

CENTRO DE CONVENCIONES PUEBLA, PUEBLA, MEXICO 5, 6, 7 Y 8 MARZO 08

La Evolución de los Métodos constructivos en Bambú

Segundo Congreso Mexicano del Bambú
Puebla, México

Jörg Stamm

Asesor técnico internacional de Bambú.
Director de Ecobamboo,
Hacienda El Pailón, Candelaria, Valle,
Colombia. Tel. 0057 - 300 557 1021
joerg@joergstamm.com

Resumen

Esta conferencia da un paseo por la evolución de las construcciones con bambú en las zonas tropicales. Desde los primeros cobijos y estructuras arcaicas en bambú, se pasa a las construcciones tribales y tradicionales de varios países tropicales. Luego se explica con ejemplos de obras del Autor la transferencia tecnológica de la madera al bambú. Especial enfoque se da en los diferentes conceptos constructivos. Pero más allá de la simple consideración del bambú como una madera mas, se desarrollaron recientemente estructuras libres, que solo pueden funcionar con un material tan largo y ligero como estos pastos gigantes. Inspirado por las membranas anti-clásticas de Frei Otto y en lo artístico las superficies curvas y cuerpos torcidos de Frank Gehri se quiere llevar el bambú a la arquitectura moderna. Debido a la curvatura natural del bambú se pueden construir formas geométricas que serían muy complicadas de lograr en materiales industriales. Pero siguiendo la lógica innata de esta fibra natural se logra no solamente una estética muy orgánica. La utilización de este material ecológico amable no es solamente un sustituto de la madera, -el bambú impone un estilo nuevo en la arquitectura. Su sistema constructivo es fácil de entender, las técnicas son simples y pueden elaborarse hasta por personas no especializadas.

Abstract

This paper guides us through the evolution of Bamboo construction in tropical areas. Parting from the first shelters and archaic structures, it shows the development of tribal and traditional constructions of several tropical countries. Examples of buildings made by the author explain the technological transition of wood knowledge towards Bamboo. Special focus will be given to the different concepts of

construction. But beyond considering bamboo as simply another kind of wood, the structural development recently came up with a new generation of free structures, which only can be built with a long and light weight material like this giant grass. Inspired by the tensile membrane Structures the Olympic stadium in Munich of Frei Otto and the artistic and organic curves of the twisted surfaces built at the Bilbao Guggenheim by Frank Gehri, we want to bring Bamboo into modern Architecture. Due to the naturally curved bamboo pole we can easily build complex geometric forms that would be very difficult to achieve in industrial materials. Following the immanent logic of this natural fiber, we achieve a very organic esthetic. The use of this ecologically friendly material is not only a substitute for wood; -bamboo creates its own style in Architecture. Its construction method is easy to understand; the techniques are simple and can be worked out even with not specialized personnel.

Key words: Bamboo construction category, Eco-Architecture, Environmentally friendly materials, bamboo bridge, bamboo house, Bamboo Age.

Introducción

Desde tiempos inmemorables el hombre del trópico ha utilizado una gama de diferentes especies locales de bambú, como materia prima para sus casas, sus balsas, sus puentes, sus armas, herramientas y comida. Siendo también una de las plantas típicas del hábitat tropical litoral en África oriental, que conforma la cuna del hombre, se puede asumir que el bambú forma parte del primer "Kit" de herramientas de la humanidad. Desafortunadamente no es un

material duradero como las piedras bifaces. En algunos museos se encuentran vestigios de esta época en bambú, luego se ven cantidades de auténticos objetos útiles en bambú en las vitrinas de épocas posteriores, como en el Museo Nacional de Etiopía, donde se expone la famosa "Lucy". También en museos Etnológicos vemos generalmente una gran gama de herramientas y armas, flautas etc., confirmando el uso universal de los tallos huecos. Siendo el bambú una vara hueca era más fácil de cortar con un bifaz o un hacha de piedra (golpeando justo encima de un anillo), que los troncos macizos de árboles de madera de un similar diámetro, también era más fácil de transportar. Así que antes la edad de piedra deberíamos alocar la "edad del bambú". Mientras el Neolítico definitivamente está llegando a su fin hasta en las zonas más remotas de Nueva Guinea ha llegado el "machete", la "edad de Bambú" es muy esencial en la economía informal en muchas zonas rurales de Asia, África y América. A esto se agrega que en muchos países tropicales, tanto en zonas rurales como en invasiones urbanas, la vivienda es todavía construida en buena parte con bambú. El bambú no tiene la mejor fama entre estos moradores arriba mencionados. Debido a cambio cultural y el olvido de los métodos de curado y de preservación natural hay muchos problemas con xilófagos. La casa tribal estaba protegida por el saber tradicional de "protección por diseño", como grandes aleros y levantar la estructura sobre piedras de río para interrumpir la higroscopia del tallo, la ventilación permanente y la desinfección por el humo. A pesar que la preservación del bambú con bórax es una solución económica y confiable nadie aprecia una casa de vivienda social en Bambú, ni piensa quedarse mucho tiempo con su casa tradicional por el rechazo social. Al contrario en otros estratos sociales (aquellos que han vivido por lo menos una generación en la ciudad de cemento), se encuentra recientemente un nuevo auge de la arquitectura con materiales naturales. El bambú está en la mira de arquitectos modernos, las universidades investigan el comportamiento estructural. La clientela está dispuesta a pagar precios justos por una construcción natural y sana, pero con todas las garantías estructurales. El bambú es muy a menudo considerado como una madera hueca y los "sistemas constructivos" de la carpintería tradicional se prestan en muchos casos para la aplicación a este tubo largos. Pero más allá de componer simples estructuras de poste y viga se pueden diseñar estructuras con una lógica innata a este tallo largo y liviano. También se debe aprender las técnicas nuevas, para lograr luces más grandes y estructuras

más audaces, que empujan la arquitectura ecológica hacia nuevas fronteras.

Quiero definir algunas palabras: El término "sistema constructivo" arriba mencionado se difiere en "conceptos", "métodos" y "técnicas" usadas en la construcción. Sistemas tradicionales usan el "concepto" de poste y viga o el cono. La "técnica" es con boca de pescado, usando el machete, amarras con bejuco. En técnicas modernas se usan taladro y broca, con uniones de tornillos y cemento. Como método entiendo un procedimiento, como la prefabricación de cerchas en el suelo, en contraste a la manera tradicional de parar los postes uno por uno.

Objetivo

Se quiere analizar la evolución de las estructuras y proponer las siguientes categorías de sistemas constructivos con bambú rollizo.

Se expone un orden que se desarrolla desde lo más primitivo hacia lo moderno, teniendo como guía la historia del hombre. Todos nos consideramos modernos, aunque nos inspiramos en con gusto en conceptos arcaicos. Pero sistemas tradicionales como "poste y viga" no siempre encajan con materiales modernos y pecamos por desconocimientos de sistemas constructivos modernos. Para ilustrar la secuencia de la evolución en las estructuras, hay que arraigar la arquitectura en sus más remotos orígenes y llevarla a las obras ultramodernas. (Tensegity y laminados de bambú se excluyen todavía). Se demuestra que el bambú era usado desde la cuna de la arquitectura y cabe en todas facetas de la construcción contemporánea.

Método

A. Sistemas de construcción tradicional

1. Conceptos estructurales arcaicos
 - Ramas tejidas y cestas
 - Conos
 - Poste y viga
2. Casas tribales
 - Curado con luna y vinagrado
 - Bahareque
 - Amarres de bejuco y cuero
 - Boca de pescado
 - Techo curvo en fibras naturales
3. Construcción tradicional tecnificada
 - Preservación por inyección
 - Pasadores de acero
 - Relleno de canuto con mortero
 - Casas de varios pisos
 - Teja de barro o zinc (rectángulo)

B. Sistemas de construcción moderna

4. Estructuras con ingeniería
 - Preservación en tanque, bórax.
 - Cerchas compuestas
 - Uniones de alta resistencia
 - Cálculos estructurales
 - Planos y prefabricación
 - Levantamiento con grúa

C. Estructuras Ultramodernos

5. Estructuras reticuladas
6. Hypars (Paraboloides Hiperbólicos)
7. Estructuras con membrana tensada
8. Estructuras de conchas
9. Estructuras tejidas

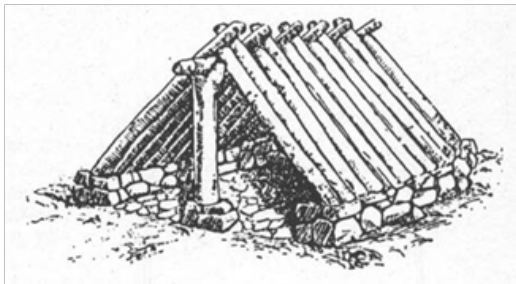
Descripción

La siguiente descripción de las categorías arriba mencionadas explica su carácter evolutivo y demuestra que cada paso es basado en las técnicas desarrolladas de sus antepasados. No siempre se permite una clara distinción, ya que algunas técnicas tradicionales mezclan conceptos estructurales. De igual manera se encuentran algunas técnicas ancestrales cooperando sin contradicción en construcciones ultramodernas.

A. Sistemas de construcción tradicional

1. Conceptos estructurales arcaicos

La arquitectura empieza con los cazadores y la necesidad de simples cobijos hechos de ramas tejidas, o compuestos de tallos y orillos.



Luego de millones de años como cazador/colector en la selva tropical, el "tercer chimpancé" (Jared Diamond) se convirtió hace 200.000 años en Homo Sapiens. Durante todo este tiempo ya está haciendo nidos, tejiendo ramas para sus cobijos y usando herramientas inteligentemente. En Sumatra me encontré con el Orangután y pude observar con gran asombro el arte y el grado de conocimiento con que nuestro primo utiliza y manipula su hábitat. Una versión moderna de estos cobijos tejidos en el árbol hizo Marko Brajovic en Costa Rica, usando tiras de guadua rajada para sus obras de "woven architecture", que culminó con un puente tejido durante su Bamboolab in Mallorca. Otra referencia de cestería en grande son las casas en forma de colmena gigante en Etiopía, completamente tejidos en tiras de bambú. Las estructuras son una mezcla entre cestas y conos, logrando así más de 12 metros de diámetro.



Fig. 1: Colmena tejida de bambú en Etiopía

Con el incremento gradual de la agricultura se desarrolla la arquitectura hacia una casa con una concepción de poste y viga, junto con un sistema de paredes. El conjunto podemos nombrar casa arcaica o casa tribal. En mis viajes por India, China y Indonesia me parecía muy interesante que las técnicas básicas usadas en las casas de bambú eran muy parecidas a las que conocí en Colombia. Donde, dependiendo de la región y sus recursos, se usan por ejemplo los tallos del maíz o de chusque para las cerrar las paredes de las chozas improvisadas. Pero las casas deben ofrecer más protección, usan un sistema tradicional conocido en todo el caribe, llamado bahareque.

2. Casas tribales

Para una casa en bahareque se usan postes a distancias de un paso, a las cuales se amarran horizontalmente unos bambúes aplastados (col. esterillas). En clima caliente a veces se repella con barro para impedir la entrada de los mosquitos. Contra el frío del clima templado en las alturas colombianas se amarran tiras rajadas (col. latas) en ambos lados del poste y se llena el espacio con barro. Este sistema constructivo es nativo de toda la familia de lengua caribe y se extiende con ellos no solo por los afluentes de Río Cauca y Magdalena en Colombia, si no por toda la Orinoquía y la Amazonía hasta Bolivia. El bahareque es vulnerable por la lluvia y la humedad ascendente, así que requiere un diseño de "buena bota y gran sombrero", pero el sistema es antisísmico por excelencia.



Fig.2: Casa tribal en Ecuador, Arq. J. Ladisich

En las zonas igualmente afectadas por terremotos, como toda la alta de la cordillera de los Andes, se usa la técnica del "adobe" (ladrillo de barro sin quemar) y la "tapia pisada" como sistema de pared, a pesar de su peligro de un material pesado. La razón debe encontrarse en la ausencia de *Guadua angustifolia* en las alturas de la cordillera por encima de 2500 metros. Si en la arquitectura ecológica de obras modernas queremos combinar elementos como una pared pesada de "tapia pisada" con estructuras de bambú, se recomienda de mantener ambas estructuras separadas por un leve espacio. Debido a que tienen diferentes frecuencias durante las ondas de los sismos, tienden a destruirse mutuamente.

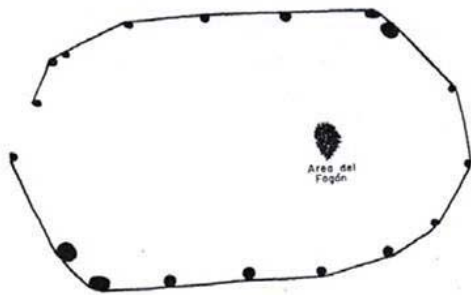


Fig.3: Excavación arqueológica en Tierradentro

El valor de las construcciones tribales se nos transmite en algunos detalles: En la figura de una excavación arqueológica se ve la planta ovalada, que permite a la viga de trabajar como una cinta de amarre y soporta así la cumbre del techo cónico, sin poste en el centro. También inspiran as formas orgánicas de sus techos, generalmente con sus aperturas en ambos extremos que generan ventilación y frescura.

La casa tribal tiene alma (fogón), que se refleja también en la fachada con la puerta (boca)

mirando (dos ventanas) hacia el río, la colocación de los postes (piernas) en piedras (pies). El techo (cabello) tiene dos salidas (orejas) para el humo y la ventilación (respiración). El arquitecto Oscar Hidalgo documenta en su libro "The Gift of the Gods" una buena gama de construcciones étnicas, rescatando mucho del saber ancestral en bambú.

3. Construcción tradicional tecnificada

Basado en las técnicas aprendidas con la casa tribal, se desarrolla la construcción tradicional, como se ve en el campo y las zonas suburbanas todavía. Basado en las técnicas de "boca de pescado" y el "bahareque" arriba mencionadas se construye la vivienda con materiales baratos como el bambú, con teja de barro o zinc (por esto con un diseño más cuadrado). Normalmente ya no se usan las técnicas tradicionales de preservación, donde se curaba la guadua a través de "vinagrado", el corte de los tallos mas maduros en la fase de luna menguante (que favorece la cicatrización de la mata) y durante ciertas horas de la noche (tradición de los colonizadores "Paisas", o bien por la tarde en la tradición de Indios "Paezes"). En ambas horas el bambú esta prácticamente sin savia en sus venas. El tallo "desjarretado" se queda en el bosque hasta que las hojas se caen y el almidón fermenta (olor a vinagre). Luego de varios meses se extrae aquella guadua que ya curada y sin picaduras de insectos.



Fig.4: Bahareque degenerado con esterilla

La construcción tradicional esta tan conocida en todas regiones de Colombia, que el servicio de enseñanza nacional SENA lo acogió recientemente como instrucción básica en sus programas de formación de técnicos de la construcción civil. De esta manera se garantiza la tradición con un cierto nivel de conocimiento en conceptos elementales como "Protección por diseño" y de la elaboración confiable de las uniones atornilladas y reforzadas con cemento. Sin embargo hay limitaciones innatas a la

utilización de la unión de “boca de pescado” con tallos frescos. En obras donde usaban muchas bocas de pescado frecuentemente se ven deformaciones en la línea de la cumbrera, causadas por la disminución del diámetro durante el secado (hasta 15%). Las casas tradicionales consumen mucho material y solo se prestan para luces pequeñas. Pero el sistema tradicional también tiene sus maestros destacados, llevándolo a un grado de perfección, hasta que les permite edificaciones en varios pisos o aleros de 8 metros. El arquitecto Simón Vélez destaca en este sistema con sus edificaciones audaces, combinando las uniones tradicionales con uniones de ingeniería. Así se puede decir que él inició el auge de la construcción moderna con Guadua, inspirando a muchos arquitectos jóvenes.

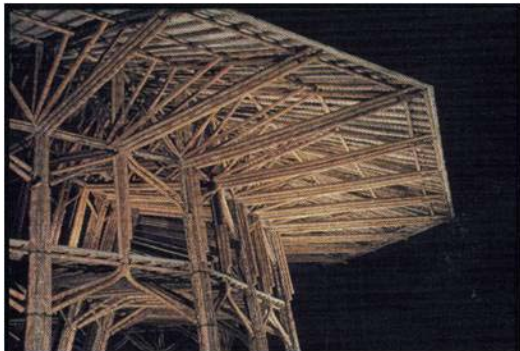


Fig.5: Pabellón Zeri, Manizales, Arq. S. Vélez

B. Sistemas de construcción moderna

4. Estructuras con ingeniería.

Donde no alcanza el largo de un tronco natural, empieza la ingeniería. Desde los tiempos medievales se conoce el sistema “Par y Nudillo”, usado generalmente en las iglesias españolas y coloniales. En el norte de Europa se utiliza más la “Cercha Rey” usando pendolones y tensores para transferir el peso de los techos de edificios grandes, en catedrales y puentes. Este sistema constructivo, oriundo de la tradición maderera, es muy fácil de transcribir al bambú. Hay solo un pequeño problema: Las uniones de la madera son macizas, resisten de forma excelente a la compresión y reciben clavos como fijación rápida. La unión de bambú está en desventaja en cuanto a uniones de compresión, así que le debemos ayudar con un relleno del vacío y evitar el aplastamiento. Pero algunos bambúes tienen una ventaja en uniones de palos cruzados: En uniones de maderas blandas con pernos se debe usar una grapa “bulldog” entre los troncos para que reduce la carga flectora sobre el perno. La

Guadua tiene una capa externa muy dura y se parece en esto más a un tubo metálico que a la madera, así que en muchos casos no se deforman los pernos en las uniones cruzadas. Con una adicional inyección de mortero se permite una fijación confiable de pernos y las uniones pueden ser calculadas por programas computarizadas, como fueran metálicas. Datos confiables de uniones de guadua vía pernos (con inyección de mortero) fueron elaboradas por Jenny Garzón de la Universidad Nacional en Bogotá y están publicadas en el libro de Oscar Hidalgo.



Fig.6: Cercha dos pisos levantando, J. Stamm

Así que con este sistema constructivo, donde se cruzan guaduas en varios niveles, atornilladas con pernos entre sí, se pueden elaborar cerchas complejas para estructuras de varios pisos, o para puentes. Otra gran ventaja de este sistema es la posibilidad de prefabricar varias cerchas sobre una horma en el piso. Varias cerchas pueden prefabricarse sin peligro de altura y con gran precisión. Debido al bajo peso propio del bambú tubular se puede, con la ayuda de un trípode, levantar fácilmente toda la estructura, una cercha tras otra, posicionarlas y fijarlas. Las uniones se llenan de mortero una vez terminada la colocación de las correas.



Fig.7: Cercha Pez, Cali. Arq. A. Baeppler

El método es más seguro, más preciso, más rápido y no se necesitan andamios. El mismo método se aplica en la prefabricación de puentes. Dependiendo del tamaño se puede colocar cercha por cercha, o la estructura del puente entero. En Santa Fe de Antioquia se prefabricó durante tres semanas todo el puente (de 30 metros luz libre) en un terreno al lado de la vía y se colocó en posición final en menos de dos horas con la ayuda de un camión grúa. Posteriormente se inyectaron las uniones importantes, a la semana se pavimentó el piso y se techó con teja de barro.



Fig.8: Puente 30m, Antioquia, J.Stamm

Los elementos constructivos que destacan por su comportamiento estructural son:

- Columnas espaciadas, compuestas de 4 postes combinados.
- Vigas compuestas con pasadores en V, pasando la columna espaciada y fijada con pasador o tornillo
- Pie de amigos, que interceptan la columna espaciada en boca de pescado o en unión de pasador o tornillo.
- Cerchas compuestas, unidos entre sí por unas vigas de amarre.
- Fácil de calcular, rápido de construir, preciso, modular, liviano.
- Alta eficiencia en cuanto a cantidad de bambú por metro cuadrado (5 –6 metros lineales por m² de techo.)

C. Estructuras “Ultra”modernos

Mientras las estructuras tradicionales, incluyendo la mayoría de las estructuras de ingeniería, son basadas en sistemas constructivos bidimensionales, en las estructuras “Ultra” modernas se experimenta con cerchas tridimensionales. Esto incluye membranas anticlasticas, conchas de doble curvatura, y espaciales. En estas estructuras encontramos nuevos retos en las uniones que

deben responder a las necesidades de los esfuerzos no lineales y a esfuerzos puntuales muy grandes. También buscamos la economía junto con la estandarización y posible industrialización de estas uniones. El reto a largo plazo es la compatibilidad del bambú con otros materiales de la construcción como las piedras, el acero, el vidrio, etc. Las uniones de bambú con bambú, encuentran un límite temprano en la transmisión de fuerzas. Aunque con la utilización de tornillos y reforzados internamente con inyección de cementos, o exteriormente con una capa de fibra y resinas sintéticas, la transmisión de carga aplasta a las fibras en la zona de contacto. Una posible salida es la utilización de muchos tallos, así se distribuye la carga por varios puntos de contacto. Esto puede generar nudos muy complicados y solo expertos de la imaginación tridimensional son capaces de concebir obras grandes. La otra salida es la unión de cono, donde todos los esfuerzos son transmitidos a un eje central y conducidos hacia un conector en forma de bola, formando un sistema conocido como las estructuras reticuladas por Mengeringhausen (mero-system) o “Space Frames” por Buckmister Fuller.



Fig.9: Unión cónica con esfera, J. Stamm

5. Estructura reticulada (Space frames)

Las estructuras con cerchas tri dimensionales responden muy bien a esfuerzos con direcciones cambiantes como sismos o vientos. La construcción de un Hangar para cubrir 4 aviones con 20 metros de envergadura es un reto. El diseño debe tener un acceso libre de cables y postes. Fuera de la cubierta contra la lluvia y el peso propio de la estructura debe aguantar fuerzas de viento y resistir los rayos UV del sol. La solución es un concepto de una estructura espacial con cuatro entradas, cubierto de una membrana anticlasticas. Mientras una carpa normal necesitaría cables tensores anclados en el suelo (obstaculizando el

transito), la estructura diseñada resuelve las tensiones de las o esquinas por si misma, convirtiéndolos en juego predicable de compresiones y tensiones en una cercha reticulada.



Fig.10: Prototipo de hangar, 10x10m. J. Stamm

La unión de cono requerida debe responder por un esfuerzo a tensión de 7 toneladas. El primer prototipo del cono, inspirado por una descripción de C.H. Duff (1941) y en una publicación Arce- Villalobos (1993), en torno a los trabajos del Profesor Janssen, fue reforzado con fibra de vidrio. Los tests fueron desarrollados por el Instituto de estructuras en la Universidad Tecnológica de Aachen, Alemania, por Christoph Toenges y respondió a una tensión con 20 toneladas. Basados en estas experiencias se construyó exitosamente un primer prototipo del Hangar en una escala menor a 10x10 metros.

6. Hypars (Paraboloides Hiperbólicos)

Las varas largas y livianas del Bambú responden mucho mejor a esfuerzos de flexión que los test de las propiedades físico-mecánicas predicen. Si miramos el esfuerzo que ejerce el viento sobre estas varas delgadas, quedamos aterrados que se doblan, pero casi nunca quiebran. Esta elasticidad se aumenta cuando están secas, y casi no se dejan doblar por la fuerza humana. Este fenómeno se utilizó en unas estructuras compuestas por cuatro paraboloides hiperbólicos en Bali. Inicialmente se hizo una obra de 14x14 metros con solo 4 puntos de apoyo. La estructura primaria es de *Dendrocalamus asper* con 14cm diámetro. Las cuatro superficies contra curvadas (anticlasticas) se estabilizaron con una estructura secundaria de varas de bambú negro de 7cm diámetro *Gigantochloa atroviolecia* Hitam.



Fig.11: Hypar 14x14m, Bali. J.Stamm

La cubierta consiste en una lona apoyada sobre las varas negras. Pero el diseño presentó goteras, debido al estancamiento del agua de lluvia en los cuatro puntos muertos del techo. También se necesitaba recoger el agua lluvia en las cuatro puntos bajos antes de salpicara al poste. Así que se eliminó las varas secundarias y se temple la membrana directamente con la estructura primaria, usando su enorme capacidad de flexión arriba mencionado. Para estabilizar las alas, había que duplicar los puntos de apoyo, moviendo a la vez el punto vulnerable por los desagües hacia una parte seca. El nuevo diseño fue un éxito total. Es sumamente rápido en tiempo de construcción y lo más eficiente en cuanto a consumo de materiales.



Fig.12: Hypar de 8 pies con membrana libre.

7. Estructuras con membrana tensada

El largo total de la vara de bambú pocas veces ha sido usado, probablemente por el problema de parar un elemento tan esbelto, tan curvo, tan débil en cuanto a fuerzas de compresión. Pero a tensión se puede transferir toda la carga como fuera un cable de acero. Cuando me pidieron un techo de 30x 60 metros para una fabrica en Bali, sabía que para cubrir las grandes luces de la cubierta se podrían usar las vara enteras. Pero el conflicto presentaba la cercha en el centro que debía generar suficiente altura para que el techo tenga buen desagüe. Meditando este problema y mirando hacia el horizonte ví tres volcanes.



Fig.12: Three mountains in Bali.

Pensando en los cráteres me vino la solución: tres torres circulares con skylight! Las torres tienen una capa interior de varas que giran hacia la izquierda y una capa exterior que gira hacia la derecha. Estos cruces disminuyen la esbeltez de cada poste y crean una sólida torre que soporta decenas de toneladas de peso. Con este diseño similar a las gigantescas torres de enfriamiento de Plantas eléctricas, se soporta un anillo en lo alto, fijando a un lado de las varas largas del bambú. El otro se fija en una viga circular en la base. Las varas se trabajan a tracción, como una carpa de circo, así que se debe usar algunos postes de la viga como compresor sobre una viga de cimentación, otros como tensor anclado con una varilla de 15 mm, embebida en mortero y amarrado dentro de una cimentación pesada. Todas las uniones de la estructura son a base de pasadores metálicos, cortados a ras de la superficie. No se ven, no se necesitan tuercas, debido a la fijación con cemento en el interior del canuto.



Fig.13: El cráter se convierte en skylight.

La cohesión de las varas de bambú se garantizaba amarrándolas con las tiras de bambú, que son el alma del AlangAlang, una forma tradicional Indonesia de techo de paja. El techo de estas tres torres tiene características de una carpa y recuerda mucho al estadio olímpico en Munich.



Fig.14: Torres en espiral levantan la "carpa"

A Pesar de su inmenso tamaño de cubierta es muy estable, debido las curvaturas anticlasticas causadas por el cambio de montañas y valles. Los skylights están cubiertos de vidrio templado, soportado por un anillo de acero, que asegura la estabilidad del anillo superior hecho en laminado de bambú. También albergue un sistema de control de fuego (sprinkler). Para evitar el impacto de la luz solar se envolvió la parte expuesta a los rayos UV directos, con una cuerda natural de Bambú Tali. Las tres torres de "Three Mountains – tres Montañas", no solo soportan las ventanas, ellos generan una agradable ventilación para 300 personas en toda la fábrica.

8. Estructuras de Conchas

Mientras se desarrolló el proyecto de "Three Mountains", la fábrica de Joyas, también estaba en reconstrucción una obra vecina del famoso Arquitecto Yew Kwahn. Unos vientos fuertes habían destruido la nave de una Sala de Exposición. La obra en Bambú era bien diseñada, pero había sido construido con maestros locales con sus cuentos baratos e irresponsables de preservación tradicional y sin los principios de protección por diseño. Así que muchos postes estaban podridos y comidos por insectos y las paredes altas de 20 metros no resistían el constante cambio de presión y succión del viento.

Ya experimentados con la buena respuesta del sistema de los postes cruzados en las torres, elaboré una respuesta estructural mejor para el averiado diseño del Arquitecto.



Fig.15: Sistema de Concha con rombos, Bali.

La nave se levanta sobre una planta ovalada de 10 por 25 metros y refleja los arcos góticos de un bosque natural de bambú. Sus tallos enteros se cruzan en la altura y dejan entrar poca luz por medio de un skylight delgado a largo de toda la cumbre. La forma geométrica de la nave parece ciertamente al cuerpo de un barco (ind. Capal) invertido. Un barco consiste estructuralmente de dos conchas. Colocando la estructura principal sobre 24 pilares de piedra se forma una curva a lo largo de la Nave, otra curvatura contrastante se forma a lo alto, debido a los tallos naturalmente curvados del bambú. Esta última curva puede ser dirigida de forma cóncava, entonces se llamaría la superficie "anticlastica". Pero si es convexa también estabiliza la superficie, como el casco de un huevo o una concha. La estructura primaria solo sirve de guía para la estructura secundaria, que va en dos capas, una en cada dirección, creando rombos. Esta cáscara será muy rígida contra vientos y sismos. La expresión arquitectónica de la bóveda creada es poderosa y entra directo al subconsciente, como recordando nos a una experiencia prenatal.

Construcciones de conchas son fáciles de hacer y pueden llegar a ser estructuras de muy grandes dimensiones. Debido a que se puede prolongar la varas de forma prácticamente invisible y con buena repartición de los esfuerzos. También se presta para trabajos sin andamios, ya que el rombo sirve de escalera. Este mismo sistema de varas cruzadas se puede aplicar también en sistemas pequeños, portátiles y desarmables, ya que parece a un acordeón. Se presta como soporte bajo

membranas transparentes, creando una matriz interesante.

9. Estructuras tejidas

Los bambúes rollizos siempre son algo curvos y permiten la construcción de superficies curvadas en gran escala. Pero en una edificación más pequeña no se puede apreciar esta particularidad. En china doblan hasta bambúes gruesos con calor, pero la mayoría de nuestros obreros prefieren "desangrar" los canutos, aplicando una cortada (de dos tercios del diámetro) al lado del nudo. Otra posible salida para superficies curvadas es de trabajar con "latas" o tiras bambú rajado.

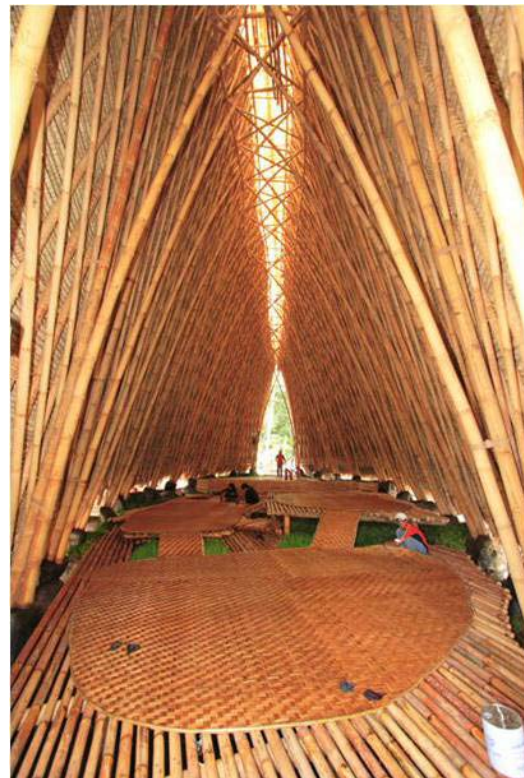


Fig.16: Sala de exposiciones. Arq. Yew Kwahn

Shoei Yoh llevó exitosamente el arte de cestería japonesa a una escala arquitectónica. Pero hay otro truco que he copiado a la tradición japonesa. Esta técnica me permitió una curvatura imposible de lograr con tallos rollizos. En la tradición de los cercos decorativos japoneses existe un "chorizo" llamado en japonés "tamabuchi" de 100 delgadas tiras rajadas de un tallo de bambú.



Fig.17: Sistema Tamabuchi o Bambu Lidi.

Amarado solo con cuerda se deja curvar en todas direcciones sin mayor esfuerzo, manteniendo la partencia de un bambú rollizo. Así que se construyó la casa de la ola, jugando con 5 chorizos y creando las curvas mas locas visto. Estas soleras son soportadas por postes, que salen al azar en todas direcciones del piso, creando la apariencia de estar dentro de un bosque de guadua. Fuera del piso no hay nada plano, nada recto, y en el centro de la obra se encuentra un gran ovalo macizo en tierra pisada, contrastando con la ligereza de la estructura.



Fig.18: Interior de la Casa de Ola. J. Stamm

Los "tamabuchi" (ind. Lidi) son muy trabajosos y costosos. Además tienen poca capacidad de carga y necesitan soportes cada 2 a 3 metros. Pero solo se usan donde se quiere lograr una curvatura homogénea, por ejemplo al confinar las correas de para las "cejas", unas ventanas que se abren en la cubierta en forma de una concha. También tienen buena capacidad de tensión, igual a una cuerda gruesa y pueden servir para arco y catenaria.

Discusión

Desde las primeras casas tribales en bambú hasta los edificios grandes de la arquitectura postmoderna, se ve que la cantidad de Bambú por metro cuadrado de tejado esta disminuyendo continuamente. Mientras el costo de la materia prima en una casa tribal es solo definido por la mano de obra, en el costo de una obra moderna agrega transporte,

preservación y servicios de expertos. Especialmente con obras en ultramar se debe velar por estos costos y la construcción con bambú ya no es nada barato. A través de un diseño moderno se puede economizar de la cantidad necesaria de Bambú. También se debe transportar solo los tallos maduros y bien preservados, en el diámetro y largo definido por el diseño y su cálculo estructural. Solo es transporte de un container de Cali a Hamburgo puede costar 6000 Dólares, ni contando todavía el valor del bambú, así que el cliente definitivamente no quiere mover "basura" barata. Los 6000 metros lineales de guadua que caben, deben cumplir con una excelente calidad, aunque le cueste algo más en la adquisición. Afortunadamente este fenómeno de transporte afecta prácticamente todos los materiales, como la madera de pino, que hoy en día llega desde Siberia. A pesar que Alemania tiene 30 % cobertura de bosques de pino, la mano de obra costosa hace imposible su cosecha. Así que el bambú gigante puede llegar a ser competitivo, cuando haya pasado por los exámenes exigidos por las autoridades. En Estados Unidos ya se encuentra una empresa certificada para elaborar casas en bambú, sus proyectos logran ser acreditados por cumplir con exigencias de los estándares de estabilidad, durabilidad y protección contra fuego (Bamboo Technologies, Hawaii). Así como se procura una selección y preservación excelente de los materiales, así se debe desarrollar sistemas constructivos adecuados. Esta exposición muestra una gama de diferentes sistemas y abre la discusión. Tanto los conceptos como métodos y técnicas deben ser analizados y estructurados. Para ser aceptadas en países industrializados con normas complejas se debe presentar este material natural y sostenible con todo el paquete logístico. El bambú es un material del trópico, y el desarrollo de la construcción con bambú debe ser promovido aquí, por la gente que se identifica con sus recursos nativos. Además nos favorece la tolerancia y flexibilidad de las autoridades tropicales, que dejan más margen de experimentación. Pero ellos también necesitan bases calculables para respaldarse. Mientras los esfuerzos en las estructuras de cerchas bidimensionales son fáciles de calcular, no existe mucha experiencia en estructuras tridimensionales. Pero como demostrado en este artículo, estas estructuras ultramodernas abren muchas perspectivas para la construcción con bambú. Algunas experiencias como "Three Mountains" fueron acompañadas por cálculos estructurales elaborados por la Universidad de Erfurt in Alemania. Igualmente se destacan las Universidades Europeas de Aachen, Graz, Eindhoven, Essen, Stuttgart, Berlin y Delft con sus investigaciones en Bambú que demuestra

que hay un interés de muchos países industrializados en este recurso renovable.

Conclusión

El análisis de las construcciones en Bambú revela una evolución sucesiva de sistemas con diferentes conceptos, técnicas y métodos, que se dejan organizar en grupos. Estas agrupaciones no se entienden como limitante o restrictivos. Al contrario están abiertos a la discusión y probablemente se pueden agregar e inventar mas sistemas. Pero por ahora podemos concluir:

- Estas categorías ayudan en la claridad de un diseño.
- Los sistemas constructivos permiten la planificación de una obra en cuanto a tamaño y cantidad de materiales.
- Conceptos claros tienen mucha influencia en el tamaño y el costo de la obra.
- Las categorías pueden ser una piedra angular para códigos de construcción en bambú pero deben ser homologados con códigos de otros materiales.

Bibliografía

Arce-Villalobos, O.A.: Fundamentals of the design of bamboo structures, bouwstenen 24, Schriftenreihe der faculteit bouwkunde de Universidad Técnica de Eindhoven 1993.

Dunkelberg, Klaus.: Bambus als Baustoff, Reportes del Instituto para las estructuras portantes livianas de superficie. (IL) Nr.31, Stuttgart 1985

Engel Heino: Tragsysteme - Structure Systems, 1997, Germany ISBN 978-3 -7757-1876-9
NN: Grown your own House, Verlag Vitra Design Museum, Weil a. Rhein 2000, ISBN 3-931936-25-2.

Hidalgo L, Oscar: Bamboo - The Gift of the gods. Bogotá, 2003. ISBN 958 – 33 – 4298 –