ_{adm} : Esfuerzos admisibles por el autor del ensayo

la "guadua" en comparación

Para tener una idea cómo se comporta la guadua en comparación con madera o acero se hace un simple ejemplo de cálculos. Barras de los distintos materiales, cada una de 2.5m de longitud, de secciones comunes y con un peso parecido de 8.7kg sean sometidas a compresión. El ing. Civil Ronald Laude calculó la carga máxima se según EUROCODE 3 y 5 y con caso de Euler 2.

compresión a una barra de 2.5 m y 8.7 kg de materiales distintos	Madera tipo B EC5 S10/MS10	Guadua EC5	Acero, A36 EC3 S235
Densidad g/cm ³	0.55	0.7	7.8
E-Modul KN/cm ²	740	600	21000
Fuerza adm. a compresión KN/cm ²	1.1	1.5	23.5
Sección	 D=9cm	 D=12cm d=9cm	 D=5.1cm d=4.5cm
Area A cm ²	63.6	49.5	4.4
Inertia I cm ⁴	322.1	695.8	12.7
Esbeltez λ	111.1	66.7	147.2
Peso kg	8.7	8.7	8.7
Fuerza max adm. KN	15.1	25.6	27.6
Precio / metro Colombia / Alemania €	2 5	1 3	4 8
ECOCOSTO $\frac{M/m^3}{N/mm^2}$ (8)	80	30	1500

El ejemplo nos enseña que gracias a su forma tubular la guadua tiene una esbeltez y un radio de giro muy favorable con respecto a las secciones de madera o acero con un peso igual. Resulta que la guadua resiste mucho mas que la madera y en cuanto a la relación entre fuerza máxima y peso la guadua presenta un valor interesante ya que se aproxima al acero. Uno sí podría aumentar la sección del tubo de acero pero se aumentaría igualmente el peso y el precio. Y si observamos los costos económicos y ecológicos la guadua tiene los mejores valores comparativamente.

Se puede concluir que la guadua es muy apta para estructuras livianas y espaciales en donde aparecen fuerzas axiales.

una nueva unión

El capítulo anterior nos demostró que la guadua es muy liviano y resistente. Vimos que a un elemento de guadua ($D=12\text{cm}$; $d=9\text{cm}$) con una longitud de 2.5 m se puede aplicar una carga máxima de compresión de 25 KN y para tracción ya sería una carga hasta 100 KN.

Pero cualquier estructura falla en su punto mas débil. El pequeño detalle de la unión es una determinante clave para el diseño y la construcción. Justamente para la guadua el aspecto de las uniones es muy importante.

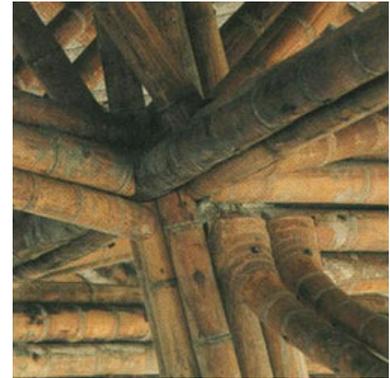


Fig.12 – union con mortero - S.Velez

Tradicionalmente lo mas común es unir dos guadas de una manera muy manual; con cuerdas, con un pasador o formando una caja que se llama "boca de pescado". La ventaja de estas uniones es que son económicos, sencillos y fácil de hacer pero sin embargo estos tipos de uniones no permiten aplicar grandes fuerzas. (ver Fig. 13,14)

Hoy en dia el tipo de unión mas utilizado en las construcciones existentes es la unión tipo Simón Vélez (B15), en donde dos o tres entrenudos de la guadua se llenan con mortero y se colocan barrillas de acero longitudinalmente o paralelamente. (ver Fig. 12,15)

Aunque esta unión esta muy aceptada, en la práctica se puede anotar algunas desventajas. a) llenando la guadua con mortero se pierde la livianidad. b) El mortero y la guadua se comportan muy distinto con respecto a la humedad o la temperatura; puede ocurrir que el mortero se afloje al interior de la guadua o que la aplaste. d) Las fuerzas admisibles de esta unión tampoco alcanzan el potencial de la guadua. Según varios estudios (B26) no se recomienda aplicar cargas superiores a 10 KN.



Fig.13 – union manual con cuerda



Fig.14 – union con "boca de pescado"



Fig.15 – mortero y pasador – J.Stamm

Hasta ahora ningún tipo de uniones permite aprovechar la alta resistencia de la guadua.

La finalidad de esta investigación es la propuesta de una nueva unión para la guadua que aprovecha su resistencia y que sea óptima para estructuras espaciales y flexibles.

antecedentes

En el mundo ya existen varios nuevos ensayos y técnicas como unir la guadua. Pero todavía ninguna se estableció a gran escala en el campo de construcción y sólo algunas sirven para estructuras espaciales. Además, se publicaron pocos estudios sobre la resistencia de las uniones. Aquí se van mostrar sólo algunas posibilidades que se estudiaron en el contexto de esta investigación antes de presentar la propia propuesta.

La empresa "BAMBUTEC" (B16) y el holandés Oscar Antonio Arce-Villalobos (B17) hicieron ensayos de conectar el bambú entrandolo en piezas de madera perforada (ver Fig. 16). El arquitecto alemán Christoph Tönges y la Universidad RHTW-Aachen (Alemania) (B18) recopilan una idea de C.H. Duff (B2) que propuso en 1941 un sistema que consiste en un elemento cónico al interior del bambú y un segundo elemento que sirve como cinta alrededor del bambú para que el primero elemento no salga a tracción. La cinta puede ser de acero (ver Fig. 17) o de fibras de vidrio (ver Fig. 20).

Otra técnica se aplicó por el arquitecto italiano Renzo Piano (B15) quien hizo ensayos de formar uniones a base de platinas de acero soldadas (ver Fig. 18)

Y Simón Velez (B15) por ejemplo optimizó la técnica de barilas longitudinales y mortero dentro de la guadua que se articulan en un apoyo de madera. (ver Fig. 19)

Ademas, los estudiantes colombianos, Juan Gutierrez y Raul Gomez (B19) ensavaron uniones a base de tornillos perpendiculares a la guadua (ver Fig. 21)



Fig.16 - unión con madera - BAMBUTEC



Fig.17 - unión conica - C.Tönges



Fig.18 - unión con platina - R.Piano

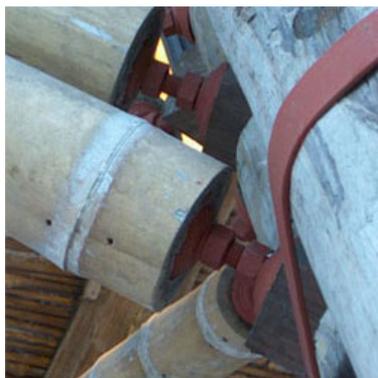


Fig.19 - unión con concreto - S. Velez



Fig. 20 - unión con platina - C.Tönges



Fig.21 - unión con tornillos - Gutierrez

inspiraciones

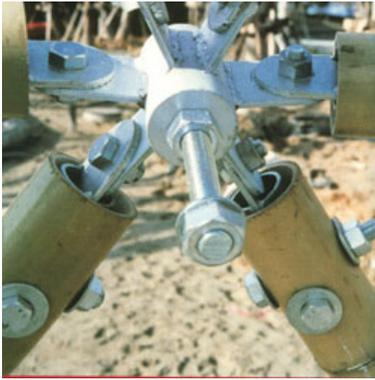


Fig.22- unión con tornillos – S.Yoh

Estudiando las propuestas y resultados existentes lo mas eficiente nos parece utilizar pasadores que transmitan la fuerza a un elemento de acero al interior de la guadua.

El japonés Shoi Yoh (B15) utilizó dos tornillos gruesos para formar las uniones de su cúpula geodésica. (ver Fig. 22) Y concluyendo los ensayos de Cesar Munoz y Hugo Rodriguez (B20) y de Jenny Garcón (B21) se recomienda la aplicación de una fuerza máxima de 6 kN a un solo tornillo de 13 mm para la guadua ($D=12\text{cm}$; $d=9\text{cm}$)



Fig.23- unión con tornillos – D.Trujillo

David Trujillio y Sandra Clavijo (B22) siguieron trabajando en ese sentido pero utilizando varios tornillos medianos. Con 12 tornillos de 7 mm mas uno de 13 mm lograron una resistencia máxima de 90 kN a tracción. (ver Fig. 23) Ellos recomiendan una distancia al borde de 10 cm y la carga aplicada no debe pasar de 20 kN para evitar una deformación mayor.

Además, los ensayos de Alejandro Restrepo (B23) aprobaron que se puede aplicar una carga hasta 4,5 kN a un solo tornillo de 10mm. (ya con factor de seguridad)

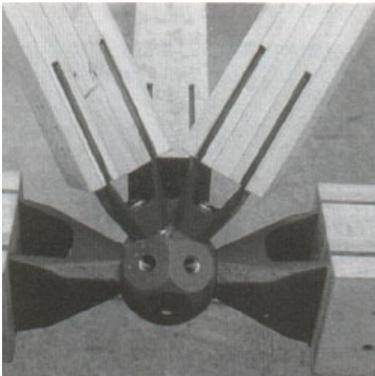


Fig.24- unión con esfera MERO

Una vez convencido de transmitir la fuerza a base de pasadores falta todavía determinar el diseño del punto de la conexión en si que permita angulos espaciales. Aquí nos hemos inspirado en una técnica que se elaboró para uniones tridimensionales en madera. Esta técnica consiste en un elemento de acero que entra por un extremo en la madera y el otro extremo se conecta con un tornillo a una esfera de acero. (B24) (ver Fig. 24) Estas esferas ya son comerciales y se utilizan mucho en estructuras espaciales de acero o madera. (B25).

Concluimos que el uso de varios pasadores medianos transmitiendo la fuerza de la guadua a un elemento de acero que se conecta a una esfera nos parece lo mas adecuado para una union resistente, liviana y apta para estructuras espaciales.

Cabe decir que la siguiente propuesta para una nueva unión fue solo posible gracias a las experiencias existentes y los ensayos o técnicas mencionadas en dichas inspiraciones. En ese sentido esta investigación se entiende como un producto de un desarrollo continuo a base de otros ensayos o investigaciones.

la propuesta

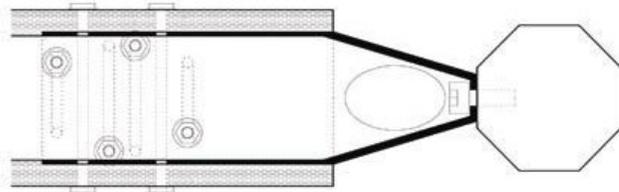


Fig.25 - esquema de la propuesta - T.Obermann



Fig.26 - dos elementos - T.Obermann

El objetivo de la propuesta es una unión que puede transmitir un máximo de fuerza, que es relativamente liviano, que tiene un alto nivel de prefabricación y que finalmente permite el montaje y desmontaje rápido y fácil para estructuras temporales.

La unión consiste en dos elementos. Primero un tubo de acero con un diámetro de 9 cm y 30 cm de largo que entra 20 cm en la guadua. Las fuerzas axiales se transmiten a través de varios pasadores perpendiculares que unen la guadua con el tubo interior. Además, el tubo tiene por el otro extremo una forma cónica con una apertura elíptica que permite colocar un tornillo para conectarse con el segundo elemento. Este es una esfera de acero que tiene un diámetro de 10cm y que ofrece hasta 16 roscas en ángulos espaciales y libres para varios elementos como guaduas, tensores o la base.

Las esferas tridimensionales ya existen en el mercado. Igualmente se pueden prefabricar esferas adaptadas a los distintos diseños para unir los elementos en cualquier ángulo.

Su fácil montaje y desmontaje convierte este sistema apto para arquitectura temporal.

El peso en sí de los elementos de acero que se necesitan para la unión es de aprox. 1.5ka que es mucho mas liviano que los uniones de mortero que pesan aprox. 3 ka.



Fig.26 - prototipo - T.Obermann



Fig.27- prototipo de la unión - Pabellon "Mariposa" T.Oberman + R.Laude

montaje y resistencia

El montaje: El concepto de este sistema esta basado en una alto porcentaje de preselección y prefabricación .

Se escogen solamente elementos de guadua de la parte inferior (cepa) con edad superior a los 4 años, lo mas recto posible, inmunizados, secados al aire durante 6 meses, y con un diámetro exterior mínimo de 12cm y sin defectos como por ejemplo ranuras.

El espesor de la pared en este caso tiene un promedio de 1.5cm y el diámetro interior es aproximamente 9cm. En algunos casos es necesario perforar ligeramente el interior de la guadua para darle cabida al tubo. La guadua y el tubo se perforan a la vez para colocar los pasadores. Los pasadores llevan arandelas y tuercas por ambos lados. (ver Fig. 28)

Se propone que la guadua recibe los elementos de la unión desde el proveedor y que en la obra se coloquen solamente las esferas.



Fig.28 – montaje – T. Obermann



Fig.29-prueba de carga- T. Obermann

La resistencia: Para determinar la resistencia de la unión se hicieron varios pruebas de carga con dicha guadua en la „Universidad Nacional, Sede Medellín, las Minas“.

Los determinantes fueron la rigidez de los pasadores, la deformación de las perforaciones de la guadua y el elemento cónico de acero.

Un solo tornillo de 9 mm resistió hasta un promedio de una fuerza max. de 10KN a tracción o compresión. Ya con seis pasadores de 9 mm la unión resistió a un promedio de 60 KN a fuerzas axiales. La guadua se comporto bien. Se observo sólo ligeras deformaciones de las perforaciones hasta que fallo el elemento cónico de acero por pandeo. (ver Fig. 29)

Paralelamente el Ing. Civil Ronald Laude hizo un estudio teórico que tiene en cuenta varios factores de seguridad y límites de deformaciones. Resulta que podemos recomendar el uso de esta unión con dicha guadua y seis pasadores hasta una fuerza a tracción o compresión max. de 30 KN. (B27) (ver anexo *calculos*)

aplicación

El sistema de uniones presentado en el capítulo anterior representa un avance grande para la construcción con la guadua. Por fin se puede aprovechar de su alta resistencia. Además esta unión puede convertir la guadua en una barra casi universal para estructuras espaciales y flexibles.

Usos posibles son por ejemplo cubiertas livianas de altas luces, puentes o estructuras temporales. Por el techo se puede escoger material liviano por ejemplo tejas de aluminio o membranas arquitectónicas.

Se recomienda utilizar culmos de 2mt - 4 mt de longitud y colocar las uniones ya en una fase de prefabricación. En la obra se ensamblan sola las barras con las esferas. Las mismas esferas tridimensionales también pueden recibir otros elementos como tensores o anclajes.

Antes de presentar el diseño de un prototipo se muestran algunas antecedentes de estructuras espaciales.



Fig.30-montaje – foto T.Obermann

Las estructuras espaciales tienen por objetivo cubrir altas luces con muy poco material y peso. Cada elemento recibe solo fuerzas axiales y las fuerzas se encuentran en los nudos tridimensionales sin momentos.

Su geometría compleja y sus varios usos producen una arquitectura muy interesante. Algunas construcciones típicas son por ejemplo mallas espaciales como en el techo de madera del arq. Brader (ver Fig.31) cerchas triangulares como en el puente de madera del arq. Dietrich (ver Fig. 32) las cúpulas geodésicas conocidas por Buckminster Fuller (B28) (ver Fig. 33) o construcciones de tensegrity (B29)



Fig.31-malla espacial de madera
Fallanden (Suiza)



Fig.32-cerchas triangulares de madera
München (alemania)



Fig.33-cúpula geodésica de acero
Montreal (Canada)

proceso del diseño de un prototipo

A base del triángulo que es lo esencial para la rigidez empezamos a diseñar un prototipo de guada. Los primeros intentos recopilan la geometría de una cúpula geodésica. El anillo es un pentágono que se basa en cuatro triángulos (ver Fig. 34). Pensando en opciones para poder colocar una membrana, los triángulos se convirtieron en tetraeder y el pentágono se vuelve en un hexágono para tener sólo tres apoyos. (ver Fig. 35,36,37). Luego se suben las bases de concreto para tener mas altura y el hexágono se convierte esta vez a un octágono para tener mas espacio. (ver Fig. 38,39).

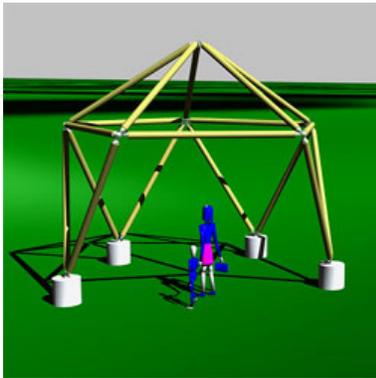


Fig.34-cúpula mínima rendering



Fig.37-hexágono con 4 tetraeders horizontales + membrana rendering

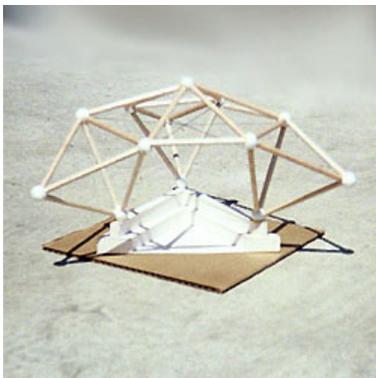


Fig.35-hexágono+tetraeder maqueta



Fig.38- octágono con 4 tetraeders horizontales + membrana rendering

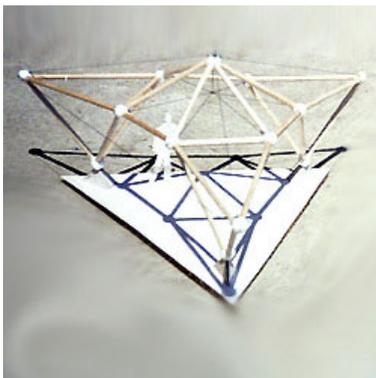


Fig.36-hexágono+tetraeder maqueta



Fig.39-octágono con 4 tetraeders horizontales + membrana maqueta

diseño final

Una vez determinado la forma exacta y todas las detalles del pequeño pabellón se le dio el nombre **Prototipo "Mariposa"** (ver Fig. 40) Él esta situado en el campo de la Universidad Nacional, Sede Medellín.

Las columnas tienen la forma de lápiz y una altura de 1.9 m para dar mas generosidad al espacio y para que la gente no se moleste con los cables diagonales que son nesecarios para la rigidez.

La "estrella" de elementos que están al interior del octágono se reúnen en un solo punto en donde sube además un elemento vertical que articula el punto alto de una membrane arquitectónica que cubre todo el espacio. Dicha membrana tiene sus cuatro puntos fijos en los extremos de los teraeders. A las esferas de esos extremos se coloca una platina especial que recibe la membrana y que permite pretensionar los cables del borde de la membrana para que ella obtenga su forma fija y diseñada.

Según los estudios de cargas, aquellas combinaciones y los cálculos de Ing. Civil Ronald Laude las fuerzas máximas ya con pretensión no pasan en ningún caso las fuerzas admisibles ni de los elementos de guadua ni de la unión.

(ver anexo -*calculos*-)

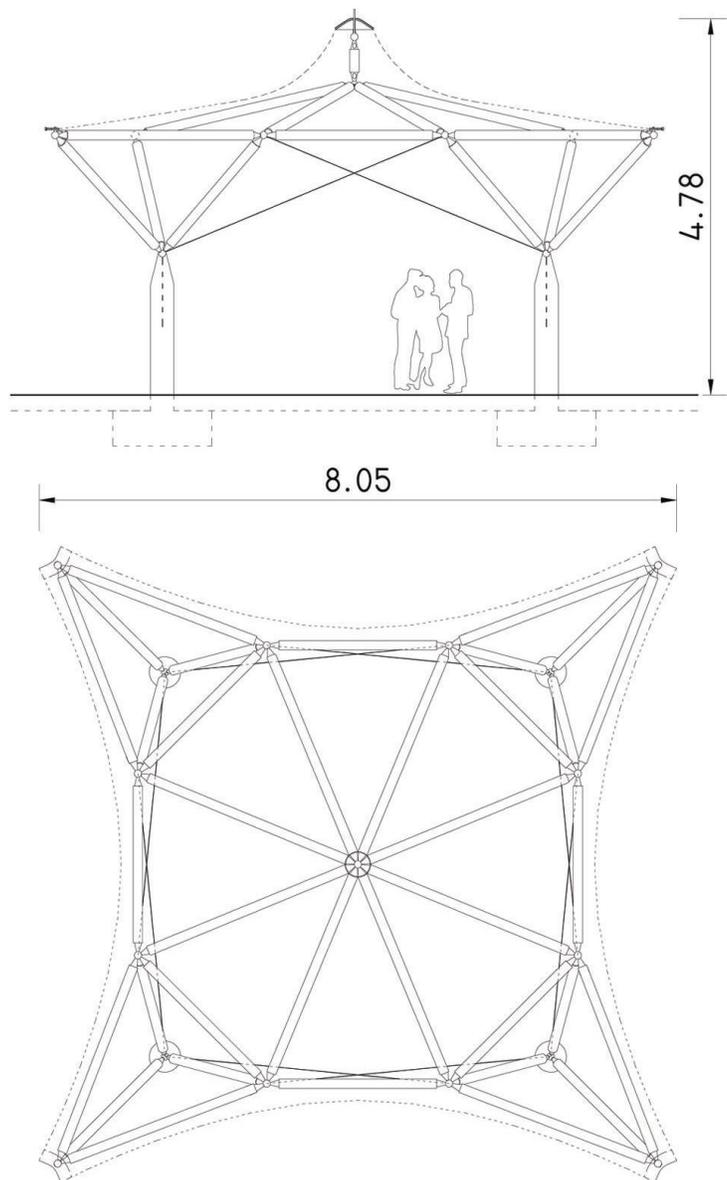


Fig.40-diseño final "Prototipo Mariposa"

diseño+ dibujo Tim Obermann

preperaciones

Primero se colocan los tubos para las uniones en la guadua ya inmunizada, bien seca y preseleccionada para llevarla a la obra lista. (ver Fig. 41,42) Las esferas y los tensores se organizan en la obra según su punto de instalación. (ver Fig. 43).

Para las columnas de concreto, nosotros decidimos llevarlas igualmente prefabricadas a la obra. Así, su montaje es fácil y rápido. (ver Fig. 44,45) Una barila roscada esta empotrada en la columna para recibir las esferas de base. (ver Fig. 46)

La membrana del techo se confecciona también con anticipación (ver Fig. 47,48,49)



Fig.41 -preselección de la guadua



Fig.42 -llegada de la guadua prefabric.



Fig.43 -organización de las esferas



Fig.44 -montaje de las columnas



Fig.45 -montaje de las columnas



Fig.46 -montaje de las primeras esferas



Fig.47 - corte des los moldes de la tela



Fig.48 -un de los 4 moldes principales



Fig.49 -sellado a calor de la tela

la estructura

Nuestra meta era montar rápidamente una estructura básica, que permite una cierta estabilidad en la estructura misma. De nuestros estudios resultó, que logramos esta meta, cuando cerramos el octágono del techo primero y colocamos los cables de las riostras (ver Fig.50, 51). Eso nos permitió seguir con pocas dificultades con el montaje para la estrella en el techo una una primer "prueba de carga". (ver Fig.52, 53). Los tetraeders que ya son para recibir la membrana se montaron lo último (ver Fig 54) Todo el montaje no se demoró mas que solamente dos semanas en total. (ver Fig. 55)



Fig.50-articulación con la columna



Fig.51- cierre del octágono



Fig.52- montaje de la estrella



Fig.53- prueba de carga



Fig.54- tetradeder



Fig.55 - estructura completa

la membrana

Para una estructura tan liviana, lo mas adecuado y bonito nos pareció escoger una membrana arquitectónica para cubrir el techo.

La membrana obtiene su doble curvatura gracias al punto alto en el centro de la estrella (ver Fig. 57, 61) y los cuatro puntos bajos de los extremos de los tetraeders que reciben los cables del borde de la membrana. (ver Fig. 58).

Una vez puesta (ver Fig. 56,57) y teniendo en cuenta la elongación lo mas delicado es aplicar la pretensión a la membrana que garantiza su forma exacta. (ver Fig. 59, 60)



Fig.56 – poner la membrana sobre la estructura



Fig.57 – articulación de punto alto



Fig.58 – pretension en los bordes



Fig.59 – membrana tensionada vista desde arriba



Fig.60 – pabellón completa con membrana



Fig.61 – detalle del punto alto

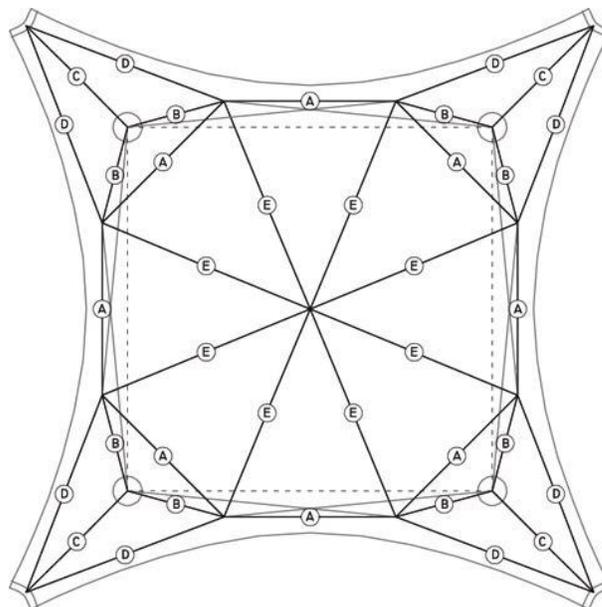
anexo

resultados de los calculos

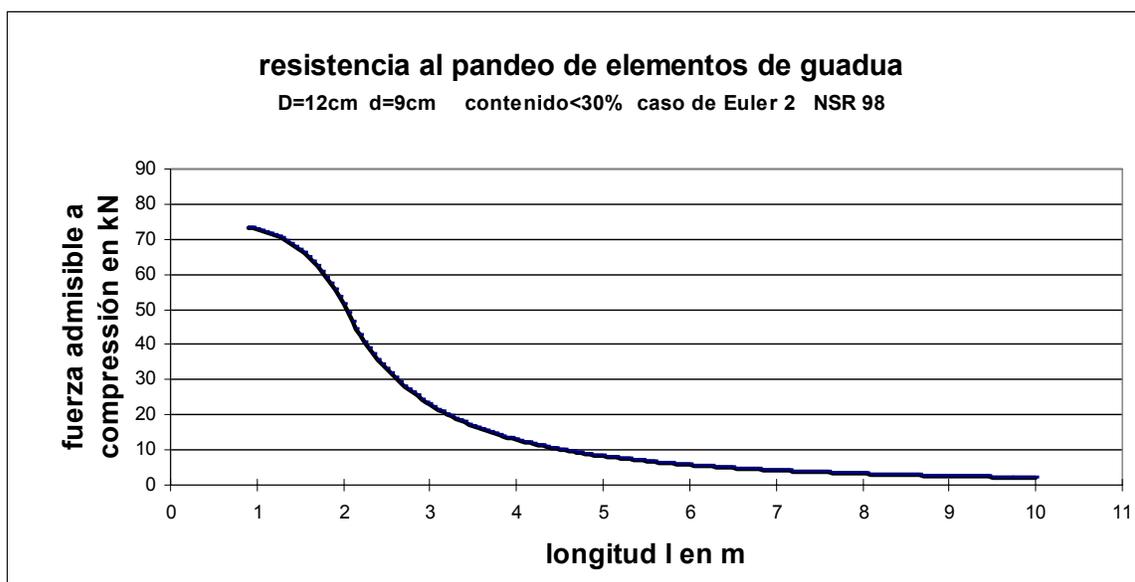
Una parte importante en el cálculo de la estructura del prototipo mariposa es el conocimiento de las cargas en los elementos de la guadua.

La carga depende del peso de la estructura misma que incluye en este caso la pretensión de la membrana. Además hay que tener en cuenta influencias como viento, carga sísmica y carga viva. El viento resultó como la carga principal para el pabellón.

Según el NSR 98 se hallan combinaciones de carga. A base de los cálculos resiste elemento a la carga máxima que resulta de la comparación de los combinaciones de carga.



posición	max tracción (kN)	combinación	max compresión (kN)	combinación
A	23,7	peso propio; carga viva; presión viento	21,2	peso propio; succión viento
B	0,3	peso propio; succión viento	9,7	peso propio; carga viva; presión viento
C	5,9	peso propio; succión viento	3,8	peso propio; carga viva; presión viento
D	-	-	14,5	peso propio; succión viento
E	2,25	peso propio; succión viento	21,09	peso propio; carga viva; presión viento
F	5,9	peso propio; succión viento	36	peso propio; carga viva; presión viento
cable	5,2	peso propio; succión y presión viento		



otros diseños de bamboo space

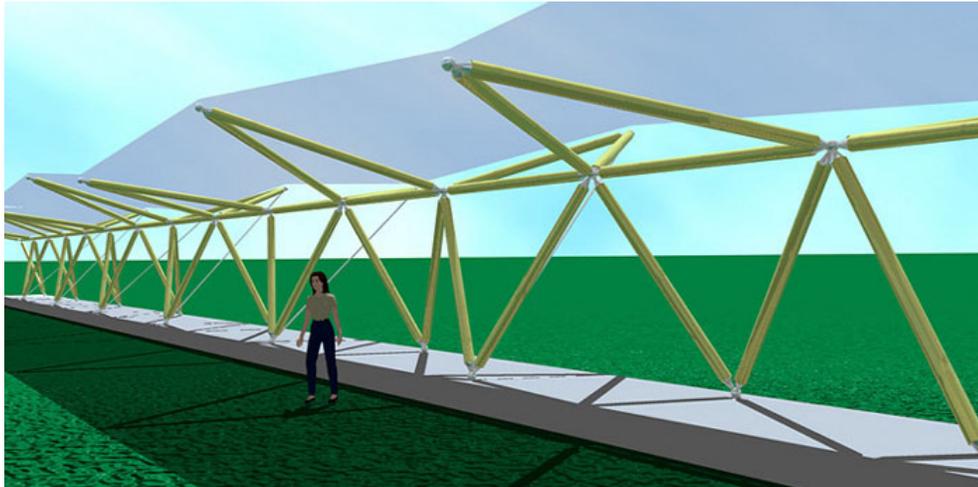


Fig. 62-diseño pergola

Tim Obermann

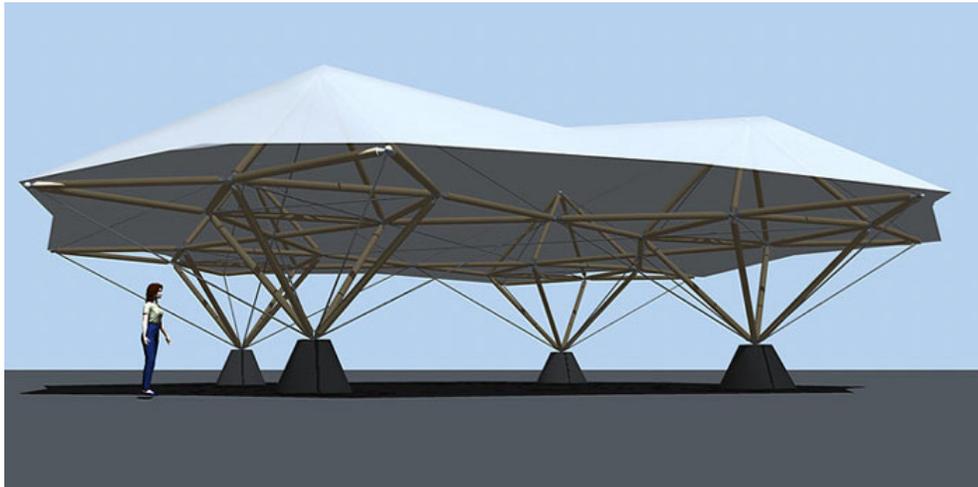


Fig.62-diseño mercado

Tim Obermann

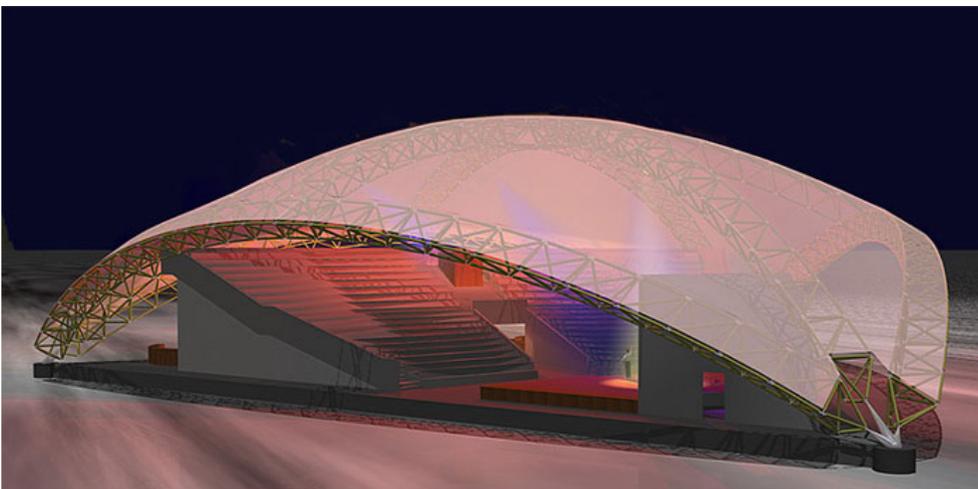


Fig.64-diseño teatro

Tim Obermann

bibliografía

- (1) 1980, LIESE, Walter : Anatomy of Bamboo Bamboo Research in Asia
- (2) 2003, HIDALGO LÓPEZ, Oscar : Bamboo, the gift of the gods
- (3) 1989, LONDOÑO PAVA, Ximena :Estudio botánico, ecológico, silvicultural y económico-industrial de las bambusoideae de Colombia.
- (4) 2001, ARBELÁEZ ARCE, Anacilia : evaluación de las investigaciones sobre el recurso guadua realizadas en colombia.
- (5) 1999,GIRALDO, Edgard y SABOGAL, Aureliano: La Guadua una alternativa sostenible, Colombia
- (6) 2000, "APORTES DE BIOMASA AEREA" Centro Nacional para el Estudio de Bambú- Guadua (2ton-4ton/ha/año) , Colombia
- (7) 1979, CORPORACION REGIONAL AUTÓNOMA MANIZALEZ SALAMINA ARANZAZU Posibilidades de reforestación con guadua. Fase I y II
- (8) 1990, JANSEN, Jules: Bamboo Research at the Eindhoven University of Technologie
- (9) 1981, Jose V. Martin B. and Lelio R. Mateus T., "Determinacion de la resistencia a la compresion paralela a la fibra de la guada castilla" Colombia
- (10) 1992, Olga Garcia and Dixon E. Martinez C. publicated in "Memorias del Evento: I Congreso Mundial de Bambu / Guadua" 1992 Pereira, Colombia
- (11) 1992, Eugenia Gonzales y John F. Diaz, "Propiedades fisicas y mecanicas de la guadua angustifolia kunth", Universidad Nacional
- (12) 2000, Luis F. Lopez M. and David Trujillo C., "Diseno de uniones y elementos en estructuras de guadua", Colombia
- (13) 2000, J. Lindemann and K.Steffens (), test results of „Forschungs und Materialprüfungsanstalt Stuttgart (FMFA)" publicated in „Der Bambus-Pavillion zur EXPO 2000 in Hannover", Germany
- (14) factores de seguridad según "Manual de madera de Grupo Andino 1984"
- (15) 2000, Simon Velez , "Bamboo - Grow your own house", Germany
- (16) Wallner Automation GmbH, Alemania, www.bambutec.org
- (17) 1993, Oscar Antonio Arce-Villalobos "Fundamentals Of The Design Of Bamboo Structures "Technische Universität Eindhoven" Holanda
- (18) Universidad RHTW Aachen, Alemania, <http://bambus.rwth-aachen/de/index.html>
- (19) 2002, Gutierrez y Gomez : "Diseño y elaboracion a escala natural de armaduras en guadua" Colombia
- (20) 1997, Munoz, Cesar y Rodriguez, Hugo : "Propuesta de uniones mecanicas para estructuras de guadua " Colombia
- (21) 1996, GARCON, Jenny : "Optimizacion de estructuras en guadua" Colombia
- (22) 2000, Trujillo, David y Clavijo, Sandra: "Evaluacion de uniones a tracción en guadua" , Colombia
- (23) 2003, Alejandro Restrepo: "Sistema tridimensional para estructuras en guadua" Colombia
- (24) 2001, Johann-Wilhelm Heyden, "Räumliche Knotenstabtragwerke", RWTH-Aachen, Alemanna
- (25) por ejemplo esferas tipo MERO - www.mero.com
- (26) 2002, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica "Manual de Construcción Sismo resistente de Viviendas en bahareque encementado"
- (27) 2004, Ronald Laude, Monografía "Uniones en construcciones espaciales y licianas en guadua angustifolia" Universidad Nacional, Colombia
- (28) 1972, Fuller, Buckminster : Geodesic Dome
- (29) 2001, Hoyos Mora, Juan : Tensegrity - estudio de posibilidades arquitectonicas, trabaja de grado, Universidad Nacional, Bogota

contacto

www.bamboo-space.info

Arq. Tim Martin Obermann tim.obermann@arcor.de

Ing Civil Ronald Laude ron.berlin@web.de

Oficina mail@bamboo-space.info

Colombia

Envigado- Antioquia: Carrera 46 Sur 42
Telefax: 3310609 - 2704533 - 2704953

Alemania

13127 Berlin, Blankenfelder Str. 23
Tel. 00 49 30 4404 6492



la guadua...chévere!