

# DISEÑO DIGITAL DE PIEZAS DE UNIÓN PARA ENVOLVENTES DE BAMBÚ

Arq. Carlos Alberto Mancilla Estrada



### 721 M269

Mancilla Estrada, Carlos Alberto Diseño Digital de Uniones de Piezas de Bambú/ Guatemala: Facultad de Arquitectura, USAC, 2019.

120 p.; 19.05 cm \* 25.4 cm

- 1. Diseño 2. Diseño paramétrico 3. Diseño computacional
- 4. Lógica estructural 5. Tipología estructural

Dirección de Investigación de la Facultad de Arquitectura Universidad de San Carlos de Guatemala

#### Decano Facultad de Arquitectura

MSc. Arq. Edgar López Pazos

#### Director de DIFA

Dr. Arq. Mario Raúl Ramírez de León

Todos los derechos reservados. Ciudad de Guatemala, 2019.

#### Diseño y diagramación

Adriana Lucía Yucuté Ecuté

#### Fotografía de portada

Arq. Carlos Alberto Mancilla Estrada

Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala Edificio T2, Ciudad Universitaria, zona 12. Ciudad de Guatemala, Guatemala, América Central. 01012. www.farusac.edu.gt





# Diseño digital de piezas de unión para envolventes de bambú

Arq. Carlos Alberto Mancilla Estrada

# Equipo de Investigación:

## Arq. Carlos Alberto Mancilla Estrada

Coordinador–Investigador Unidad Digital y Tecnología Facultad de Arquitectura USAC

## Ing. José Marcos Mejía Son

Co-investigador Unidad de Sistemas Estructurales Facultad de Arquitectura USAC

## Arq. Israel Lopez Mota

Co-investigador EPS Arquitectura Facultad de Arquitectura USAC

## Agradecimientos especiales:

MSc. Ing. Pablo de León Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería USAC

# Índice

Resum	nen	10
	Palabras clave	11
Abstra	act	12
	Keywords	13
Introd	lucción	14
O1 Anto	ecedentes	18
	1.1 Sobre el bambú	
02 Jus	tificación	22
	2.1 Problemática	22
	2.2 Problema central	22
03 Obj	etivos	23
	3.1 Objetivos	23
04 Esq	uema general de la investigación	24
	4.1 Metodología experimental	25
	4.2 Preguntas de trabajo	25
05 Ехр	periencias de la investigación	27
	5.1 Revisión de fuentes bibliográficas	29
	5.2 Visita técnica	33
	5.3 Taller: método balinés para trabajo	
	con bambú impartido por Arq. William González	
	5.4 Entrevistas	37
	5.5 Cuadro comparativo	44

06 Marc	co teórico	46
	6.1 De la arquitectura en serie a la arquitectura paramétrica	46
	6.2 Tecnología en arquitectura	47
07 Esta	do del arte	50
	7.1 Fabricación digital	52
	7.2 Tipos de fabricación digital	
	7.3 Tecnología con bambú	
08 Anál	isis	58
	8.1 Maquetas y modelos digitales	58
	8.2 Discusión-foro	62
09 Prop	ouesta	65
	9.1 Diseño digital	70
	9.2 Diseño generativo	72
	9.3 Código de diseño (Rhinoceros + Grasshopper 3D)	73
	9.4 Rediseño del Código (versión 1.2)	76
	9.5 Acumulación de esfuerzos	
	9.6 Código con pará metros de diseño	79
	9.7 Pruebas del código	80
	9.8 Generación de plantillas y piezas	85
	9.9 Fabricación de uniones	93
	9.10 Otras exploraciones:	96
Conclus	siones	100
Glosario	o	103
Ribliogr	afía	105
<b>Anexos</b>		<b>107</b>

# Resumen

En esta investigación el objeto de estudio fue el bambú, se eligió esta planta por las ventajas comparativas que representa frente a "su símil" la madera como lo son: mayor velocidad de crecimiento; ciertas especies a partir de los 7 años pueden usarse para construcción, es flexible, liviano y se encuentra en la franja tropical del ecuador (entre 51°N y 47°S). Pese a sus ventajas; su complejidad anatómica derivó en el caso de investigación: aplicar tecnología (fabricación digital) en los nodos de ciertas estructuras de bambú, los cuales son puntos clave para la transmisión de cargas, estabilidad y seguridad de los usuarios.

Se tomó como base el método experimental, aplicando herramientas de "Diseño Paramétrico" el cual busca establecer variables (numéricas, geométricas y de forma) para lograr un diseño adaptable basado en la creación de un algoritmo que resuelve la forma de las uniones aunque cambien las variables "n" número de veces.

El objetivo de esta investigación fue establecer los parámetros de diseño para las piezas de unión para fabricar las piezas y hacer los nodos de unión a escala natural

#### Parámetros cuantitativos:

- Forma de la envolvente Forma del arco
- Cantidad de marcos portantes
- Cantidad de vértices de cada marco
- Diámetro del bambú
- Distancia entre nudos
- Distancia X entre vértice y pernos

- Distancia Z entre vértice y pernos
- Ángulos entre piezas
- Número de pernos
- Diámetro de pernos
- Forma geométrica de la unión con curvas o rectas
- Grosor de la unión

El método fue experimental; que es un conjunto de técnicas que se utilizan en investigación, para adquirir conocimientos o corregir e integrar estudios previos. posterior a la revisión de bibliografía se revisaron algunos ensayos con la colaboración del Laboratorio de Materiales de Ingeniería, USAC y el valioso apoyo del MSc. Pablo de León y Gesías Enríquez.

Se desarrolló un "Algoritmo" con los programas; Rhino 3D y Grasshopper para el diseño automatizado de uniones independientemente de las variaciones a la forma, distancias, entrenudos, diámetros del bambú y demás variables.

1. Código o script

#### Palabras clave:

Diseño, lógica estructural, tipología estructural, diseño paramétrico, diseño computacional, fabricación digital, construcción con bambú, Rhinoceros+Grasshopper, tecnología, bioarquitectura

# **Abstract**

In this research the object of study was bamboo, this plant was chosen because of the comparative advantages it represents compared to "its simile" wood, as they are: faster growth rate; on average it grows in 7 years to be used for construction, it is flexible, lighter and it is found in the tropical zone of the equator (between 51  $^{\circ}$  N and 47  $^{\circ}$  S). Despite its advantages; its anatomical complexity derived in the subject of this research: applying digital fabrication in the nodes of bamboo structures, which are key points for the transmission of loads, stability and safety of those who inhabit these structures.

The experimental method was taken as a basis, applying tools of "Parametric Design" which seeks to establish variables (in this case numerical) to achieve an adaptive design based on the creation of an algorithm that solves the form of the unions even if the established values change "N" number of times.

The objective of this research was to establish the design parameters for the joint pieces, to manufacture the pieces and make the joint nodes on a natural scale.

### Variables or quantitative parameters:

- Form of the envelope
- Number of supporting frames
- Number of vertices of each frame
- Arc shape
- · Diameter of bamboo
- · Distance between knots
- Distance between vertex and bolts
- Angles between pieces
- Number of bolts
- Diameter of bolts
- Form of union
- Thickness of the union

The method was experimental; which is a set of techniques that are used in research, to acquire knowledge or to correct and integrate previous studies. After the review of the bibliography, some trials were recorded with the collaboration of the Engineering Materials Laboratory, USAC and the valuable support of the MSc. Pablo de León y Gesías Enríquez.

An "Algorithm" was developed with the programs; Rhino 3D and Grasshopper for the automated design of joints regardless of the variations to the shape, distances, internodes, bamboo diameters and other variables.

# **Keywords:**

Design, structural logic, structural typology, parametric design, computational design, digital fabrication, construction with bamboo, Rinoceros3D and Grasshopper, technology, bioarchitecture.

# Introducción

El planteamiento de este proyecto de investigación surge de dos paradigmas; el primero es ambientalista trata sobre la utilización de materiales naturales, renovables, con sostenibilidad ambiental; para proyectos de construcción y autoconstrucción supervisada y el segundo paradigma tecnológico corresponde al uso de la tecnología en este caso para diseño, automatización, optimización con fabricación digital, por medio del manejo de información virtual tridimensional con la aplicación de fabricación digital.

El interés de esta investigación inicia en el 2017 durante el desarrollo de estudios en Diseño Paramétrico en Madrid, España donde se reconoce el potencial de las herramientas digitales en diseño y optimización por medio de la fabricación digital por medio de Diseño Paramétrico; con **Grasshopper®** que es un editor de algoritmos gráficos mediante programación visual, integrado al software de diseño **Rhinoceros 3D®** de McNeel y Asociados desarrollado para NURBS.<sup>2</sup>

Grasshopper® a diferencia de otros programas para *script* o Códigos no requiere conocimiento en programación, permitiendo un sin número de exploraciones virtuales desde un entorno gráfico para diseñadores que pueden llevarse a la práctica mediante técnicas de fabricación digital: impresión o corte con robots.

En mayo de 2017 se tuvo la oportunidad de colaborar en el diseño de una estructura de bambú con la Misión de Taiwán en Guatemala, como parte del proyecto Industrialización del Bambú, en dicho diseño se aplicaron las herramientas mencionadas y este fue el detonador "intentar" combinar un material natural con la tecnología.

Se inició pensando como una exploración formal, ya que la herramienta digital permite ilimitado número de posibilidades, sin embargo se estableció que para aprovechar las ventajas del material y los métodos de fabricación digital actuales se trabajaría por fases; a) estructura, b) ensayos, c) cubierta o envolvente.

2. Non Uniform
Rational Bezier-SplineSuperficies no Uniformes
de Doble Curvatura.
Arturo Tedeschi. AAD
Algorithms-Aided
Design. Parametric
strategies using
Grasshopper.

Al iniciar esta investigación se pensó trabajar con una envolvente preestablecida "esférica o geodésica" por sus ventajas; estéticas y estabilidad, sin embargo al reflexionar sobre orientar la investigación sin evaluar otras alternativas geométricas se decidió profundizar en el conocimiento del bambú y buscar practicidad constructiva, fué así cómo se desarrolló esta investigación trabajando con maquetas físicas y virtuales con formas simples y prácticas de construir.

A finales del año 2017 iniciamos a abordar esta investigación revisando las características del material que pueden condicionar la morfología de la estructura y la escalabilidad<sup>3</sup> de la envolvente producto de la longitud de las piezas y el tipo de bambú recomendable para el medio guatemalteco.

Los objetivos logrados durante el primer semestre 2018 fueron: investigar y conocer sobre los parámetros de diseño para estructuras de bambú, estableciendo los parámetros de diseño necesarios para generar las uniones de bambú usando "programación visual" con el objetivo de automatizar el diseño y adaptabilidad de las uniones sin importar la cantidad de uniones y forma de la envolvente.

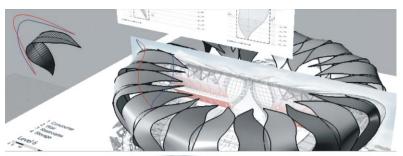
- 3. Un concepto fundamental en este proyecto experimental es lograr que la estructura pueda ser aplicada a geometrías de tamaños y morfologías variables; dependiendo de las necesidades a resolver; pabellones, área de sombra, áreas de exposición con formas no tradicionales/experimentales, o superficies de doble curvatura.
- 4. Este método de diseño requiere el uso de parámetros para resolver un problema por medio de herramientas de programación visual similares a los lenguajes de programación computacional escrita en un entorno gráfico más amigable.

5. Patrones
en la enseñanza
de la Programación
en Arquitectura de
la Hetero-educación
a la Auto-educación
en Latinoamérica,
Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas,
Perú, Pablo C.
Herrera Polo.

"Patrones de enseñanza desde que la programación escrita y visual se experimenta en Latinoamérica se han identificado patrones de implementación propuestos por iniciativas autogestionarias y otras del tipo sistematizado (Herrera, 2011, p.179-182). Así mismo los patrones y convenciones utilizados en la enseñanza de programación escrita con Rhinoscripting (Herrera, 2009, p.341) han sido también utilizados en la enseñanza de programación visual con Grasshopper."

Por la naturaleza del proyecto se conformó un equipo multidisciplinario en materias como: estructuras, construcción y herramientas digitales. Dadas las cualidades del proyecto y en virtud del convenio que existe entre la Facultad de Arquitectura y la Facultad de Ingeniería

de la USAC se buscó el apoyo del Laboratorio de Ingeniería concretamente del MSc.Ing Pablo de León encargado (en 2018) del Área de metales y materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



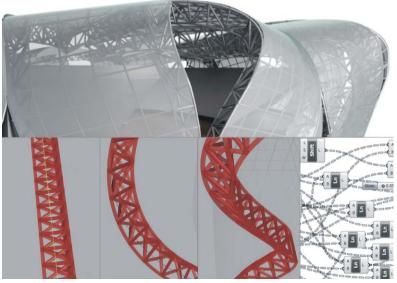


Figura 1. Caso de estudio del documento: Patrones de enseñanza(...): Estadio Hangzhou por NBBJ. Modelo en color gris con Rhino y parametrizado con Grasshopper en color rojo (programa basado en parámetros). Modelo desarrollado y descrito en: Patrones en la enseñanza de la Programación en Arquitectura de la Hetero-educación a la Auto-educación en Latinoamérica, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, Pablo C. Herrera Polo 2013.

# **01** Antecedentes

# 1.1 Sobre el bambú

El término Bambú fue introducido por el científico, naturalista, botánico y zoólogo sueco; Carl von Linné en 1753. El Bambú es una planta de rápido crecimiento nativo de las áreas ecuatoriales del globo, entre el Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio. Existen aproximadamente 1,200 especies de las cuales 750 se encuentran en Asia y 450 en América concentradas en Brasil, las especies están distribuidas en 37

millones de hectáreas; 6 en China, 9 en India y 10 en diez países de América Latina. Los bambús mas utilizados en construcción son: Bambusa, Chusquea, Dendrocalamus, Gigantochloa y Guadua.<sup>6</sup>

En Guatemala es difícil establecer las especies nativas puesto que en la introducción del monopolio bananero las tierras que tenían bambú eran tierras aptas para el cultivo de banano por la UFCO<sup>7</sup> la cual arrasó con las tierras que tenían bambú durante su explotación en el

Design and Technology of a Sustainable Architecture. Gernot Minke. Editorial Birkhauser Basel, 2da edición. https://books.google.com.gt/books?i-d=7hJBDAAAQBAJ &lpg=PA77&hl =es & pg=PR1#v=onepage & q&f=true

6. Building with Bamboo,

7. United Fruit Company

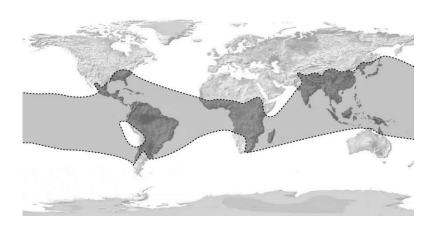


Figura 2. Distribución de Áreas de crecimiento nativas de Bambú en el mundo. Fuente: Premios Unilever a los emprendimientos jóvenes de vida sostenible 2014.8

país. Por esos motivos fue necesaria la revisión de fuentes bibliográficas para determinar cuáles son las especies recomendables para este tipo de estructuras y posteriormente conocer sus parámetros de diseño.

Guadua Angustifolia: aproximadamente la mitad de las especies que existen en el mundo se encuentran localizadas en América; de éstas aproximadamente 20 conforman las prioritarias del bambú y dentro de ellas (...) la Guadua Angustifolia.<sup>9</sup>

La variación: Guadua bambusea o Guadua Angustifolia Kuth es una especie nativa de América, se encuentra mayormente en Suramérica y secundariamente en centroamérica.

Según el libro: Bambú su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía, del arquitecto Oscar Hidalgo López las plantaciones de bambú en América Central determinaban una tierra favorable para el cultivo de banano por lo que la United Fruit Company por lo que

cambiaron los cultivos de bambú por cultivos de banano por lo que es difícil conocer con precisión la variación de bambú nativa en algunos países centroamericanos. El libro en mención es sumamente interesante porque contiene detalles de vigas de concreto reforzadas con estería10 de bambú en lugar de varillas de acero. El documento menciona tres estructuras la primera habiendo fallado las vigas y las losas fue necesario apuntalar y la segunda un edificio de dos niveles en el cual se dieron grietas las cuales no se incrementaron y fue realizado en 1944. El edificio fue demolido 8 años después era el edificio de periodistas del Clemson Memorial Stadium construido en Estados Unidos, también se menciona sobre la degradación de la fibra de bambú en el tiempo. (Ver capítulo 6).

Asper: no es una especie nativa de América, por ser una especie de reciente inserción en nuestro país, además es una especie que requiere más tiempo para el corte y por ende mayor mantenimiento.

- 8. Productos compuestos estructurales de bambú: compuestos de bambú para aplicaciones estructurales e ideas empresariales sustentables https://www.changemakers.com/sustliving2014/entries/structural-bamboo-composite-products Consulta julio 2018.
- 9. Londoño Pava, Ximena. Presidenta Sociedad Colombiana del Bambú. La Guadua: Un gigante dormido. Publicado en las Memorias 'Seminario Guadua en la Reconstrucción' Armenia Quindío. 02- 2000.
- 10. Fibras de cañas de bambú.



Figura 3. Plantación de Oldhami en Centro de Bambú Misión de Taiwán Cuyuta 2 de marzo 2018. Fotografía del autor.

Sin embargo es una especie para uso estructural.

**Oldhami:** No es una especie nativa y aparentemente pertenece a climas más frescos que los registrados en Ciudad de Guatemala y la bocacosta, se utiliza como planta comestible su crecimiento es un tanto inclinado esto se observó en la visita al Centro de Bambú Misión de Taiwán Cuyuta.

Caña de castilla: Aunque el uso de este tipo de varas agrupadas como un "cable" puede generar arcos y formas muy interesantes, no aplica a esta investigación porque estas estructuras funcionan con otra lógica, por ejemplo, si la caña se cubre con...<sup>11</sup> cubren la caña con algún tipo de argamasa de tierra, se desconoce el comportamiento de las fibras en el interior de estas estructuras.

La arquitecta colombiana Carolina Sarazúa (investigadora en temas de vivienda social), tiene estudios sobre los comportamientos mecánicos del bambú compresión y tracción hechos en Stuttgart, así también detalla algunos métodos de corte y protección. Esta fuente también sugiere que para su uso el tarro de bambú debe dividirse en tres partes iguales y la parte de la base es la parte estructural la segunda parte es la parte semiestructural y la tercera parte o la parte alta del tarro es la que puede utilizarse para los cerramientos y elementos no estructurales.

Durante el primer semestre 2018 nos dedicamos a establecer parámetros para las estructuras de bambú, según López Mota el método más utilizado para trabajar con Bambú en nuestro medio es posterior a cortar el bambú de la tierra se cortan 2 o 3 metros de los extremos para lograr un elemento más uniforme en su diámetro y en su distanciamiento de nudo.

Tomando en cuenta las observaciones anteriores si un tarro de bambú mide entre 14 y 20 metros de alto el largo utilizable es entre 7 a 12 metros de largo por "tarro" esta es una medida que podría adoptarse como una medida modular.

11. Grupo colombiano
Canya Viva que construye basados en principios naturales. https://bambusecologico.blogspot.com/2016/08/canya-viva-bambu.html



Figura 4. Bioconstrucción basada en materiales sostenibles elaborado por grupo Canya Viva. https://bambusecologico.blogspot.com/2016/08/canya-vi-va-bambu.html Consulta: febrero 2018.

# 02 Justificación

## 2.1 Problemática

En Guatemala las personas tradicionalmente están acostumbradas a construir con mampostería y cemento (block y concreto reforzado), de esta forma el consumo de recursos ambientales es insostenible, prueba de ello se han creado incentivos como; "bonos de carbono" porque la sostenibilidad y consumo de recursos empieza a ser agenda de las naciones más fuertes del mundo.

El bambú sí es un recurso renovable, sin embargo no hay capacitación que certifique los métodos para su tratamiento. Además la producción en serie por ser un material artesanal es muy complicada.

La construcción podría ser sostenible combinada con herramientas tecnológicas al alcance de nuestras sociedades latinas para prefabricar un sistema y automatizar la construcción con bambú.

#### 2.2 Problema central

El bambú es un material natural, renovable, de rápido crecimiento, liviano, y de fácil trabajabilidad, no obstante, no existe una normativa nacional de referencia que asegure la construcción con bambú, lo que dificulta su uso al no contar con parámetros de diseño estructural; no existen obreros capacitados en el uso del bambú por lo que no se aprovechan las propiedades del mismo; sumado a esto, por sus características anatómicas, el bambú requiere especial énfasis en su sistema de unión para poder asegurar la transmisión de esfuerzos.

Existe falta de manuales y mano de obra capacitada. Las personas no saben que pueden construir con bambú, tampoco saben cómo hacerlo para que sea seguro y duradero, y la percepción generalizada es que el bambú es un material para construcciones de bajo nivel socioeconómico.

# **03 Objetivos**

# 3.1 Objetivos

- Generar uniones paramétricas para estructuras de bambú usando Diseño y Fabricación Digital, basadas en los parámetros de diseño del bambú.
- 2. Diseñar piezas de Unión para bambú por medio de un código o "s" paramétrico para automatizar el proceso de fabricación.
- Comprobar que el código o "script" realice piezas automáticamente realizando modelos digitales con diferentes formas, cantidad de piezas, diámetros y distancias entre nudos.

# O4 Esquema general de la investigación

Al iniciar esta investigación como equipo de investigación teníamos distintas hipótesis según las experiencias de cada miembro, puntos de vista sobre; lo constructivo, la lógica estructural y la optimización/estandarización de las uniones fueron los factores detonantes entre los cuales extrajimos curiosidades en común.

- Comprender las causas por las cuales no se utiliza Bambú de construcción y porqué tiene algunas aplicaciones en arquitectura.
- 2. Seleccionar la especie recomendable acorde al medio climático y medio social.
- 3. La solución de Piezas de Unión para Envolventes de Bambú, incorporará principios de:
  - Sostenibilidad:
  - Ambiental
  - Social

#### Toca aspectos como:

- Corte
- Tratamiento
- Trabajo estandarizado en uniones de bambú
- 4. Revisión de información
- 5. Explorar distintas tipologías estructurales construir con bambú
- 6. Determinar posibilidades para el sistema de nodos.
- 7. Análisis espacial
- 8. Discusión
- 9. Prototipos
- 10. Propuesta
- 11. Conclusiones

# 4.1 Metodología experimental

La metodología será experimental, tratará sobre diseño y experimentación de con prototipos de uniones para una estructura de bambú con piezas realizadas por medio de diseño y fabricación digital.

El término experimento tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a "elegir o realizar una acción" y después observar las consecuencias (Babbie, 2014). Este uso del término es bastante coloquial; así, hablamos de "experimentar" cuando mezclamos sustancias químicas y vemos la reacción provocada, o cuando nos cambiamos de peinado y observamos el efecto que causa en nuestras amistades. La esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados.12

# 4.2 Preguntas de trabajo

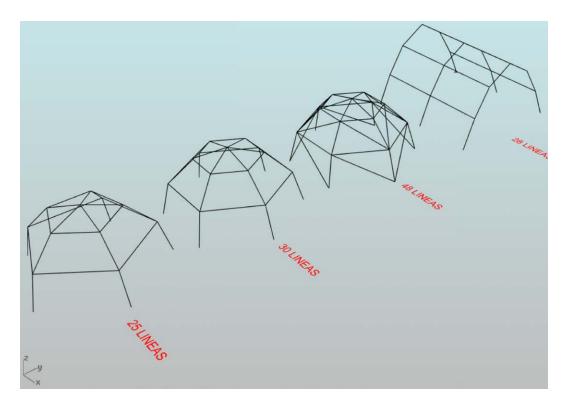
**Pregunta:** ¿qué tipo de bambú es recomendable utilizar en este tipo de estructuras?

**Explicación:** este parámetro nos ayudará a saber dónde debemos buscar y cuáles son sus características geométricas.

Respuesta: Guadua Angustifolia, propia de Sudamérica su uso se ha extendido desde Colombia. Asper, de origen asiático utilizado en el continente para usos estructurales. Oldhamii, se utiliza como planta comestible su crecimiento es inclinado esto se observó en la visita al Centro de Bambú Misión de Taiwán Cuyuta.

Se descarta Verticillata la cual es otra especie popular, se utiliza mayormente en mobiliario. Gigantochloa Verticillata Bambú de rizomas paquiformo cuyo culmo alcanza una altura de 25 metros o más, con un diámetro promedio de 10 cm, sus entrenudos son moderadamente largos, con un grosor de pared de 1 a 2

12. Sampieri Hernandez Roberto, Metodología de la Investigación 6ta. Edición.



**Figura 5.** Modelos preliminares. Elaboración propia 2017.

13. https://www.facebook. com/ambiento.gt/ Consulta: noviembre de 2017. cm. Sus culmos son utilizados principalmente para extraer fibra para elaboración de tejidos artesanales y como refuerzo en las construcciones de cemento. (INTECAP, 1984)

**Pregunta:** ¿cuál es la longitud óptima de las varas de bambú?

**Explicación:** este parámetro nos ayudará a saber el tamaño óptimo para las piezas.

**Respuesta:** aprovechando el segmento intermedio por ser más uniforme alrededor de los 7 metros aprovechable para usos estructurales.

**Pregunta:** ¿debe ser una sola pieza (arco) o múltiples piezas?

**Explicación:** este parámetro nos ayudará a establecer la geometría.

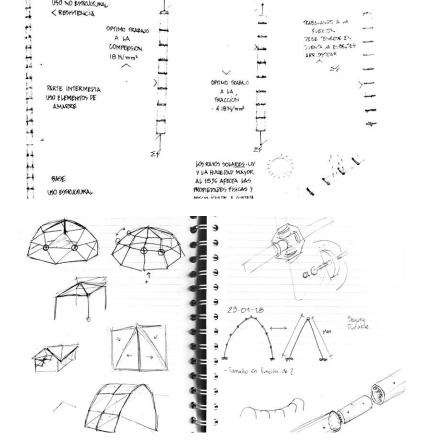
**Respuesta:** en noviembre de 2017 se tuvo la oportunidad de

participar en un taller de construcción con bambú organizado por la empresa Ambiento<sup>13</sup> en el cual se evidencia la dificultad de trabajar un sistema con muchas piezas tanto en sus nodos como en su geometría.

Para demostrar nuestras hipótesis utilizaremos el método experimental y la pregunta central es: ¿puede el diseño paramétrico optimizar el diseño de nodos estructurales para fabricarse por medios digitales generando piezas a la medida de la estructura adaptados al diseño de la forma?

# O5 Experiencias de la investigación

PARTE SUPERIOR USO NO ESTRUCTURAL



**Figura 6.** Bocetos preliminares de la investigación. Elaboración propia enero 2018.

Figura 7. Consideraciones generales sobre el uso de Guadua. Fuente: Ivan Mauricio Eraso, Vivienda Sismo Resistenteen Guadua, Universidad Piloto de Colombia Facultad de Arquitectura Arte, Programa de Arquitectura.

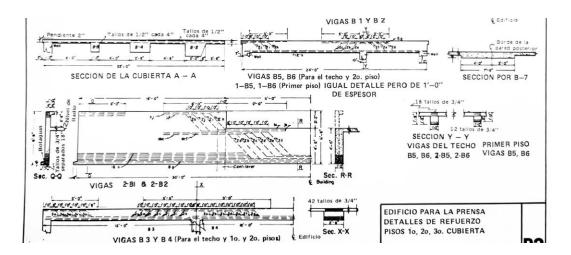


Figura 8. Bambú utilizado como refuerzo a tensión en vigas de concreto. Fuente: Bambú su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía, del autor arquitecto Oscar Hidalgo López.

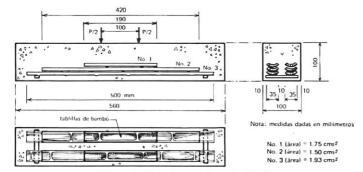


Figura 1: Viga de experimentación B1

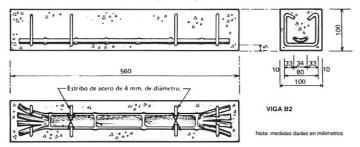


Figura 2: Viga de experimentación B2

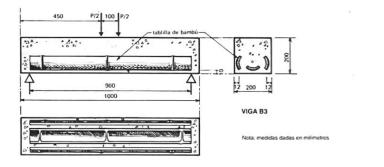


Figura 9. Prototipos de vigas con reemplazo de acero por esterilla de bambú. Fuente: Proyecto Semilla 99CG5108, bases para el diseño de elementos estructurales en concreto, reforzados con bambú, usando especies del Valle del Cauca. Uso del bambú en el concreto reforzado-Recopilación Bibliográfica-Luis Octavio González Salcedo, profesor asistente, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira 2001.

# 5.1 Revisión de fuentes bibliográficas

En alusión a las figuras 8 y 9 la arquitecta mexicana Carmina Flores investigadora, afirma que las fibras deben protegerse con resina en contacto con el medio ambiente. En el caso de utilizarse bambú recubierto con bajareque otro tipo de material como concreto se concluyó en el Memorial Stadium que se desconoce la forma como se degrada el bambú dentro de una masa de concreto reforzado.

Una fuente que contiene información de bibliografías citadas anteriormente es la recopilación de Luis Octavio Gonzalez, Universidad Nacional de Colombia, 2001 https://drive.google.com/open?id=1palpsVImMaoQhPnjOuxdWc5Mnxk8Tn9g.

Cabe mencionar también que existen las normas INBAR las cuales contienen información sintética sobre la manipulación del bambú para la construcción. INBAR significa: Organización Internacional de Bambú y Ratán es una organización intergubernamental independiente

establecida en 1997 para desarrollar y promover soluciones innovadoras para la pobreza y la sostenibilidad ambiental utilizando bambú y ratán.

https://drive.google.com/ open?id=1vmc-b1UK3Yf2P9aZTE-D3FItCYaDhYYlu.

Libro: Bamboo = Bambus = Bamboe = Bambú / Àlex Sánchez Vidiella.

Esta bibliografía contiene gran cantidad de información de distintas partes del mundo aplicación del bambú en proyectos de arquitectura. A continuación algunas imágenes:



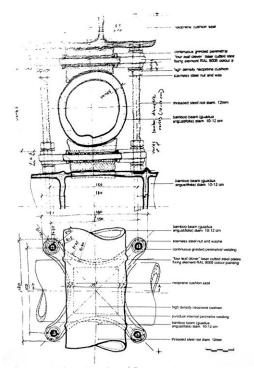


Figura 10 (a,b). Ejemplos de estructuras y uniones de distintas construcciones realizadas con bambú en todo el mundo. Consulta 2018.





Figuras 10 (b, c). Ejemplos de estructuras y uniones de distintas construcciones realizadas con bambú en todo el mundo. Consulta 2018.



Figura 11 (a). Estructura de bambú tipo Asper método colombiano cubre una luz de 15 metros de ancho. El método colombiano consiste en lograr los empalmes mediante trozos de tarro a compresión. Fotografía propia 2-03-18.

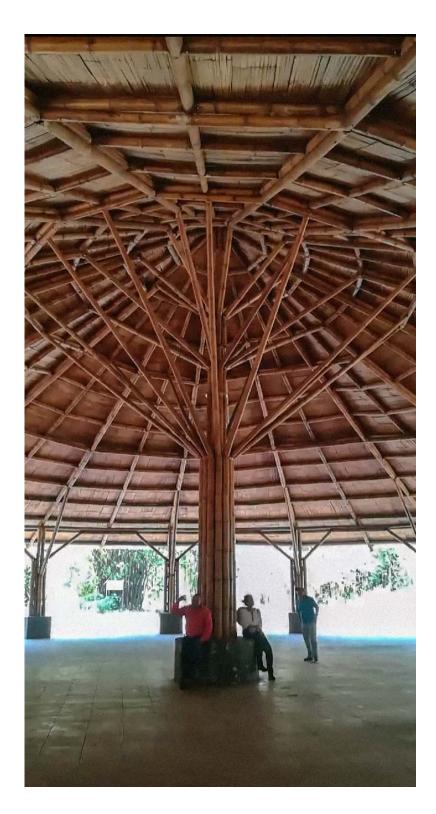


Figura 11 (b). Estructura de bambú tipo Asper método colombiano cubre una luz de 15 metros de ancho. El método colombiano consiste en lograr los empalmes mediante trozos de tarro a compresión. Fotografía propia 2-03-18.

Otra bibliografía revisada en esta fase fue la tesis del arquitecto Axel Paredes a cual propone múltiples cañas de bambú unidas para formar estructuras complejas con grandes curvaturas tipo grupo Cañya Viva.

# 5.2 Visita técnica

Visita de Campo a Misión de Taiwán en Guatemala, Cuyuta; Proyecto: Industrialización Del Bambú. En esta ocasión conocimos el ingeniero Agrónomo David Valdez quien amablemente nos dio el recorrido por el centro y nos resolvió varias dudas sobre las especies que reafirma nuestra revisión de fuentes bibliográficas en las cuales habíamos concluido previamente que las especies Guadua y Asper son las especies más recomendadas para construcción en nuestro medio, por razones como el clima (en la bocacosta), bajo mantenimiento, y resistencia estructural y pueden combinarse en elementos estructurales con las especies verticillata y nigris.



**Figura 12.** Estructura de bambú tipo Asper método colombiano cubre una luz de 30 metros de diámetro. Fotografía propia 2-03-18.



Figura 13. Mobiliario generado en el royecto de Cuyuta, con la especie Verticillata. Fotografía propia 2-03-18

# 5.3 Taller: método balinés para trabajo con bambú impartido por Arq. William González

El día sábado 19 de mayo del 2018 se participó en un taller sobre estructuras de bambú utilizando el método de Bali impartido por el arquitecto William González en la imagen se muestra uno de los temas fundamentales del taller. Estructura de bambú construida en Bali, sobre plataforma y articulación en la base de las columnas.



Figura 14. Detalle de articulación en la base con roca y pin de acero, Fotografía Ibuku Bali.

### **5.4 Entrevistas**

### 5.4.1 Acercamiento con la Facultad de Ingeniería

El día miércoles 22 de febrero del 2018 gracias a la gestión del ingeniero Marcos Mejía visitamos el laboratorio de ingeniería fuimos atendidos por el MSc. ingeniero Pablo de León quien se interesó por trabajar colaborativamente entre facultades para poder realizar los ensayos que fueran necesarios en laboratorio de Ingeniería de la Universidad de San Carlos. También la visita nos sirvió para que el ingeniero amablemente nos brindará algunas bibliografías referentes a temas mecánico y normas ISO para agregarlas en nuestra investigación, también solicitó agregarse como parte del equipo de esta investigación.

Abordando el tema con el ingeniero Marcos Mejía establecimos que la solución debe ser simple y práctica para que constructivamente sea viable y funcionalmente para estructuras de actividades sociales de alto impacto como centros educativos, centros de salud, por ejemplo. También creemos que nuestra solución brinda la posibilidad de que las piezas puedan cambiarse con el tiempo, estamos buscando un sistema constructivo vivo, una estructura viva que al cabo de 20 años pueda renovarse y así durar otros 20 años por mencionar un tiempo prudente.

El ingeniero Marcos Mejía revisó las siguientes citas bibliográficas:

- Norma internacional ISO 22 15 6
- Primera edición 2004 bambú diseño estructural.
- Norma internacional ISO 22 157–1 primera edición 2004.
- Bambú determinación de las propiedades mecánicas y físicas parte 1 requisitos.



Figura 15. Máquina de esfuerzos a compresión, Laboratorio de Ensayos Facultad de Ingeniería. Fotografía propia. Puede observarse el tamaño para hacer ensayos 2.80 metros de alto y 1.20 metros de ancho.

- Informe técnico ISO/TR 22 157– 2 primera edición 2004.
- Bambú determinación de las propiedades físicas y mecánicas parte 2 manual de laboratorio.
   (Para que ciertos ensayos sean homologados internacionalmente existe la Normalización para estandarización).

Durante marzo del 2018 se entrevistó al Ing. Pablo de León y Gesías Enriquez al menos 2 veces por semana y así aportaron en esta investigación, en conjunto con el Ing. Marcos Mejía.

Existe una carta de entendimiento entre Facultad de Arquitectura e Ingeniería en el cual permite el uso de laboratorio de Ingeniería en las clases de resistencia de materiales y físicas. A raíz de la gestión del ingeniero Marcos Mejía con el MSc. ingeniero Pablo De León quien oportunamente nos solicitó una reunión con el encargado del área el Doctor Ing Javier Quiñones, en dicha reunión sostenida el día 8 de marzo del presente acordamos colaborar mutuamente, unir esfuerzos para alcanzar objetivos similares por un lado el ingeniero







Figuras 16a, b, c . Ensayos realizados por el MSc. ingeniero Pablo de León con azufre sublimado.– Fotografías por MSc. Ing. Pablo de León, 2018.



Figuras 17. Otras posibilidades planteadas por el ingeniero Pablo de León es utilizar plástico reciclado u otros materiales que soportan los rayos UV.



Figura 18. En el laboratorio multipropósitos, sección de Tecnología de la Madera se han realizado proyectos con bambú por parte de Gesías Enríquez. Marzo 2018.

Pablo de León en representación de la Facultad de ingeniería presentará una ponencia utilizando bambú para cerramientos, en el Congreso de Tierra a realizarse en Antigua Guatemala en octubre 2018.

Datos preliminares compartidos por Gesías Enríquez:

- Tensión: 2,600 kg/cm2 (Parte Intermedia)
- Tensión: 3,100 kg/cm2 (Parte Base)
- Corte: 500 kg/cm2-Cantidades aproximadas recopiladas verbalmente 24/04/18

### Entrevista vía telefónica Ing. Mario Salan 13/04/2018

Mario Salan es empresario propietario de una empresa especializada en tratamiento y construcción con bambú llamada Laminados y Estructuras Kunth, el año pasado fue expositor como parte de una serie de conferencias del programa Industrialización del Bambú evento realizado por la Misión de Taiwán en Guatemala. En dicha charla se mencionó sobre los múltiples ensayos que había realizado e investigaciones para elaborar sus teorías e hipótesis para la manipulación con Bambú que incluyen las recomendaciones siguientes:

- Para trabajar las uniones con bambú el acero es recomendable buscando la viabilidad económica, costo/beneficio.
- El uso de normas mexicanas para bambú y normas peruanas E 100.
- INBAR restringe las nuevas tecnologías.
- La caracterización de la especie ya está realizada y probada por lo que la investigación debe enfocarse en el comportamiento de los nodos.



**Figura 19.** Ensayos a Compresión y Tensión Realizados por Gesías Enríquez - MSc. Ing. Pablo de León. Marzo 2018.

- Los ensambles funcionan mejor cuando son los ensambles de bambú puesto que trabajan a contracción y dilatación de la misma forma todas la estructura, a diferencia de la madera o concreto es que sus coeficientes de dilatación y contracción son diferentes por lo tanto el bambú con el tiempo se revienta. Por lo que no recomienda trabajar con concreto.
- El uso de resina y cintos en las uniones es otra recomendación.

- La longitud modular del bambú es de 3.10 m según su experiencia; es una longitud que permite una variación mínima en diámetro y una longitud transportable.
- Ha trabajado con estwructuras tipo Joist de bambú que cubren luces de 20 metros
- Recomendó materiales que trabajan a tensión.
- Últimos minutos de la entrevista: https://drive.google.com/ open?id=15LJX2A9YDwCIyg-9m6jQxH1Kyz934jYdj open?id=15LJX2A9YDwCIyg9m6jQx-H1Kyz934jYdj

## 5.5 Cuadro comparativo

Las especies óptimas para utilizar en construcción sería guadua angustifolia y dendrocalamus asper; se cortan desde los 5 a 6 años de edad pues ya han obtenido la resistencia mínima para utilizarse en construcción he aquí algunas características:

Tabla 1. Comparación entre las especies de bambú Guadua Angustifolia y Dendrocalamus Asper.

	Guadua Angustifolia	Dendrocalamus Asper
Origen	Suramérica (Nor-oeste)	Sudáfrica (India Bir- mania y Tailandia)
Localización en Guatemala	Finca Chocola, Santa Adwelaida y La fortuna Casa Blanca	Santa Barbara, Suchitepequez
Velocidad de crecimiento	5 años en adelante	6 años en adelante
Uniformidad del Diámetro	En el segmento central	Parcial segmento central
Uniformidad de la Corteza	En el segmento central	Parcial segmento central
Distanciamiento de los nudos	20-40cm	30-45cm
Longitud Máxima	14–20 metros (25 clima óptimo)	20–25 metros (39 clima óptimo)
Longitud Óptima	6-8 m	6-9 m
Diámetro promedio utilizable	10-15cm	15-20-30cm
Grosor de corteza	10mm	

	Guadua Angustifolia	Dendrocalamus Asper
Distancia entre siembra	7x7m	7x7m
Número de Cepas	200	200
Elevación SNM	1,600 -3,300M	1,600 -2,000M
Época de siembra	Marzo-Mayo	Marzo-Mayo
Cuidados y costo de Crecimiento		
Resistencia Mecánica		
Compresión	18N/mm2***	
Tracción	4.18N/mm2***	
Flexión		
Cortante		
Módulo de elasticidad		

**Fuente:** Instituto técnico de capacitación y productividad misión China sección reproducciones INTECAP julio 1987, extraído con los datos de ensayos realizados en Ingeniería, recopilados durante la investigación.

## 06 Marco teórico

A continuación se enumeran algunas reflexiones que muestran cómo ha evolucionado el concepto de arquitectura hasta la contemporaneidad en el marco de los avances tecnológicos y las herramientas digitales.

# 6.1 De la arquitectura en serie a la arquitectura paramétrica

#### **Reflexiones:**

- "Quizás el instrumento más representativo de la arquitectura en serie, sea el módulo" La arquitectura ha variado del módulo a elementos modulares con variaciones y se observa en todas las industrias; automotriz, o dispositivos electrónicos tienen variaciones de una misma versión, la arquitectura no es ajena a esta tendencia.
- Con la aparición de los sistemas digitales, (...) "los diseños se han transformado en abstractos y experimentales. (...) y se recupera la ambición de personalizar la producción" (...) "Ya no se piensa en función de una serie o repetición, sino en versiones o variaciones.<sup>15</sup>
- La vanguardia arquitectónica contemporánea está asumiendo la demanda de un creciente nivel de complejidad (...) Proponemos llamar a este estilo Parametricismo (...) Nuevo gran estilo desde el Movimiento Moderno (...) Nueva gran ola de investigación e innovación.<sup>16</sup>
- Las herramientas digitales permiten experimentaciones virtuales, agotar los procesos digitales para posteriormente hacer tangibles los modelos virtuales con mayor análisis, precisión y disminuir la posibilidad de falla.

- 14. Neil Leach "Digital Morphogenesis", Architectural Design, Vol 79, N°1, Enero-Febrero, 2009, p. 32.
- 15. Patrick Schumacher, "Parametricismo como estilo" – manifiesto parametricista, Londres, Club Dark Side, 11ª bienal de arquitectura de Venecia, 2008.
- 16. Lluís Ortega, La digitalización toma el mando, Barcelona, Gustavo Gili, 2009.



# 6.2 Tecnología en arquitectura

En los últimos 20 años la tecnología ha avanzado aceleradamente en la arquitectura ingeniería y construcción, ver figura 21. Según Join Bill Allen Socio y Jefe de Tecnología de EnvolveLAB quien compartió sus predicciones para los próximos tres a diez años en el evento de Autodesk University celebrado en México

2016. En su conferencia "The Future of BIM Will Not Be BIM—and It's Coming Faster than You Think" los avances en diseño generativo software generadores de algoritmos y construcción robótica, los procesos actuales cambiarán de BIM Building Information Modelling a Building Information Optimization.

Figura 20. Proyecto de Investigación "Knit Candela" siguiendo el estudio de las formas hiperbólicas se replantea optimizar la formaleta a un 85%.
Zaha Code, ETH y Block Research Group–Museo Universitario de Arte Contemporáneo. Fotografía del autor, noviembre 2018.

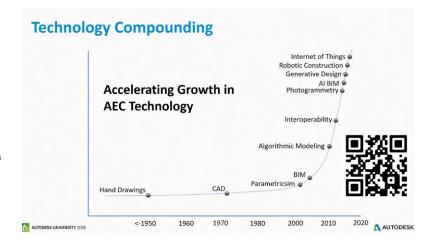


Figura 21. Crecimiento acelerado de la tecnología en arquitectura, ingeniería y construcción, ponencia: "El futuro de BIM no será BIM, y está llegando más rápido de lo que crees" Autodesk University México 2016.

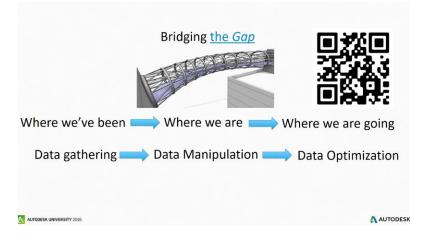


Figura 22. Acortando la brecha: hemos estado recopilando datos, para manipularlos de una forma avanzada y optimizada para mejorar los procesos de diseño, planificación, simulación, ejecución fabricación y construcción.<sup>18</sup>

18. Ponencia: "El futuro de BIM no será BIM, y está llegando más rápido de lo que crees" Autodesk University México 2016. Ingresar mediante Código QR.



### 6.3 Diseño paramétrico

El diseño paramétrico relaciona geometrías con valores, los ejemplos más antiguos y representativos son el Método de la Cadena del Matemático Robert Hooke (1676) los cuales inspiraron al arquitecto barcelonés Antonio Gaudí. Ver figura 22.

Posterior a la época de Gaudí el mundo se industrializó después del movimiento de la Bauhaus la tendencia económica es a la producción en serie masivamente.

En contraste con esto el mundo digital ha traspasado las fronteras de la virtualidad. Branko Kolarevic Profesor y teórico de Tecnología de la Universidad de Calgary, afirma: "Históricamente, los arquitectos hemos dibujado lo que podemos construir. Esta reciprocidad entre la representación y la producción no ha desaparecido en la era digital.

N.U.R.B.S. han expandido las posibilidades de lo que podemos dibujar, mientras las tecnologías de Fabricación Digital han expandido sustancialmente las posibilidades de lo que puede ser fabricado y construido. Como resultado la complejidad geométrica de los edificios ha incrementado dramáticamente en la última década."<sup>19</sup>

Figura 23. Explicación gráfica de relacionar las geometría de la cadena con los valores de carga de los contrapesos, Método de Cadenas y Contrapesos Robert Hooke.

19. Arquitectura en la Era Digital, Diseño y Manufactura, Londres 2003

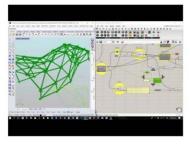
## **07** Estado del arte

### Proceso de Diseño Paramétrico

Figura 24. Ejemplos de Procesos de Diseño Paramétrico aplicado a impresión con cerámica (en IAAC) o la descomposición de una superficie con por medio de una grilla. Elaboración propia proceso de diseño Paseo del Bambú.



Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña



Proceso de Diseño Generativo Paseo del Bambu



Figura 25. Aplicación de módulos adaptables variados en forma geométrica y material a una misma superficie con puntos de referencia. Elaboración propia 2017.

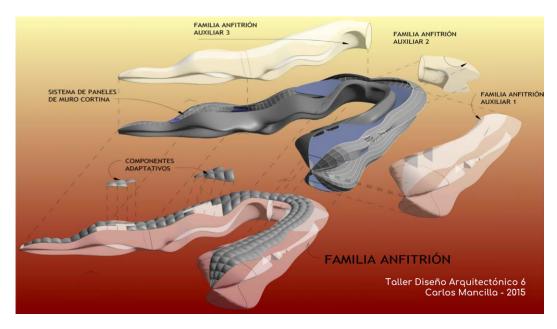


Figura 26. Talleres preparados durante 2015 y 2016 con alumnos de Diseño Arquitectónico 6 muestra el proceso de trabajo de geometrías complejas con familias adaptativas con Autodesk Revit. Elaboración propia.

## 7.1 Fabricación digital

El diseño paramétrico ha ampliado los límites de fabricar utilizando máquinas y tiene impactos en la economía y en el uso de mano de obra calificada.

Es una técnica que combina el diseño digital en su mayoría paramétrico por la complejidad que se genera con máquinas mecanizado en CNC<sup>20</sup> o robots para hacerlo tangible.

# 7.2 Tipos de fabricación digital

Sin importar la máquina utilizada para realizar el proceso de fabricación se basa en un mecanizado en x, y, z algunas máquinas poseen movimiento de la bandeja o del eje para generar 5 y 7 ejes otras más avanzadas un brazos robóticos como el mostrado en la figura 4.

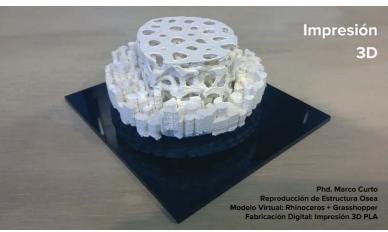
20. Control numérico computarizado.



Figura 27. Fabricación digital con corte router CNC. Taller Diseño y Fabricación Digital FARUSAC. Fabricación propia 2015.



**Figura 28.** Fabricación digital sustracción y grabado. Elaboración propia, Madrid 2017.



**Figura 29.** Fabricación digital con impresión 3D o por adición. Elaboración Marco Curto, Madrid 2017.





Figura 30. Fabricación digital aplicada a moldes de HDF para fundición de concreto - CAD - CAM. Combinada con técnicas tradicionales. Dimensiones 1.50 x 1.50, esquinas edificio AVIA Innovation Group zona 10, Ciudad de Guatemala. Elaboración propia 2015.

Figura 31. Fabricación Digital Molde + Termoformado. Elaboración Arturo Tedeschi, Italia 2017.





### 7.3 Tecnología con bambú

El trabajo con bambú ha evolucionado y se ha tecnificado con los años, existen instituciones en todo el mundo trabajando en ello según la revisión bibliográfica de esta investigación los estudios más avanzados en América latina los ha llevado la Red Internacional de Bambú y Ratán INBAR quien se ha dado a la tarea de tecnificar procesos artesanales de construcción con bambú (ver anexos).

Y en Europa los ha llevado el profesor jubilado: Dr. Ing. Gernot Minke, quien ha trabajado de la mano con Universidades y centros de investigación en Inglaterra, Holanda, México, USA, Venezuela, Paraguay, Brasil, México Italia y Guatemala (1978, 1980).

Las formas para construcción con bambú y sus tipos de unión son limitadas únicamente por los recursos financieros con los que se cuente para investigación y desarrollo, sin embargo basándonos en puros criterios estructurales tomaremos como base la parábola en elevación y planta.

En elevación para facilitar la transmisión de cargas al suelo y en planta para darle rigidez a la estructura como logrando un pliegue suave convirtiendo la superficie original en un paraboloide hiperbólico (ver glosario).

Figura 32. Bóveda tipo "catenaria" logra su verdadera forma utilizando su peso propio tal como el método de la cadena por Robert Hooke y desarrollado por Gaudí –Manual de Construcción con Bambú Dr. Ing Gernot Minke.<sup>21</sup>

21. Referencias bibliográficas: Manual de Construcción del Dr. Gernot Minke Director del Instituto de Construcciones Experimentales, Universidad de Kassel Alemania 2010 (Ver Anexos) y Normas INBAR 2015.



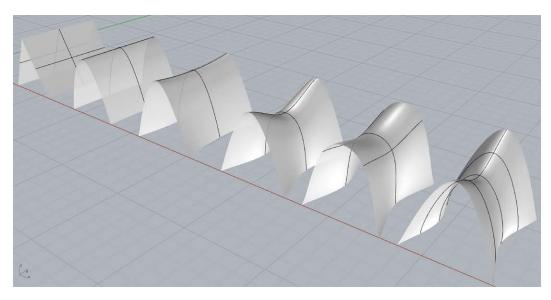




#### 9.6 Bóvedas

Una bóveda es una estructura dimensional en simple curvatura, como la adición de arcos, que transfiere fuerzas en compresión.

En el Instituto de construcciones experimentales FEB de la Universidad de Kassel, Alemania, fueron desarro-lladas entre los años 1981 hasta 1983 dos sistemas de bóvedas antisísmicas. La primera fue construida con latas de Guadua angustifolia colgadas entre dos soportes a manera de catenarias. Perpendicular a éstas fueron colocadas cañas de guadua y encima otras latas; los puntos donde los elementos se cruzaban fueron fijados con remaches tipo pop (Fig. 9.6-1). Después de esta acción la estructura fue invertida formando una



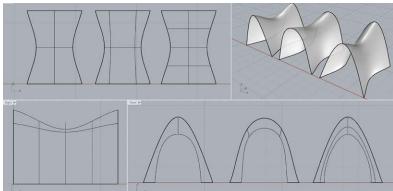


Figura 33. Proceso de Generación de paraboloide hiperbólico desde la concepción básica de cubrir una luz entre 2 puntos formando triángulo. Elaboración propia 2018.

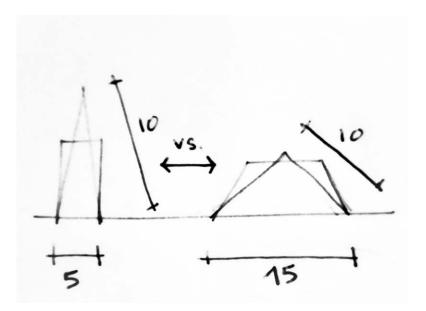
Figuras 34a, b, c, d. Variaciones de paraboloides hiperbólicos; planta, perspectiva y elevaciones generados desde la sucesión de catenarias con Rhinoceros 3D + Grasshopper 3D. Elaboración propia 2018.

# **08** Análisis

## 8.1 Maquetas y modelos digitales

### 8.1.1 Elaboración de maquetas a escala

La realización de maquetas a escala ha servido para entender mejor la forma cómo se conectan las piezas de la estructura y las posibilidades que existen de "armaduras", manteniendo siempre el principio que sea simple que sea práctico de construir, tomando en cuenta que la unión permita cambiar piezas en el mediano o largo plazo.



**Figura 35.** Dibujo relación esbeltez. Luz a cubrir. Elaboración propia, 2018.

- a) 2 Opciones número de piezas
  - Pieza Única y pieza Múltiple
  - Comparación:
  - Economía
  - Durabilidad
  - Complejidad constructiva
  - Elaboración de maquetas virtuales
  - Análisis
  - Generación de gráficas
- b) Analizar posibilidades geométricas para envolventes
  - Analizar Forma
  - Analizar longitud de las piezas 6–7 metros (Guadua Angustifolia Kunth)
  - Costos en tiempo de crecimiento vs. longitudes "standard" (6 años)
  - Determinar Luces factibles a cubrir (Usos Centros Educativos, Estructuras Prehispánicas)
  - Número de piezas óptimo (menor posible)

- c) Analizar si la geometría y complejidad constructiva permiten:
  - Flexibilidad
  - Escalabilidad
  - Durabilidad
  - Economía
  - Complejidad constructiva en los nodos
- d) Opciones morfología de la envolvente
  - 2 Opciones sobre Geometría
  - Lineal-Proyección extrusión (Armadura de tijeras formando triangulaciones)
  - Radial tipo domos geodésicos
  - Revisar: Domos, Estereoestructuras



Figura 36. Comparación entre maquetas y análisis menos piezas y menos uniones. Elaboración propia.

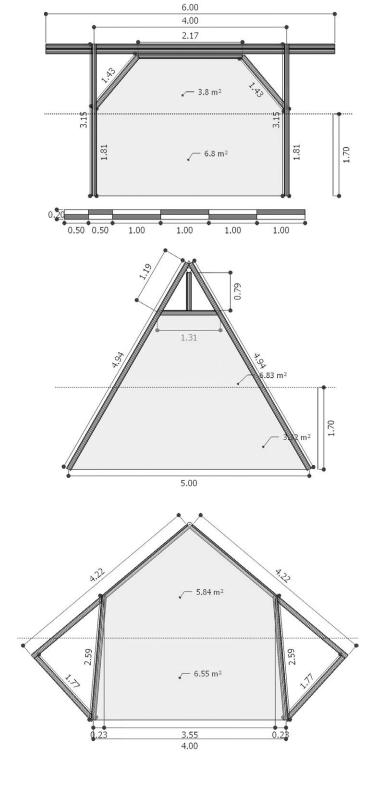


Figura 37 a, b, c. Comparación y análisis número y longitud piezas y optimización espacial. Elaboración propia.

### 8.2 Discusión-foro

La finalidad del foro fue socializar con los docentes de la Facultad de Arquitectura el estado de la investigación para conocer sus opiniones al respecto y tomarlas en consideración para mejorar proyecto de investigación.

Foro-Investigación Fabricación Digital Aplicada a Envolventes de Bambú FARUSAC 21 de mayo de 2018, ver grabación: https://www.youtube.com/watch?v=L4IDqA7fVqk

- En la cual se utilizó el ejemplo como ejemplo el proceso de diseño del Paseo del Bambú.
- También se mencionó sobre la investigación que se desarrolla: "Uniones de piezas hechas con fabricación digital para estructuras de bambú".
- Se sugirió por parte del Arq.
   Marco de León comparar este sistema con otro similar desde el punto de vista económico.
- El licenciado Otto Valle mencionó sobre el papel del ser humano en el proceso de diseño con las herramientas de diseño basado en parámetros.



Figura 38. Foro -Investigación Fabricación Digital aplicada a Uniones de Bambú, FARUSAC, 21 de mayo de 2018.



Figura 39. Comparación y análisis número y longitud piezas y optimización espacial. Elaboración propia, mayo 2018.

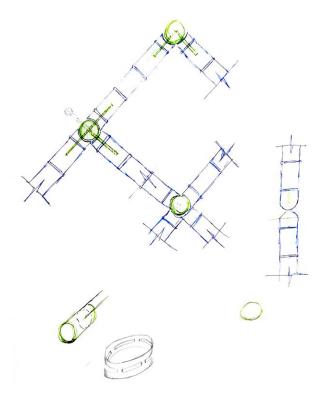
# **09 Propuesta**

Partiendo del trabajo realizado con maquetas y modelos virtuales se realizó un diseño preliminar de uniones:

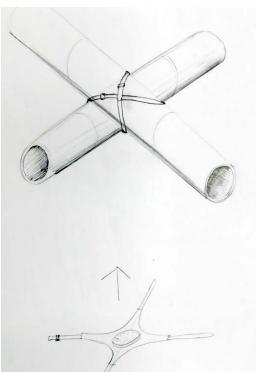
Se pensó en el uso de distintos materiales para realizar las uniones.



**Figura 40.** Materiales para pruebas, los cinchos plásticos resultaron ser muy frágiles.



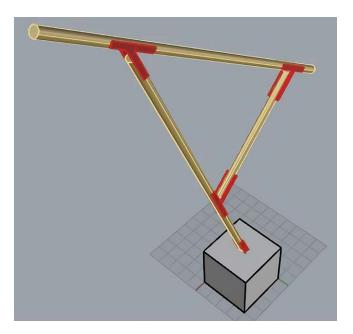
**Figura 41.** Esquema de nodos con pines y morteros. Elaboración: Ing. Marcos Mejía.

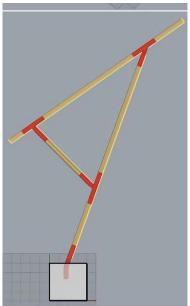


**Figura 42.** Nodos con cinchos. Elaboración Arq. Carlos Mancilla.

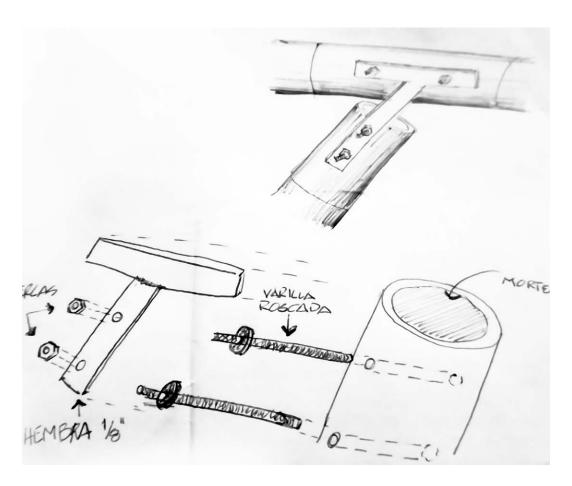
## Propuesta con Platinas metálicas genéricas

Con hembras de 1" x 3/16" ó  $1\frac{1}{4}$ " x 1/8" esta unión tiene la ventaja que puede reforzarse según sea necesario.





**Figura 43 a, b.**Dibujos de sistema de platinas genéricas. Elaboración propia.



**Figura 43 c.**Dibujos de Sistema de platinas genéricas.
Elaboración propia.

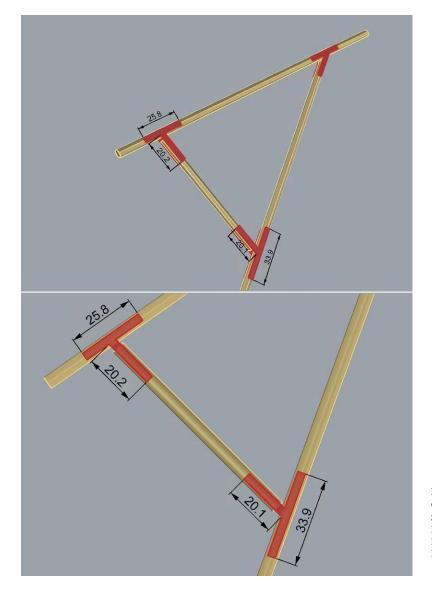


Figura 44. Dibujos de sistema de platinas genéricas. Elaboración propia. Esquema de 8 piezas diseñado y presupuestado: Q.400.00.

# 9.1 Diseño digital

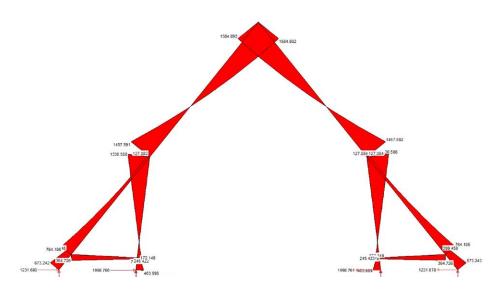
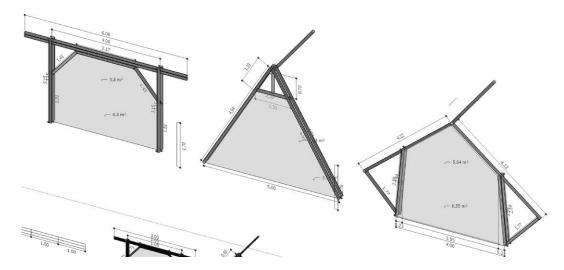


Figura 45. Se utilizó el programa Multiframe 2D para generar diagramas de momento a variaciones de la estructura para conocer sus esfuerzos en los vértices. Elaboración Ing. Ronald Zabala Unidad de Estructuras 2018.

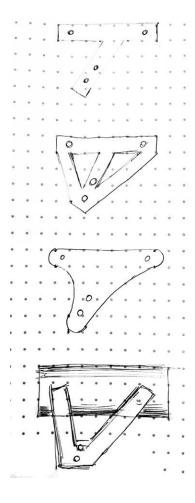




**Figura 46.** Análisis de espacialidad y optimización de materiales. Elaboración propia. <sup>21</sup>

21.Ver video del proceso de análisis de la forma: https://drive.google. com/ open?id=1d9lbgZiz 5XiX9Z\_UQRIC pOBvTHUO3vWr

**Figura 47.** Fabricación de prototipos para piezas de unión taller de herrería - Elaboración propia.



## 9.2 Diseño generativo

El diseño generativo está basado en desarrollar algoritmos utilizando componentes o funciones a partir de valores o geometrías.

Un elemento geométrico puede ser un punto, una curva, una superficie o un modelo tridimensional.

Esta referencia inicial sirve como generatriz para el algoritmo; para resolver un problema teniendo la posibilidad de analizar distintas opciones con un número prácticamente limitado por las variables o parámetros que integre el algoritmo. código, definición .

Figura 48. Evolución esperada de la unión metálica, según parámetros. Elaboración propia.

### 9.3 Código de diseño (Rhinoceros + Grasshopper 3D)

Posterior la revisión de fuentes bibliográficas experiencias y entrevistas realizadas durante el primer semestre 2018, se logra definir los parámetros de diseño de una estructura paramétrica en la cual el diseño de sus uniones se construirán utilizando fabricación digital.

#### Parámetros:

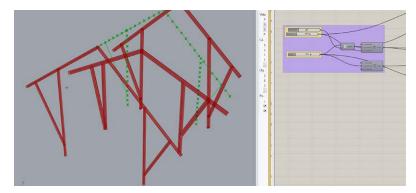
- Forma de la envolvente
- Cantidad de marcos portantes
- Cantidad de vértices de los marcos
- Diámetro de la caña
- Distancia entre nudos
- Distancia entre vértice y punto de perno inferior
- Forma de las piezas rectas o curvas

#### Proceso:

#### 9.3.1 Definición o código 1

Estructura diseñada paramétricamente basada en puntos de referencia x,y,z que forman líneas y la descomposición de las líneas en N cantidad de puntos de referencia tiene la posibilidad de generar la estructura de la envolvente.

#### Diseño de estructura Utilizando Diseño Computacional:



**Figura 49.** Variaciones a los valores de los parámetros de la estructura basada en puntos. Elaboración propia.

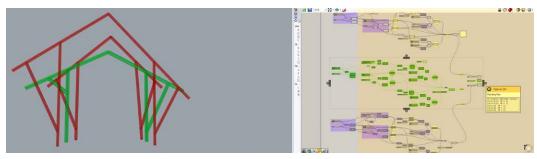
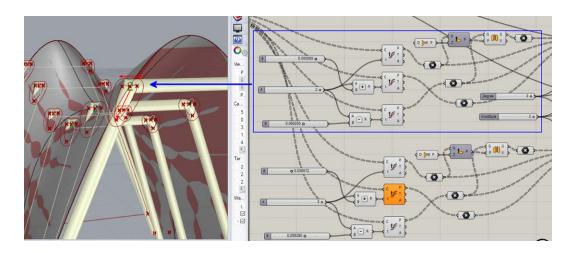


Figura 50. Primera versión del *script* (código) paramétrico basado en líneas y puntos para generar estructura de bambú. Elaboración propia, agosto 2018.



Del lado izquierdo se muestra la superficie a la que se adapta y desde la cual se genera el algoritmo

Del lado derecho el código con los parámetros modificables: diámetro de la vara, longitudes, número de vértices, número de elementos, ubicación de las perforaciones para la pieza de unión unión paramétrica.

Durante el primer semestre del 2018 se revisaron fuentes bibliográficas y se realizaron algunas entrevistas en torno al trabajo con bambú, finalmente se logró el objetivo principal diseñando estableciendo los parámetros de diseño y generando las uniones por medio de un

*script* visual utilizando Rhinoceros + Grasshopper.

Sin embargo durante la primer mitad de esta investigación se definió un código de diseño que se basaba en puntos y líneas que se conectaban entre sin embargo la reflexión sobre la forma que generará la estructura se continuó discutiendo.

Dados estos motivos se rediseñó el *script*<sup>22</sup> para mostrar de forma ordenada los parámetros en los cuales se basan las uniones. Dado que durante el primer semestre pasado se trabajaron 3 versiones de*script*paramétrico, a continuación imágenes de la primera versión.

Figura 51. Variaciones a los parámetros de la estructura. Elaboración propia. Del lado izquierdo se muestra la superficie a la que se adapta y desde la cual se genera el algoritmo.

22. Código de programación para automatizar procesos, regularmente basado en lenguaje de programación, el método de *script*ing que permite Grasshopper se realiza dentro de un entorno visual con herramientas.

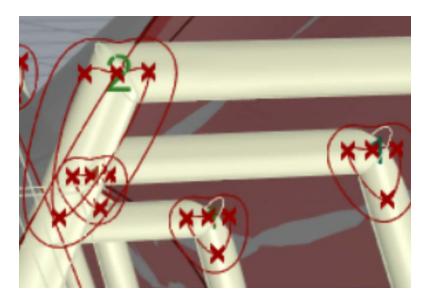


Figura 52. Nodos paramétricos en vértices 2 y 1 las uniones se generan desde 3 puntos, pueden variarse la forma para que las tangentes predominantes marques la forma o se formen tangentes suaves como en la imagen, o simplemente sean rectas.

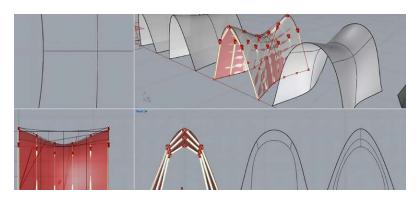
# 9.4 Rediseño del código (versión 1.2)

A partir de las discusiones con el ingeniero Marcos Mejía sobre la envolvente y la estructura se decide trabajar una nueva versión de *script* basado una superficie en este caso en una superficie catenaria que forma un paraboloide hiperbólico.<sup>23</sup>

La manera más práctica de cubrir una luz en un espacio es a partir de un triángulo como se muestra en la parte izquierda de la figura 54, sin embargo sumando a este concepto que la forma más eficiente para estructuras es la catenaria es como evoluciona la forma en la figura 54 de la derecha.

De todo este proceso de investigación se ha hecho fuerte una inversión de tiempo en actividades puntuales como; revisión de fuentes bibliográficas, actividades de campo, informes; cambios en los mismos y otra actividad que ha representado una inversión importante de tiempo es que no es visible son los constantes ajustes al *script*.

23. En el informe anterior se explica por qué se utilizó una superficie basada en catenaria.



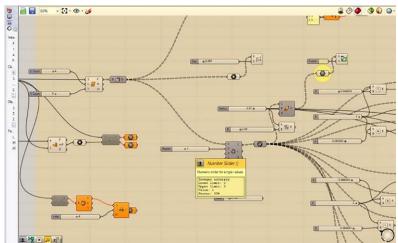


Figura 53 a, b. Script basado en superficie para generación automática de estructura y platinas. Elaboración propia, septiembre 2018

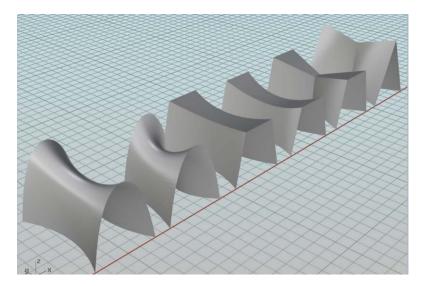


Figura 54. Cubriendo un espacio mediante la geometrización de forma catenaria hacia paraboloide hiperbólico. Elaboración propia.

### 9.5 Acumulación de esfuerzos

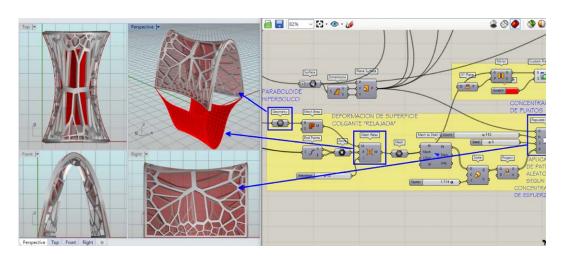
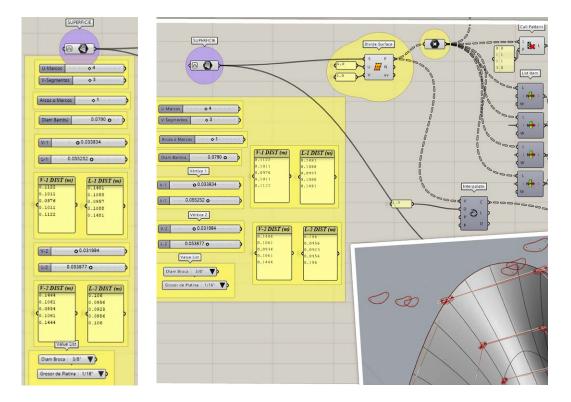


Figura 55. Rigidez y acumulación de esfuerzos en paraboloide hiperbólico generado desde perfil de catenaria, análisis con herramientas de diseño paramétrico: Mesh Relax, patrón Voronoi aleatorio y Surface Morph. Software: Grasshopper®. Elaboración propia.

### 9.6 Código con parámetros de diseño

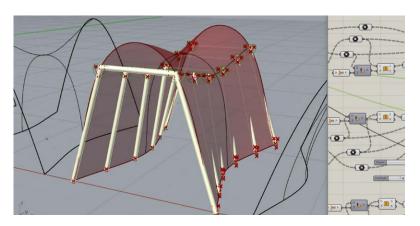
Script versión 1.2.1 con parámetros organizados.

Figuras 56 a, b. Script reordenado mostrando en color rojo las piezas generadas automáticamente por el mismo. Elaboración propia septiembre 2018.



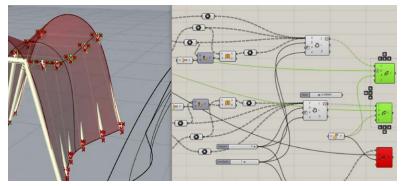
### 9.7 Pruebas del código

Se realizaron cambios en sus parámetros para ensayar su funcionalidad.



**Figura 57 (a, b).** *Script* o código paramétrico funcionando para envolvente paraboloide hiperbólico con 6 marcos y 2 uniones. Elaboración propia. <sup>25</sup>

25. Código funcionando con 2 vértices Elaboración propia Informe Final Diseño Digital de Uniones para envolventes de Bambú.



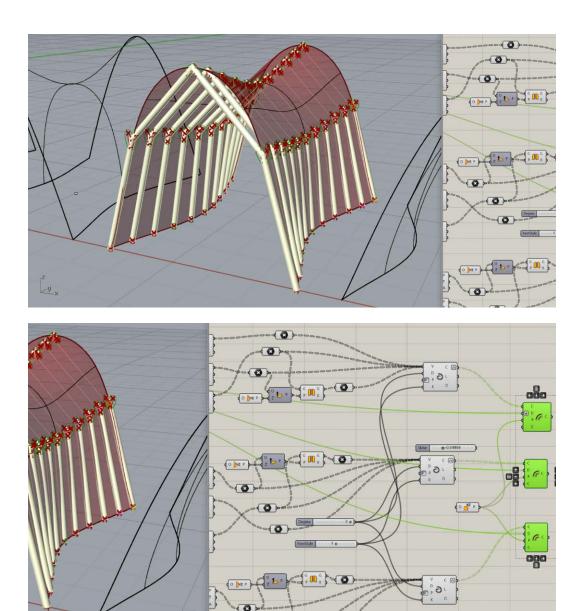


Figura 58 (a, b). Script o código paramétrico funcionando para envolvente paraboloide hiperbólico con 11 marcos y 3 uniones. Elaboración propia.<sup>26</sup>

26. Informe Final Diseño Digital de Uniones para envolventes de Bambú.

#### 9.7.1 Código versión 1.3

Con el fin de comprobar el funcionamiento del código diseñado en Grasshopper se aplicó a tres diferentes superficies la funcionalidad para optimizar el tiempo y análisis de las posibilidades de diseño resultó positivo porque el código es capaz de analizar un sin número de opciones basadas principalmente en los parámetros descritos con anterioridad para estructuras de bambú y en esta tercer versión del código integra componentes para filtrar la información y elegir las uniones a generar, también integra un componente que simula interacciones orgánicas entre las distancias de los puntos produciendo geometrías más orgánicas sin dejar de lado el factor de la lógica estructural que fue eje transversal de esta investigación.

#### Aplicación en superficie basada en triángulo

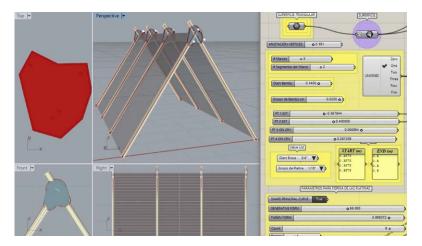


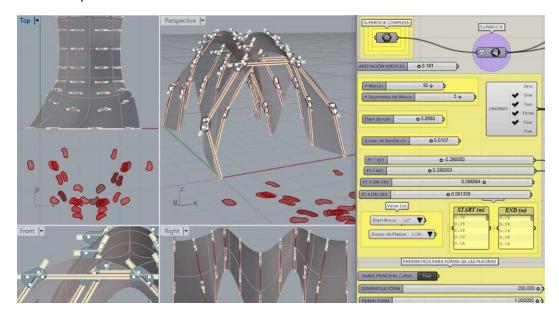
Figura 59. El nuevo código permite decidir qué nodos afectar, el número de pernos y la forma geométrica de las platinas. Elaboración propia.

#### Aplicación en superficie compleja irregular

Variación para generar uniones: (figura 60)

- Diámetro del bambú 9.9 cm y grosor 1.07 cm
- Cantidad de marcos: 11 unidades
- Cantidad de segmentos por marco: 5
- Total de platinas: 44 unidades
- Cantidad de pernos por platina: 4
- Distancia entre pernos 28 cm en ambos sentidos

**Figura 60.** Aplicación sobre forma compleja. Elaboración propia 2019.

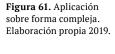


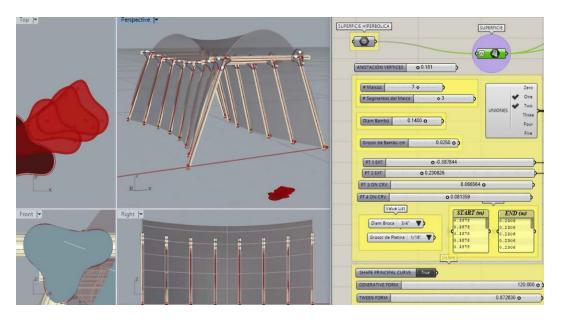
#### Aplicación en superficie hiperbólica

Variación para generar uniones: (figura 61)

• Diámetro del bambú 14 cm y grosor 2.5cm

- Cantidad de marcos: 8 unidades
- Cantidad de segmentos por marco: 3
- Total de platinas: 24 unidades
- Cantidad de pernos por platina: 3
- Distancia entre pernos 38.784cm en sentido horizontal y 23.062cm en vertical.

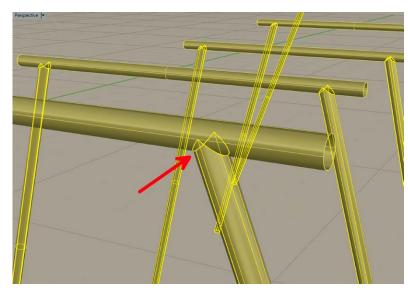




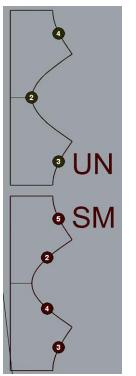
Forma geométrica basada en iteraciones entre curva periódica formada y el componente de simulación de interacción orgánica inspirado en la biología llamado "metaball".

### 9.8 Generación de Plantillas y piezas

Dadas las uniones entre bambú y bambú que se muestran en la siguiente figura se determinó la necesidad de imprimir plantillas para realizar un corte preciso en el empalme de viga de bambú con columna de bambú o popularmente llamadas "bocas de pescado".



**Figura 62.** Estructura de bambú para formar envolvente. Elaboración propia, septiembre 2018.



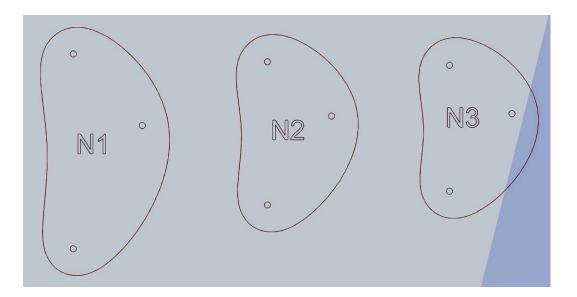


**Figura 63.** Plantillas para empalme cilíndrico. Elaboración propia, septiembre 2018.

**Figura 64.** Plantillas impresas para ensayar en bambú. Elaboración propia, septiembre 2018.

En esta etapa de investigación se han realizado inversiones para la fabricación de las piezas en tamaño real, realizadas en metal y con pernería. A continuación se enumeran las actividades:

- 1. Compra de Bambú para prueba de esfuerzo, se hicieron cotizaciones y finalmente se compró en Bambú Maya zona 1, ciudad de Guatemala, se compraron 6 tarros de bambú tipo guadua en por un precio de Q16.67 cada una.
- 2. Diseño de uniones mediante *script*.
- 3. Generación de plantillas para ensayar su ensamble, tamaño y distribución de los agujeros con los entrenudos de bambú. En octubre de 2018 se tuvo una invitación para compartir las experiencias de arquitectura y diseño paramétrico en la Universidad Mesoamericana de Quetzaltenango, evento promovido por La Granja Fab Lab, Quetzaltenango, Centro Cultural de España en Guatemala,



Universidad Mesoamericana y Centro universitario de Occidente. La charla se tituló Metodologías de Diseño Generativo y se explicó el proceso de diseño paramétrico mediante el uso de diseño computacional visual para resolver problemas de diseño de forma automatizada; en nuestro caso las uniones, el Arq. Luis Fernando Castillo de La Granja Fab Lab, Quetzaltenango

amablemente realizó el corte de las plantillas en mdf con CNC.

- 4.
- 5. Ensayo de prototipos sobre bambú guadua, se probaron las piezas de mdf de 3/32" cortadas previamente en La Granja Fab Lab Quetzaltenango. Estas piezas se cortaron según los medidas generadas por el *script* el cual se basa en los parámetros de diseño.

Figura 77. Diseño de platinas utilizando script. En color rojo las piezas generadas automáticamente por medio del código de Grasshopper. Elaboración propia.



Figura 65. Corte de prototipos de plantillas en material MDF de 3mm realizadas en la Granja Fab Lab. Octubre 2018.

**Figuras 66 a.** Ensayo de prototipo de MDF sobre bambú. Elaboración propia.







**Figuras 66 b, c.** Ensayo de prototipo de MDF sobre bambú. Elaboración propia.



**Figura 67.** Primer prototipo de uniones en metal con hembras de 1/8". Elaboración propia.

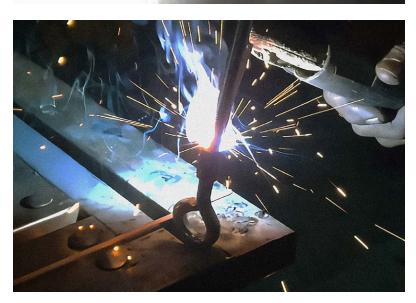
- Uso de los prototipos de platinas para fabricación con metal, se utilizaron estos prototipos hechos en mdf como plantillas para realizar platinas metálicas para realizar un ensamble real.
- 7. Fabricación de platinas metálicas con lámina de 1/16", se utilizaron las plantillas de mdf para marcar la lámina metálica con métodos de herrería tradicional, este fue realizado por la empresa Estructuras Arquitectónicas ubicada en zona 7 Quinta Samayoa. El precio de cada platina metálica de 1/16" ronda los Q25.00, se fabricaron 2 pares cada par con diferente diseño.
- 8. Compra de pernería y ensayo con piezas metálicas, se compró varilla roscada de 3/8" y armella de 1/2" en Didelasa con un precio de Q23.00 el metro lineal, las tuercas, roldanas y roldana de presión se compraron en la casa del tornillo.
- 9. Fabricación de perno vertical, con 2 piezas de varilla roscada y 2 Armellas se realizo una unión para el "perno vertical" el proceso fue el siguiente: se recortó la armella, se hizo bisel al perno y a la armella para unir con soldadura, luego se encamisó con tubo de 1/2" por medio de soldadura.



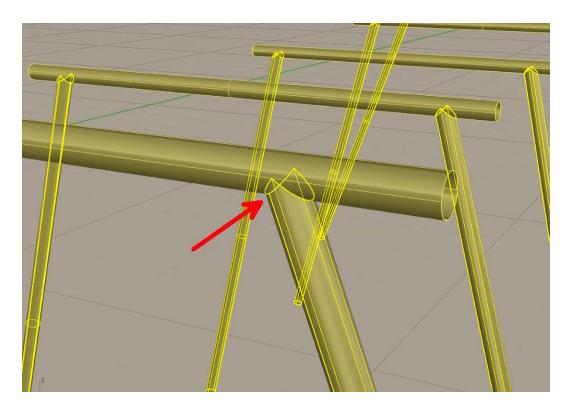


**Figura 68.** Platinas metálicas elaboradas con lámina metálica de 1/16". Elaboración propia.

**Figura 82.** Varilla roscada y armella.



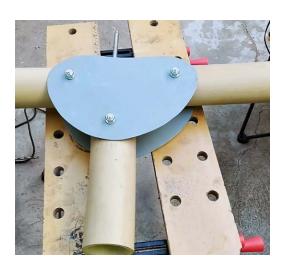
**Figura 69.** Proceso de unión mediante soldadura. Elaboración por Estructura Arquitectónicas Zona 7 Ciudad de Guatemala.



**Figura 70.** Estructura de bambú para formar envolvente. Elaboración propia.

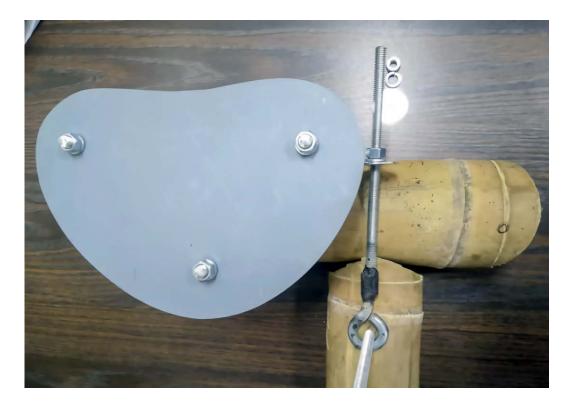
- 10. Preparación del bambú para ensamble con platina, se realizaron pruebas de unión bambú con bambú; conocidas comúnmente como "boca de pescado" por la forma circular del corte que sirve para adaptarse a la forma cilíndrica del bambú.
- Ensamble de sistema completo platina y pernos en un nodo de bambú, se realizó la unión del sistema completo para validar
- su funcionamiento llevado desde la parte de diseño digital hasta la fabricación tangible y según los parámetros asegurarnos que funciona correctamente.
- 12. Exposición de Proyecto de Investigación: Diseño Digital de Uniones para Envolventes de Bambú en Instituto Politécnico Nacional Ciudad de México, 13 y 15 de noviembre.

### 9.9 Fabricación de uniones





Figuras 71 a, b.
Fabricación de unión
validando el sistema
de Diseño de Uniones
por medio de herramientas de diseño
paramétrico y fabricación digital. Elaboración
equipo de investigación.



Figuras 71 c. Fabricación de unión validando el sistema de Diseño de Uniones por medio de herramientas de diseño paramétrico y fabricación digital. Elaboración Equipo de Investigación.



Figura 72. Exposición de Proyecto de investigación durante ciclo de conferencias: BIM en Centroamérica. Instituto Politécnico Nacional Tecamachalco, Ciudad de México.



Figura 73. Fotografía con Director Maestro Juan Tinoco y profesores de IPN y Salle. Instituto Politécnico Nacional Tecamachalco, Ciudad de México.

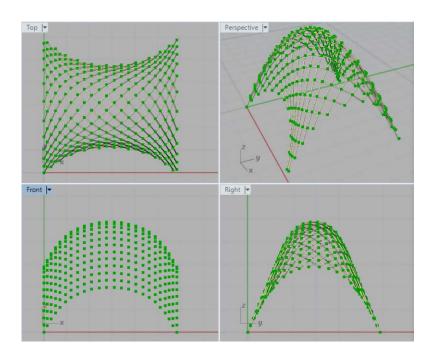
## Presentación disponible en la nube:

https://docs.google.com/presen tation/d/1vtJsdfK1U2MSoDvqct4 0tf7jcIoZpEvcfC04i2OvMwQ/edit ?usp=drivesdk

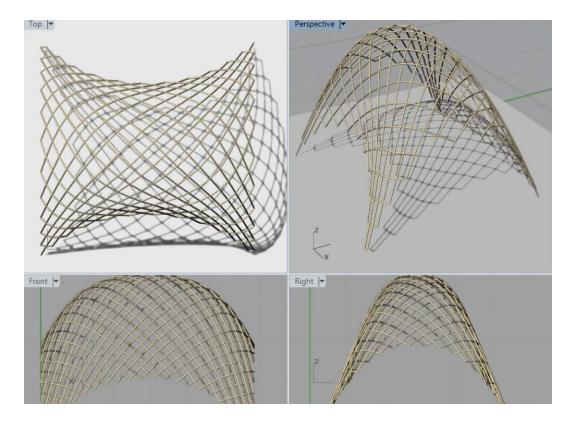
#### Grabación de conferencia:

https://www.facebook.com/ ESIATecamachalcoOficial/ videos/636952396707918/

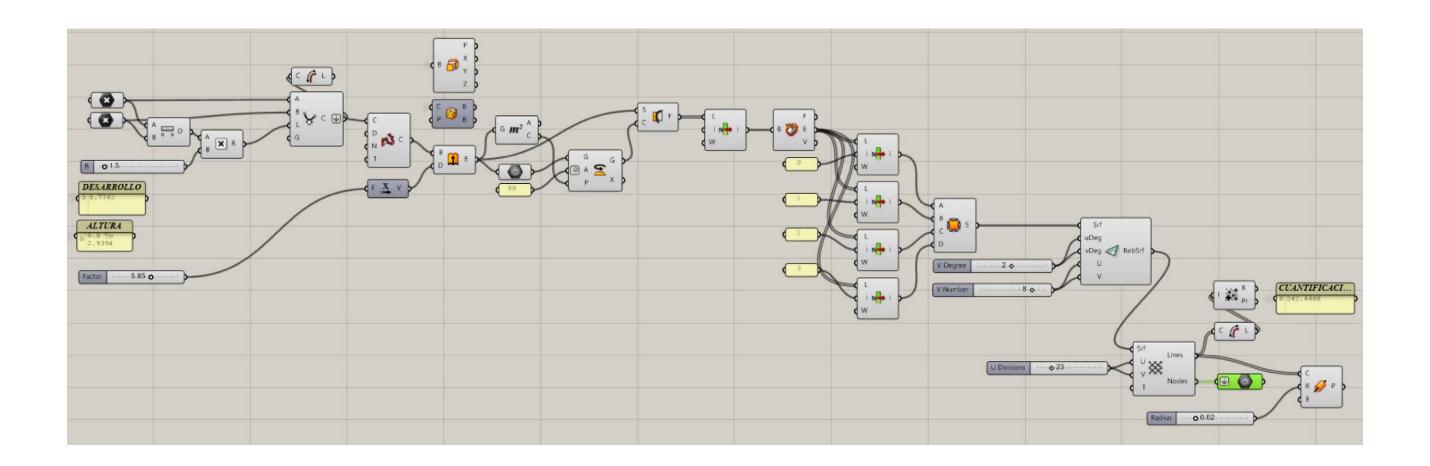
### 9.10 Otras exploraciones:



**Figuras 74 a.** Estructura liviana basada en forma hiperbólica. Elaboración propia.



**Figuras 74 b.** Estructura liviana basada en forma hiperbólica. Elaboración propia.



### Conclusiones

"A medida que los arquitectos se encuentran trabajando cada vez más en las disciplinas de la arquitectura, la ciencia de los materiales y la fabricación asistida por computadora, la relación histórica entre la arquitectura y sus medios de producción es cada vez más desafiada por los procesos digitales de diseño, fabricación y construcción. La fusión de lo que hasta hace poco tiempo atrás eran empresas separadas ya había transformado otras industrias como la aeroespacial, la automotriz y la construcción naval, pero aún no ha tenido un impacto significativo en el mundo del diseño y la construcción de edificios"27

#### Branko Kolarevic

 La discusión central de este semestre puede caracterizar las especies de bambú utilizadas en la construcción y pensar en la forma y tipo de unión a trabajar con estructuras de bambú. Haciendo referencia al objetivo número uno del protocolo de investigación: "Diseñar las uniones de una estructura de bambú por medios digitales generando un script, para tener la posibilidad de aplicarlo a estructuras

más complejas en el futuro" Es difícil brindar una solución integral de diseño una unión sin conocer el tipo de estructura y sin conocer el tipo de bambú idóneo, para lograr el diseño de la unión se hace necesario conocer el tipo de estructura deseada a detalle y para diseñarla considero proponer el tipo de bambú idóneo para estructuras. Por estas razones este primer objetivo ha demandado un

27. Branko Kolarevic-Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age-University of Pennsylvania, USA.

- especial esfuerzo por lo que ha sido necesario: revisión bibliográfica sobre el estado del arte, reuniones, entrevistas y visitas entre otras actividades para lograr alcanzarlo en esta fase investigativa.
- Se tiene la percepción que construir con bambú es sumamente económico, a partir de la visita a Cuyuta se obtiene que el rango de una estructura con bambú sin cerramiento ronda los Q260/ M2 costo de material y Q500 a 600/M2 material incluida mano de obra. Sin embargo cuando se quiere realizar un trabajo de calidad con bambú implica tener un buen cuidado de la planta desde su siembra, realizar un buen corte, hacer un buen curado y tratarlo contra insectos así como contra intemperie y darle mantenimiento eventualmente sin mencionar que las uniones que estamos proponiendo son de calidad. Cada uno de estos factores aumenta el precio de la estructura convirtiéndolo en un
- sistema no muy económico, esta premisa también se menciona en la página 52 de la tesis "El bambú y el fibrocemento en la vivienda económica de Mazatenango" realizada por Marco Tulio Figueroa Calderón, Facultad de Arquitectura 1990.
- Hablando de valor podemos decir que lo valioso de trabajar una estructura con bambú es que al ser un material natural reducimos el impacto ambiental que normalmente tiene una construcción tradicional además trabajar con bambú y hacerlo bien Es como trabajar con un tipo de madera y por lo tanto tiene un valor especial, si se trabaja con bambú se debe trabajar con muy buena calidad para que las personas lo entiendan como una construcción como un valor especial, esta premisa se respalda en las construcciones que realiza la Arquitecta Elora Hardy en Bali con su firma Ibuku.
- El día martes 20 de febrero tuve la oportunidad de escuchar la

disertación del doctor Francisco Alarcón Alba titulada "El impacto de las nuevas tecnologías en la educación" quien final concluía sobre el rumbo de la educación Universitaria y en general hacia las tendencias futuras de las profesiones. El doctor mencionaba que la universidad sensibilizarse ante el contexto social, económico y empresarial que debe permear hacia dentro de la Universidad como una especie de retroalimentación para conocer las competencias que requieren las profesiones del futuro, bajo este punto de vista considero que sería positivo estimular más propuestas estudiantiles basadas en investigación lo cual sería productivo para su vida profesional y académica al generar productos científicos más que proyectos de grado.

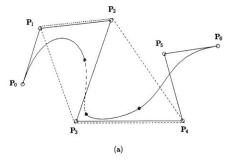
 La última actividad que a bien tuvo esta investigación fue el foro: "Fabricación digital aplicada a envolventes de bambú" el

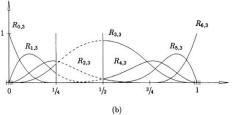
objetivo es actividad fue someter a la crítica académica el proyecto de investigación, hubieron críticas muy productivas centradas en dos aspectos diferentes el primero el factor económico qué economía puede representar el trabajo con bambú sin embargo el enfoque del proyecto es sustentar la hipótesis que puede generarse un sistema prefabricado con bambú, un sistema con sostenibilidad ambiental. La otra crítica se basa en la forma y el bambú por ser un material natural no posee características precisas a diferencia de un material industrial. (Se adjunta presentación del foro https:// docs.google.com/presentation/ d/13jkvVmxslWbGex09wTW-JXkZgsPScQmV5iaznH1ufFu4/ edit?usp=sharing)

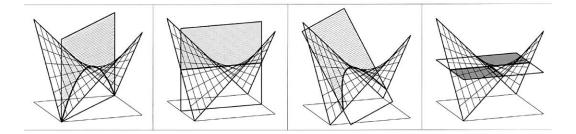
### Glosario

Bezier: Se denomina curvas de Bézier a un sistema que se desarrolló hacia los años 1960 para el trazado de dibujos técnicos, en el diseño aeronáutico y en el de automóviles. Su denominación es en honor a Pierre Bézier, quien ideó un método de descripción matemática de las curvas ue se comenzó a utilizar con éxito en los programas de CAD.

Catenaria: Curva formada por una cadena, cuerda o cosa semejante suspendida entre dos puntos no situados en la misma ver tical Esterilla: Elementos planos hechos de un plano de bambú







**N.u.r.b.s.:** Superficies de doble curvatura, definidas como Non Uniform Bezier Spline

Paraboloide hiperbólico: Superficie alabeada, que se extiende indefinidamente en todos sentidos, de curvaturas contrarias como una silla de caballo, y cuyas secciones planas son todas parábolas e hipérbolas.

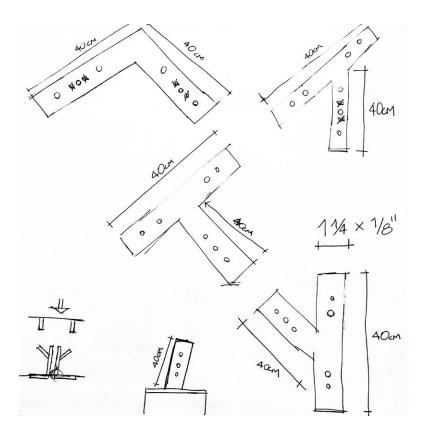
## Bibliografía

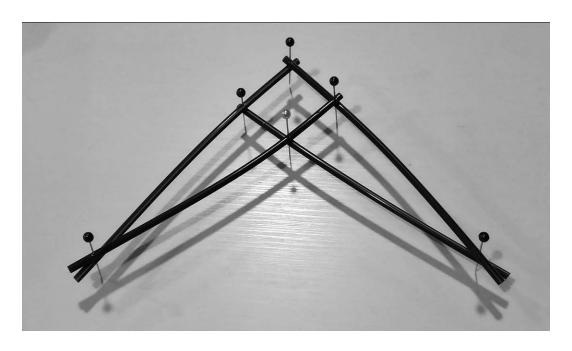
- González Salcedo, Luis Octavio, Recopilación Bibliográfica—Universidad Nacional de Colombia sede Palmira 2001
- Herrera Polo, Pablo. Patrones en la enseñanza de la Programación en Arquitectura De la Hetero-educación a la Auto-educación en Latinoamérica, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, C. 2013
- Hidalgo López, Oscar. Bambú su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, Arquitectura, ingeniería, artesanía.
- Kolarevic, Branko. Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing 2004 https://books.google.com.gt/books?id=iv95AgAAQBA-J&lpg=PP1&dq=branko%20kolarevic%20architecture%20and%20 manufacture%20digital%20age&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=branko%20kolarevic%20architecture%20and%20manufacture%20 digital%20age&f=false
- Leach, Neil. "Digital Morphogenesis", Architectural Design, Vol 79, N°1, Enero-Febrero, 2009
- Lin, Ing Shyh-Shiun. Construcción de Casas con Bambú. ICTA Taiwan ICDF Minke, Gernot–Manual de Construcción con Bambú, Editorial Merlin, Cali Colombia, 2010.
- Minke, Gernot-Building with Bamboo, Design and Technology of a Sustainable Architecture. Editorial Birkhauser Basel, 2da edición. https://books.google.com.gt/books?id=7hJBDAAAQBAJ&lp-g=PA77&hl=es&pg=PR1#v=onepage&q&f=true
- Morán Ubidia, Jorge. Construir con Bambú, Manual de Construcción, 3ra edición Perú. Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR–2015 https://drive.google.com/file/d/1vmc-b1UK3Yf2P9aZTED3FItC-YaDhYYlu/view

- Sampieri Hernandez, Roberto, Fernández Collado, Carlos, Baptista Lucio, Pilar. Metodología de la Investigación 6ta Edición. Mc Graw Hill
- Sánchez Vidiella, Àlex. Bamboo = Bambus = Bamboe = Bambú. Barcelona. Loft Publications, 2011.
- Schumacher, Patrick. "Parametricismo como estilo" manifiesto parametricista, Londres, Club Dark Side, 11ª bienal de arquitectura de Venecia, 2008
- Ortega, Lluís. La digitalización toma el mando, Barcelona, Gustavo Gili, 2009. Tedeschi, Arturo. AAD Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using Grasshopper 2014

### **Anexos**

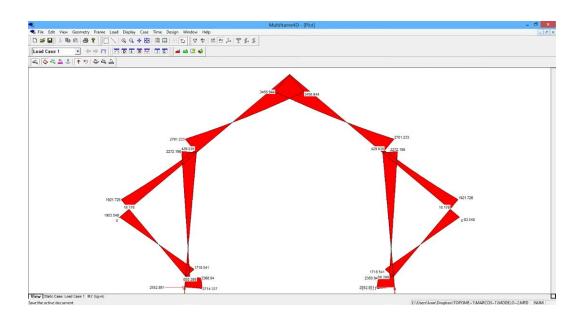


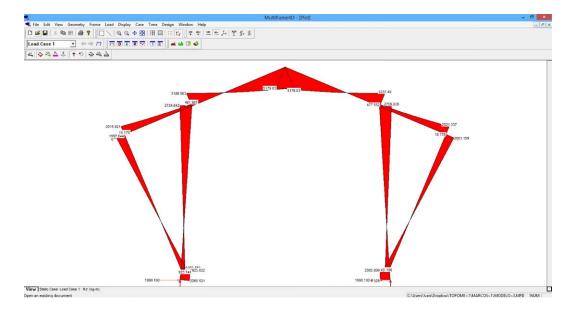






**Anexos 1-4.** Primeros bocetos y maquetas.



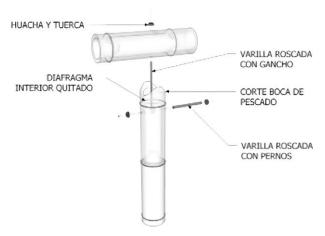


**Anexos 5 y 6.** Iteraciones con multifram



# Perno tensor

Este tipo de unión es aplicable solo para uniones tipo boca de pescado. Requiere dos piezas de acero: una varilla roscada o con hilo en un extremo y gancho en el otro (varilla tensor) y un pemo de menor longitud (anclaje). La varilla tensor, ubicada en la caña que no tiene boca de pescado, penetra en la otra caña y se engancha en el pemo de anclaje. La ventaja de esta unión es que se puede asegurar apretando la tuerca y queda discreta.



1 Quitar el diafragma interior En la pieza de bambú con la boca de pescado, se retira con un formón o una varilla con punta el diafragma interior del nudo detrás la boca para dejar pasar el gancho.



44 Perno tensor

# 2 Colocar el perno de anclaje

Se posiciona el perno tensor sobre la unión para estimar el lugar de perforación del perno de anclaje. Luego se perfora con el taladro y se coloca el perno de anclaje.

- Ubicar el perno tensor y perforar
  Con el perno tensor (con gancho) ubicado
  sobre la unión, se estima la posición de las
  perforaciones del perno tensor. Luego se
  utiliza el taladro para perforar la(s) caña(s)
  perpendicular(es) a la caña con boca.
- 4 Instalar y asegurar el perno tensor
  Con mucho cuidado el gancho debe asegurarse
  al perno de anclaje, girándolo hasta que se
  ancle con éste. Se asegura el perno tensor
  mediante tuerca con arandela.







Anexos 7 y 8. La unión de perno tensor una de las más prácticas y resistentes inspiró el tiempo de unión propuesto por esta investigación. Referencia: INBAR, 2015.

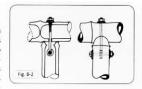
#### 8. Uniones

Lo más importante en la construcción n bambú es la formación de las uniones e transfieren fuerzas de un elemento ptro. Esto debido a que las cañas tien una sección hueca y redonda y las rtes entre sus nudos sólo tienen fibras igitudinales, las cañas no se pueden ir como elementos de madera. Por mplo, si se ponen clavos o tornillos en parte de internudos sin antes taladrar hueco, se producen normalmente aduras longitudinales porque allí no y fibras circulares. Las perforaciones ra la colocación de un perno deben ar bien alineadas respecto al eje del smo y tener un diámetro mayor al metro del perno de 1.5 mm.

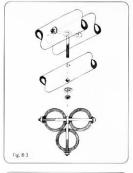
Los elementos metálicos usados en ones que estarán a la intemperie ben ser anticorrosivos o deben tener tratamiento anticorrosivo. Si las las están sometidas a cargas que edan producir un aplastamiento, se e necesario rellenar con una mezcla mortero de cemento los entrenudos acentes a la unión y por donde pasen mos, preferiblemente con un aditivo stificante que mejora la fluidez de nezcla.

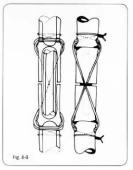
El espaciamiento entre los pernos no be ser inferior a 150 mm ni superior a mm en uniones sometidas a tracción nferior a 100 mm en uniones someas a compresión. Tradicionalmente a fijar las uniones se usan "lianas" o os de fibras naturales o de cuero hudecido (al secarse se aseguran más) 8-1). Hoy se usan cueros de fibras téticas o, más comúnmente, se usa mbre galvanizado (Fig. 8-16 y 8-17). Figs. 8-5 hasta 8-8 muestran solunes de Marcel Kalberer para uniones transfieren fuerzas menores; estas uciones usan elementos de conexión munes del mercado. En las Figs. 8-4 y se ven soluciones del mismo autor a nudos articulados. Para la unión mbién se pueden usar elementos de dera (Fig. 8-18).

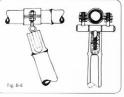
a transferencia de fuerzas de un mento de bambú a otro es favorable r contacto completo. El corte más mún para estas conexiones se llama

















Gernot Minke

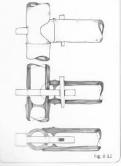
35















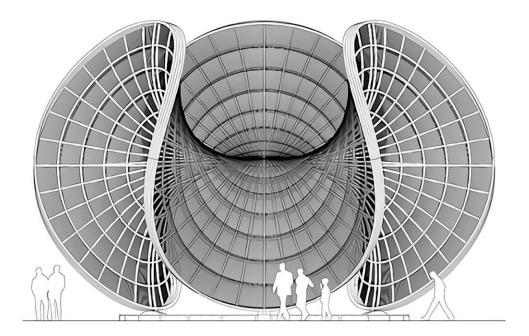
"boca de pescado" y es perpendicular, (ver Fig. 8-14 y Fig. 8-15). Si el corte está inclinado, se llama "pico de flauta", (ver Fig. 8-14 y Fig. 8-19). Para evitar la conexión de pico de flauta se puede usar un elemento perpendicular llamado 'muñeco" en Colombia (Fig. 8-20 hasta 8-23). Una solución más adecuada y sostenible es el uso de pasadores de madera dura de árbol o palma. La Fig. 8-24 muestra una conexión hecha con pasador de "chonta", que es madera de una palma muy dura, resistente a las termitas (cupín), los rayos del sol, la humedad y microorganismos.

En la Fig. 8-25 se ve el uso de pasadores inclinados como conectores entre cañas paralelas para hacer una viga más fuerte. La Fig. 8-26 muestra una solución de Jörg Stamm construida para la terminación de una cercha doble. Esta solución garantiza una óptima transferencia de fuerzas a través de pasadores de madera. Si las fuerzas de transferencia son grandes, es favorable rellenar los entrenudos que reciben las fuerzas con mortero de cemento y arena o resina epóxica y arena. En este caso se abre un hueco en la parte superior del entrenudo con sierra copa de 1,5" de diámetro, después de rellenar con mortero se sella la abertura; ver Figs. 8-27 y 8-28.

Cuando se rellena un entrenudo con mortero de concreto, hay que tener en cuenta que el concreto se contrae durante el curado quedando un espacio entre el tallo y éste; por eso no es recomendable usar una mezcla de cemento-arena en proporción 1:2, como se menciona en alguna literatura. Se puede reducir la contracción usando una mezcla de 1 parte de cemento por 3 ó 4 partes de arena gruesa y gravilla de hasta 4 mm de diámetro. Cuando se va a perforar el tallo para hacer este procedimiento, es mejor realizar una perforación no mayor a 2,5 cm de diámetro para no debilitar la resistencia del tallo.

Para hacer una distribución equitativa de la presión del tornillo a la caña, Marcelo Villegas ha desarrollado diferentes conectores de metal (Figs. 8-29 y 8-30). Una solución más simple para distribuir la presión a la caña se ve en la Fig. 8-31. En vez de usar una terminación

Anexos 9 y 10. Manual de Construcción con Bambú, Gernot Minke, 2010.



Anexo 11. Bioconstrucción por Canya Viva e Italiano estudio luca poian 'camboo', una propuesta de pabellón para el fideicomiso de construcción de 2017 festival internacional de bambú en Phnom Penh, Camboya.



Anexo 12 . Reuniones el equipo de Investigación; Visita a Misión de Taiwán en Guatemala Cuyuta -2 de marzo 2018.



Anexo 13. Reuniones del equipo de Investigación; en Cafetería de Facultad de Ingeniería 13 de marzo de 2018.



Anexo 15. Se ubicó un lugar donde venden bambú en zona 11 Mariscal, propiedad del ingeniero Tomas Leon, el costo de la vara de Asper la que se muestra en fotografía es de 0.72.00 a 0.90.00.

En el año de 1,978, se despertò la inquietud de reiniciar el estudio sobre el bambů en Guatemala; en las facultades de Ingenierla y Arquitectura de la USAC por medio de pruebas físico-mecànicas y de adherencia al concreto con algunas especies de bambů existen en el medio.

Posteriormente CIFA conjuntamente con IDESAC realizaron un proyecto fisico, la Iglesia del Espiritu Santo, localizada en el municipio de El Jicaro (El Progreso) en el cual se utilizaron nuevas técnicas constructivas cuyo elemento principal fué el bambů, obtenièndose buenos resultados; quedando demostrado así que se puede contar con el bambů como respuesta a un nuevo concepto constructivo dentro de la arquitectura en Guatemala.

Mas tarde CIFA, construyo nuevos elementos estructurales (prototipos) de bambú (armaduras, arcos y marcos) obteniêndose resultados de resistencia tanto a compresión como a tensión y flexión las cuales fueron satisfactorias. Así mismo, se continuó ensayando con nuevos prototipos (refuerzo para zapatas y columnas). De lo anteriormente expuesto se deduce que se hace necesario la divulgación de las nuevas técnicas practicadas en dichos estudios aprovechando así el gran potencial que presenta el

Anexo 16 y 17. Dato interesante, los acercamientos y trabajo multidisciplinario es necesario, no es nuevo y con el paso de los años se han debilitado las relaciones entre la Facultad de Arquitectura e Ingeniería.

VALIENTE NAVARRO, Maria de los Angeles. Utilización del bambú en el diseño de viviendas para la región sur-oriente de Guatemala. Tesis: Facultad de Arquitectura, USAC.



Anexo 18. Fotografía de estructura de Tesis de Ingeniería con Bambú expuesto a la intemperie durante 4 años, fotografía propia 2018.

119 | Diseño digital de piezas de unión para envolventes de bambú

### Créditos

La creatividad, diseño, diagramación y proceso metodológico para la realización de esta publicación fue llevado a cabo por la estudiante Adriana Lucía Yucuté como parte del Ejercicio Profesional Supervisado del décimo semestre, segundo ciclo del año 2019 de la Licenciatura en Diseño Gráfico de la Escuela de Diseño Gráfico de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala para la Dirección de Investigación de la facultad y universidad antes mencionadas.

## Asesoría metodológica

Licda. Lourdes Eugenia Pérez Estrada **Asesoría gráfica** Lic. Axel Gabriel Flores Menéndez







