

**ANÁLISIS DE CONFIGURACIONES ESTRUCTURALES EN CONSTRUCCIONES DE BAMBÚ**

Catherine Correa Orozco, Sebastián González Hermosa



Programa académico arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C

2022

**Análisis de configuraciones estructurales en construcciones de bambú**

**Catherine Correa Orozco, Sebastián González Hermosa**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de arquitectos**

**Director:**

**Liliana Rocio Patiño León**

**Tutor:**

**Melisa Gálvez Bohórquez**



**UNIVERSIDAD**  
**La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**Programa académico, Facultad de Arquitectura**

**Universidad La Gran Colombia**

**Bogotá D.C.**

**2022**

### **Agradecimientos**

En primer lugar, deseamos expresar nuestros agradecimientos a la Arq. Melisa Gálvez y a su semillero de investigación INTERATIVUS, por su compromiso, esfuerzo y dedicación los cuales han sido de gran ayuda para llevar el proyecto de grado a un nivel más investigativo.

En segundo lugar, a la directora de esta investigación de pregrado Arq. Liliana Patiño por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas.

Gracias a nuestras familias y amigos quienes son las personas que nos apoyan cada día que pasa, ayudándonos a crecer como personas y a su vez apoyándonos durante el transcurso de nuestra formación y educación de nuestras vidas.

## Tabla de contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA - JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>16</b>
PREGUNTA PROBLEMA.....	21
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
OBJETIVO GENERAL .....	22
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
<b>CAPITULO 1.....</b>	<b>27</b>
MARCO TEÓRICO.....	27
ANTECEDENTES DE CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL.....	27
ANTECEDENTES DE CONCEPTUALIZACIÓN NORMATIVA.....	29
HISTORIA DEL BAMBÚ.....	30
ANGUSTIFOLIA KUNTH.....	31
SOSTENIBILIDAD DEL BAMBÚ.....	32
EL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	35
PROPIEDADES FÍSICAS .....	35
<i>Contenido de humedad.....</i>	<i>35</i>
PROPIEDADES MECÁNICAS.....	37
PROCESAMIENTO DEL BAMBÚ .....	41
<i>Selección del bambú .....</i>	<i>42</i>
<i>Proceso de corte .....</i>	<i>42</i>

CONFIGURACIONES ESTRUCTURALES EN BAMBÚ	5
<i>Proceso de traslado</i> .....	42
<i>Proceso de limpieza</i> .....	43
<i>Proceso de pre-secado</i> .....	43
<i>Proceso de preservado natural</i> .....	43
<i>Proceso de preservado químico</i> .....	43
<i>Proceso de pos-secado</i> .....	44
<b>ESTADO DEL ARTE EN DIFERENTES CLASIFICACIONES DE SISTEMAS ESTRUCTURALES</b> .....	<b>45</b>
CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES .....	45
CLASIFICACIÓN DE HENIO ENGEL .....	46
CLASIFICACIÓN DE RETICULADO ESPACIAL .....	51
CLASIFICACIÓN DE MIKE SCHLAICH .....	54
CLASIFICACIÓN DE MELISA GÁLVEZ .....	55
DISEÑO PARAMÉTRICO CON BAMBÚ .....	56
TIPOS DE UNIONES EN BAMBÚ .....	59
<i>Unión de múltiples nudos (Andy Widyowijatnoko)</i> .....	60
<i>Uniones en guagua título G (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente)</i> .....	62
<i>Uniones en guadua (Norma Técnica Colombiana-5407)</i> .....	63
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>65</b>
CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS GENERAL DE PROYECTOS EN BAMBÚ EN DIVERSAS REGIONES DEL MUNDO .....	65
PROYECTO: GREEN SCHOOL .....	65
<i>Análisis del funcionamiento estructural del sistema</i> .....	67
<i>Modelamiento para el análisis de detalles y uniones</i> .....	68
<i>Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos</i> .....	70
<i>Diagrama de recorrido cargas</i> .....	70
PROYECTO: SHARMA SPRINGS .....	71

<i>Análisis del funcionamiento estructural del sistema</i> .....	73
<i>Modelamiento para el análisis de detalles y uniones</i> .....	74
<i>Diagrama de aproximación tipos uniones y apoyos</i> .....	76
<i>Diagrama de recorrido de cargas</i> .....	76
PROYECTO: HOTEL EXTENSIÓN AMPLIACIÓN DE HOTEL .....	78
<i>Análisis del funcionamiento estructural del sistema</i> .....	80
<i>Modelamiento para el análisis de detalles y uniones</i> .....	81
<i>Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos</i> .....	84
<i>Diagrama recorrido de cargas</i> .....	84
PROYECTO: CASA SOSTENIBLE EN BAMBÚ .....	86
<i>Análisis del funcionamiento estructural del sistema</i> .....	88
<i>Modelamiento para el análisis de detalles y uniones</i> .....	89
<i>Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos</i> .....	91
<i>Diagrama de recorrido de cargas</i> .....	92
PROYECTO: GALERÍA LA CEIBA .....	93
<i>Análisis del funcionamiento estructural del sistema</i> .....	95
<i>Modelamiento para el análisis de detalles y uniones</i> .....	96
<i>Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos</i> .....	99
DIAGRAMA RECORRIDO DE CARGAS .....	100
PROYECTO: TEMPLO DE LUUM .....	101
<i>Análisis del funcionamiento estructural del sistema</i> .....	103
<i>Modelamiento para el análisis de detalles y uniones</i> .....	104
<i>Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos</i> .....	105
<i>Diagrama transmisión de cargas</i> .....	106
PROYECTO: KIM BOI BAMBOO RESTAURANT .....	107
<i>Análisis del funcionamiento estructural del sistema</i> .....	109

<i>Modelamiento para el análisis de detalles y uniones</i> .....	110
<i>Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos</i> .....	112
<i>Diagrama recorrido de cargas</i> .....	112
PROYECTO: MUSEO NÓMADA .....	113
<i>Análisis del funcionamiento estructural del sistema</i> .....	115
<i>Modelamiento para el análisis de detalles y uniones</i> .....	116
<i>Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos</i> .....	118
<i>Diagrama recorrido de cargas</i> .....	118
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>120</b>
<b>LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>123</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>133</b>

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> Fase No.1 .....	23
<b>Figura 2</b> Fase No.2 .....	25
<b>Figura 3</b> Fase No.3.....	26
<b>Figura 4</b> Balance de CO2. SSH: Casa de una sola planta; MSB: Edificio de varias plantas.....	34
<b>Figura 5</b> Cubo octaedro vista estructural .....	52
<b>Figura 6</b> Estructura en tetraedros.....	52
<b>Figura 7</b> Unión Joint.....	53
<b>Figura 8</b> Distribución cualitativa de las fuerzas .....	54
<b>Figura 9</b> Clasificación de sistemas estructurales por la relación forma.....	55
<b>Figura 10</b> Clasificación estructural sistemas no convencionales .....	56
<b>Figura 11</b> Cascara de doble curvatura .....	57
<b>Figura 12</b> Tejido tradicional .....	59
<b>Figura 13</b> Sistemas mixtos .....	62
<b>Figura 14</b> Sistema de unión pernada .....	63
<b>Figura 15</b> Unión pernada con pletinas paralelas .....	64
<b>Figura 16</b> Green school .....	65
<b>Figura 17</b> .....	66
<b>Figura 18</b> Análisis estructural Green School .....	67
<b>Figura 19</b> Axonometría Green School.....	68
<b>Figura 20</b> Unión No.1 .....	69
<b>Figura 21</b> Unión No.2.....	69
<b>Figura 22</b> Uniones y tipos de apoyos.....	70
<b>Figura 23</b> Transmisión de cargas .....	70



<b>Figura 24</b> Sharma springs.....	71
<b>Figura 25</b> Descripción del proyecto Sharma Spring .....	72
<b>Figura 26</b> Análisis estructural Sharma Spring .....	73
<b>Figura 27</b> Axonometría Sharma Springs.....	74
<b>Figura 28</b> Unión No.1 .....	75
<b>Figura 29</b> Unión No.2 .....	75
<b>Figura 30</b> Uniones y tipos de apoyos .....	76
<b>Figura 31</b> Transmisión de cargas.....	76
<b>Figura 32</b> Hotel extensión ampliación de hotel .....	78
<b>Figura 33</b> Descripción del proyecto Hotel extensión ampliación de hotel .....	79
<b>Figura 34</b> Análisis estructural Hotel extensión ampliación de hotel .....	80
<b>Figura 35</b> Axonometría Hotel extensión ampliación de hotel .....	81
<b>Figura 36</b> Unión No.1 .....	82
<b>Figura 37</b> Unión No.2 .....	82
<b>Figura 38</b> Unión No.3 .....	83
<b>Figura 39</b> Unión No.4 .....	83
<b>Figura 40</b> Uniones y tipos de apoyos .....	84
<b>Figura 41</b> Transmisión de cargas .....	84
<b>Figura 42</b> Casas Sostenible en bambú .....	86
<b>Figura 43</b> Descripción del proyecto Casa sostenible en bambú .....	87
<b>Figura 44</b> Análisis estructural casa sostenible de bambú .....	88
<b>Figura 45</b> Axonometría Casa sostenible en bambú .....	89
<b>Figura 46</b> Unión No.1 .....	90
<b>Figura 47</b> Unión No.2 .....	90

<b>Figura 48</b> Unión No.3 .....	91
<b>Figura 49</b> Unión No.4 .....	91
<b>Figura 50</b> Uniones y tipos de apoyos .....	91
<b>Figura 51</b> Transmisión de cargas .....	92
<b>Figura 52</b> La Ceiba .....	93
<b>Figura 53</b> Descripción del proyecto Galería la ceiba.....	94
<b>Figura 54</b> Análisis estructura La Ceiba .....	95
<b>Figura 55</b> Axonometría Galería la ceiba.....	96
<b>Figura 56</b> Unión No.1 .....	97
<b>Figura 57</b> Unión No.2 .....	97
<b>Figura 58</b> Unión No.3 .....	98
<b>Figura 59</b> Unión No.4 .....	98
<b>Figura 60</b> Unión No.5 .....	99
<b>Figura 61</b> Uniones y tipos de apoyos .....	99
<b>Figura 62</b> Transmisión de cargas.....	100
<b>Figura 63</b> Templo de Luum .....	101
<b>Figura 64</b> Descripción del proyecto Templo de luum .....	102
<b>Figura 65</b> Análisis estructura Templo de Luum .....	103
<b>Figura 66</b> Axonometría Templo de Luum .....	104
<b>Figura 67</b> Unión No.1 .....	105
<b>Figura 68</b> Unión No.2 .....	105
<b>Figura 69</b> Uniones y tipos de apoyos .....	105
<b>Figura 70</b> Transmisión de cargas.....	106
<b>Figura 71</b> Kim Boi Bamboo Restaurant .....	107

<b>Figura 72</b> Descripción del proyecto Kim Boi Bamboo Restaurant .....	108
<b>Figura 73</b> Análisis estructura de Kim Boi Bamboo Restaurant .....	109
<b>Figura 74</b> Axonometría Kim Boi Bamboo Restaurant .....	110
<b>Figura 75</b> Unión No.1 .....	111
<b>Figura 76</b> Unión No.2 .....	111
<b>Figura 77</b> Uniones y tipos de apoyos .....	112
<b>Figura 78</b> Transmisión de cargas.....	112
<b>Figura 79</b> Museo Nómada de Simón Vélez .....	113
<b>Figura 80</b> Descripción del proyecto Museo Nómada.....	114
<b>Figura 81</b> Análisis estructural Museo Nómada .....	115
<b>Figura 82</b> Axonometría Museo Nómada.....	116
<b>Figura 83</b> Unión No.1 .....	117
<b>Figura 84</b> Unión No.2 .....	117
<b>Figura 85</b> Uniones y tipos de apoyos .....	118
<b>Figura 86</b> Uniones y tipos de apoyos .....	118
<b>Figura 87</b> Elementos principales de configuraciones estructurales en bambú .....	121
<b>Figura 88</b> Clasificación de configuraciones estructurales en bambú.....	122

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> Resistencia y comportamiento física de los materiales .....	16
<b>Tabla 2</b> Captura de carbono en especies de eucalipto y bambú .....	17
<b>Tabla 3</b> Conceptualización estructural .....	27
<b>Tabla 4</b> Conceptualización Normativa .....	29
<b>Tabla 5</b> Familias de bambúes.....	36
<b>Tabla 6</b> Título G- Esfuerzos admisibles .....	37
<b>Tabla 7</b> Análisis de crecimiento y resistividad del bambú .....	38
<b>Tabla 8</b> Resultados a compresión paralela .....	39
<b>Tabla 9</b> Resultados en comparación de ultimo a flexión .....	40
<b>Tabla 10</b> Flexión y compresión perpendicular a la fibra.....	40
<b>Tabla 11</b> Resultados esfuerzo ultimo corte .....	41
<b>Tabla 12</b> Clasificación estructural Henio Engel.....	47
<b>Tabla 13</b> Directriz para la clasificación de estructuras .....	50
<b>Tabla 14</b> Juntas de bambú .....	60

### Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar las configuraciones estructurales de edificaciones en bambú de manera que se dé un aporte a la comprensión de su funcionamiento, a partir del análisis de edificaciones estudio de caso ubicadas en diferentes lugares del mundo. Como respuesta a la necesidad de información gráfica que le permita a los estudiantes y profesionales comprender mejor las configuraciones y componentes de las estructuras en bambú. Se propone el análisis de ocho edificaciones, para lo cual se parte de una recopilación planimétrica, identificación de la actividad sísmica del lugar que se encuentra, configuración estructural – transmisión de cargas, cimentación, uniones, entrepiso y cubierta, las cuales permitieron dar un mayor acercamiento para la realización de detalles axonométricos específicos y generales con un LOD HBIM 200 brindando mayor información en las especificaciones constructivas de cada elemento que compone la edificación. A partir de estos análisis se logra concluir que para cada tipo de estructura varían los materiales ya que no todos responden al mismo uso y condiciones bioclimáticas. Además, las uniones se adaptan a los esfuerzos requeridos por cada elemento estructural, por esto pueden llegar a ser tradicionales o innovadoras.

**Palabras claves:** Bambú, configuraciones estructurales, sistemas estructurales, uniones en bambú, diseño paramétrico.

### **Abstract**

The objective of this research work is to analyze the structural configurations of bamboo buildings in order to contribute to the understanding of their operation, based on the analysis of case study buildings located in different parts of the world. In response to the need for graphic information that allows students and professionals to better understand the configurations and components of bamboo structures. The analysis of eight buildings is proposed, starting with a planimetric compilation, identification of the seismic activity of the location, structural configuration - load transmission, foundation, joints, mezzanine and roof, which allowed a closer approach to the realization of specific and general axonometric details with a LOD HBIM 200 providing more information on the construction specifications of each element that makes up the building. From these analyses it is possible to conclude that for each type of structure the materials vary since not all of them respond to the same use and bioclimatic conditions. In addition, the joints are adapted to the efforts required by each structural element, which is why they can be traditional or innovative.

**Keywords:** Bamboo, structural configurations, structural systems, bamboo joints, parametric design.

## Introducción

El presente trabajo de investigación pretende comprender las configuraciones estructurales de edificaciones en bambú, a partir de una revisión bibliográfica de manuales, guías y normativa de construcción a nivel nacional e internacional. Donde se logra identificar que la información se presenta de manera general. Es decir, se evidencia la falta de planimetría, detalles y procesos de construcción, haciendo que se dificulte la comprensión de las estructuras y los elementos que la componen. Como consecuencia, el tema sobre las configuraciones estructurales de las edificaciones en bambú en el campo académico es poco mencionado, dando prioridad a los sistemas tradicionales como mampostería estructural, mampostería confinada y sistemas industrializados. Dejando de lado el interés por materiales más sostenibles, con un gran campo de exploración y proyección en nuestro país.

Por tal razón se plantea como respuesta a la necesidad de información gráfica este proyecto de investigación el cual se desarrolló en tres etapas principalmente: La primera etapa, es la documentación que tiene como objetivo entender el material, estructuras en bambú y configuraciones estructurales. En esta etapa se recopila esta información existente proveniente de las fuentes bibliográfica, se analizan y se establecen conclusiones. La segunda etapa, comprende el análisis de los ocho proyectos a partir de la clasificación de Henio Engel, con el objetivo de entender las diferentes configuraciones estructurales que se pueden llegar a desarrollar con el bambú, mediante un análisis detallado de cada elemento estructural que conforma cada tipología identificada. La tercera etapa, es el análisis de cada uno de los casos de estudio, la producción detalles y modelos axonométricos que faciliten la comprensión de la estructura y sus componentes documentados en una cartilla grafica enfocada en el análisis de la estructura, logrando mostrar el potencial e innovación que se puede llegar a lograr con el material.

### Formulación del problema - justificación

El potencial del bambú lo hace un producto de calidad para su implementación en proyectos con diferentes configuraciones estructurales, en donde se tiene en cuenta diferentes aspectos como la sostenibilidad, resistencia al fuego, normatividad para la utilización de este. Por consiguiente, es importante conocer las ventajas de este material frente a otros materiales como el acero, madera u hormigón. Según Escalona et al. (2017).

La gran versatilidad del bambú en parte está en su estructura anatómica y morfológica, la sección ahuecada tiene ventajas estructurales en la comparación con secciones macizas o rectangulares de otros materiales. El bambú solo requiere el 57% de su masa cuando es usado como una viga y solo un 40% cuando es usado como columna. (p. 22).

En cuanto al comportamiento mecánico del bambú se muestra que este puede ser dos veces más rígido que la misma madera, teniendo en cuenta que el bambú se puede comparar favorablemente con materiales de construcción como el acero, la madera y el hormigón, en términos de energía, resistencia, rigidez, facilidad de uso y seguridad.

#### Tabla 1

##### *Resistencia y comportamiento física de los materiales*

Material	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Masa por volumen (Kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> )
Bambú	102	370 a 920	130000 a 109000
Hormigón	210	2200 a 2400	127400
Acero	1630 a 1733.52	7750 a 8050	2100000 a 2140000
Madera	70 a 120	300 a 650	109000

Adaptado de "Norma Sismo Resistente NSR-10" por Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial .2010.

(<https://bit.ly/3NoKkTg>)



Adicionalmente, Soler (2017), “Afirma que el bambú es un recurso estratégico sin explotar que los países de las regiones tropicales y subtropicales del mundo pueden utilizar para proporcionar servicios ecosistémicos beneficiosos, y nuevas fuentes de ingresos para las poblaciones rurales” (p. 28). Evitando la desertificación de las áreas posibles a su plantación y desarrollo, por lo que fijara proyección sobre poblaciones en el bosque. Además, se “Promueve la creación de una industria local, favoreciendo así a las sociedades más pobres del planeta, que pueden encontrar en el bambú una salida a su economía” (p. 28), debido a su bajo costo al ser un material accesible para todas las clases sociales.

Así mismo, el bambú tiene las posibilidades para mitigar el cambio climático, se puede ver en la comparación del CO<sub>2</sub> que se captura en el arbolado de eucalipto y de bambú que se presenta a continuación:

**Tabla 2**

*Captura de carbono en especies de eucalipto y bambú*

Lugar	Tipo de población	Carbono capturado Toneladas de carbono/ Hectárea	Estudio de referencia
Eucaliptos			
China	Edad 6-10	30-72	Zhang, 2005; Luo, 1999; Lin, 2003; Wen, 2000
Especies de bambú tropical			
China, India, Colombia, México, Etiopía e Indonesia	Edad 5-7	37-78	Yang, 2008; Singh, 1999; Su, 1999; Riaño, 2002; Castañeda, 2005; Embaye, 2005; Christanty, 1996

Tomado de “Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático” por M. Arango.2011. (<https://bit.ly/3lvjYTH>)

Como resultado de los datos anteriormente mencionados de la captura de carbono en especies forestales como eucalipto y bambú, el criterio de clasificación para este análisis se da a partir del lugar, la edad y el número de carbono recolectado por hectárea. En vista de esto, el bambú en China, India, Colombia, México, Etiopía e Indonesia evidencian un alcance de edad entre 5 a 7 años recolectan CO<sub>2</sub>

entre un 37% y 78% por hectárea. De manera que, se observa una alta diferencia en comparación con áreas forestales de eucalipto que solo alcanzan a recolectar un stock entre un 30% a 72% en china.

Continuando con lo anterior Yiping et al. (2010). Considera el bambú como sostenible ya que tiene la capacidad de retener CO<sub>2</sub>, en grandes cantidades ya que este es de rápido crecimiento, porque produce biomasa. Precisamente no requiere ser replantado. Así mismo, crecer en terrenos en los cuales no pueden darse otros cultivos. A causa de lo mencionado anteriormente este material es de gran utilidad para métodos agrícolas y agroforestales pudiendo ser de gran extensión o corta extensión.

Como resultado, el bambú tiene un alto potencial de sostenibilidad frente a otros materiales de construcción como el concreto, acero, mortero y la madera, a causa de esto, tiene amplias posibilidades de utilización como pisos, paredes, tejas, columnas, entrepisos lo cual lo convierte en una buena opción para el desarrollo de construcciones en diferentes sitios, usos y escalas.

Sin embargo, no se conoce bien el comportamiento de estructuras portantes de bambú ante el fuego Gutiérrez (2020). Indica que es razonable tener en cuenta la resistencia o condiciones que presenta el bambú ante elevadas temperaturas, debido a las similitudes químicas de la madera y el bambú, se ha encontrado que no se puede predecir el rendimiento en ciertas exposiciones al fuego. En cuanto, a la transmisión térmica del bambú laminado es aproximadamente el doble que la de la madera, lo que da lugar a un calentamiento más rápido en profundidad.

Dada la versatilidad del bambú en diversos aspectos como la variedad de las especies, las diferentes partes a utilizar de la planta, propiedades mecánicas, la construcción artesanal de las estructuras y las distintas técnicas según la región. Es un material con potencial de aplicación y con tradición en el uso de elementos estructurales de las edificaciones, como columnas, muros, pórticos, y cubiertas, de acuerdo con cada proyecto. Hay que mencionar, además, que la información que se encuentra de cada uno de los componentes estructurales antes mencionados en la literatura como

manuales, guías y normativa de construcción a nivel nacional e internacional, se presenta de manera general. A causa de esto, se evidencia la falta de planimetría, detalles y procesos de construcción, por lo cual el entendimiento de la información encontrada se ve afectada, ya que no es del todo comprensible.

Así mismo, al no ser documentados los procesos constructivos de los proyectos en bambú, existe una dificultad en la comprensión de información sobre las técnicas de construcción con el material, como menciona Ordoñez (1999). La información documentada debe corresponde a las pautas de diseño, la conceptualización y uso estructural del bambú que cuentan con poca información. Dado que, al hacer una revisión de los proyectos en las diferentes regiones del mundo se encuentran distintas técnicas constructivas desarrolladas en los distintos proyectos que corresponde a configuraciones estructurales no convencionales. Por lo tanto, es importante realizar este tipo de investigaciones tecnológicas para entender las diferentes configuraciones estructurales que se pueden llegar a presentar, facilitando así el diseño arquitectónico a partir de la implementación del bambú como materia prima y sostenible en las diferentes áreas de la construcción.

El conocimiento en cuanto al abordaje de proyectos en bambú por los estudiantes de arquitectura es carente en la identificación de configuraciones estructurales y el trabajo de elementos estructurales en los diferentes proyectos. A causa de esto, la comprensión queda de manera general respecto a la materialidad y morfologías de cada proyecto. Al respecto en el libro Estructuras de bambú en la arquitectura moderna Silva et al. (1997). Menciona:

Es clásico el rechazo que la mayoría de los estudiantes de arquitectura sienten hacia las disciplinas tecnológicas, sobre todo cuando se basan exclusivamente en los modelos matemáticos. Un modesto material como el Bambú ha resultado ser mucho más adecuado para estimular a los estudiantes en el estudio del Diseño Estructural. Por otra parte, la falta de

prejuicios del joven muchas veces posibilita notables logros y soluciones ingeniosas, resultado de aplicar sus talentos y el sentido común. (p. 75).

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza una encuesta cuantitativa a los estudiantes de arquitectura de la Universidad La Gran Colombia, donde el tamaño de la muestra fue de 100 personas. El propósito de esta fue determinar el conocimiento en estructuras de bambú en la población estudiantil. Se utilizó como instrumento de rubrica una calificación donde 1 es poco y 5 es mucho. Los resultados evidencian que los estudiantes, si bien conocen algo sobre el uso y características del material, además muestran interés por implementarlo en sus proyectos, no están del todo informados sobre las configuraciones y posibilidades estructurales, así como, los detalles constructivos que se pueden llegar a desarrollar con el bambú, por lo cual se sienten limitados para utilizarlo.

El tema sobre las configuraciones estructurales en bambú en el campo educativo es poco perceptible, a su vez los sistemas tradicionales afectan el interés en el material y en el proceso formativo del arquitecto, ya que no se llega a la implementación de estos sistemas en proyectos arquitectónicos. Este proyecto busca explicar las configuraciones estructurales del bambú por medio de la clasificación morfológica, tipo de uniones, transmisión de cargas, radica aquí la importancia de conocer el material, llegando a ser una oportunidad dentro del conocimiento del constructor para su debida implementación en el futuro de las construcciones tanto rurales como urbanas. Se busca realizar un material académico en donde se dé una aproximación al conocimiento sobre nuevas tipologías morfológicas y comportamientos estructurales de una manera más gráfica, por medio de modelos analíticos digitales, ya que de esta manera los arquitectos se pueden apropiar de la información y material.

El bambú al ser un material de crecimiento con desarrollo natural se puede presentar problemas patológicos en la planta y en las construcciones, en ella se demuestra factores naturales y también los factores de ambiente que se adhieren a él, si bien el mundo abiótico mantiene especies que dependen

de estas plantas por preferencia y condición brindando un cambio de factores en su adaptación al campo contractivo, por parte de los factores de ambiente encontramos sistemas de cambio en el clima, es por ello que puede presentarse una debilidad a la hora de su resistencia debido a su atracción del agua y absorción de la misma, cada uno cumple una característica, en el cual debe mantenerse una intervención por mano humana para un crecimiento uniformemente correcto de la planta.

Las construcciones han dado paso a la acción de preferir un uso básico y de repetición en el cual no permite una innovación en su forma y medio de transmisión de cargas, si bien la estructura poste y viga armoniza las cargas para un espacio de gran amplitud, no promete innovación del diseño, por el cual se pierde el interés sobre el uso con este material en nuevas funciones arquitectónicas, es por ello que se abarcara proyectos cuyos fines mantienen ejemplos desarrollados en distintos y con una connotación de propuesta innovadora, que permitan la atracción sobre el conocimiento del material, por parte del profesional arquitecto y el estudiante de arquitectura llevando a cabo desde el proceso hasta el campo profesional su interés.

### **Pregunta problema**

¿Cómo contribuir en el conocimiento formativo y comprensión de las configuraciones estructurales y técnicas constructivas del bambú?

## Objetivos

### Objetivo General

Analizar configuraciones estructurales de edificaciones en bambú de manera que se dé un aporte a la comprensión del funcionamiento y categorías de los distintos sistemas estructurales en diversas regiones del mundo, obteniendo como resultado una cartilla explicativa.

### Objetivos Específicos

1. Comprender la clasificación de los sistemas estructurales convencionales y los no convencionales, para el estudio y selección de proyectos en bambú que cuenten con la viabilidad en la obtención de información arquitectónica.
2. Determinar las tipologías morfológicas y configuraciones estructurales de ocho proyectos construidos en bambú, a partir del análisis de los elementos constitutivos y su función dentro de la edificación, estableciendo condiciones esenciales como la transmisión de cargas, tipos de esfuerzos, apoyos y uniones.
3. Establecer la comprensión de cada proyecto estudiado a partir de la forma, función y relación de los elementos constructivos del sistema estructural, empleando la graficación por modelado digital con un acercamiento LOD HBIM 200.
4. Desarrollar una cartilla explicativa como material académico para el planteamiento de futuros proyectos, a partir de la información gráfica de los diagramas y modelos que representan la clasificación, configuración y comportamiento estructural de los sistemas.

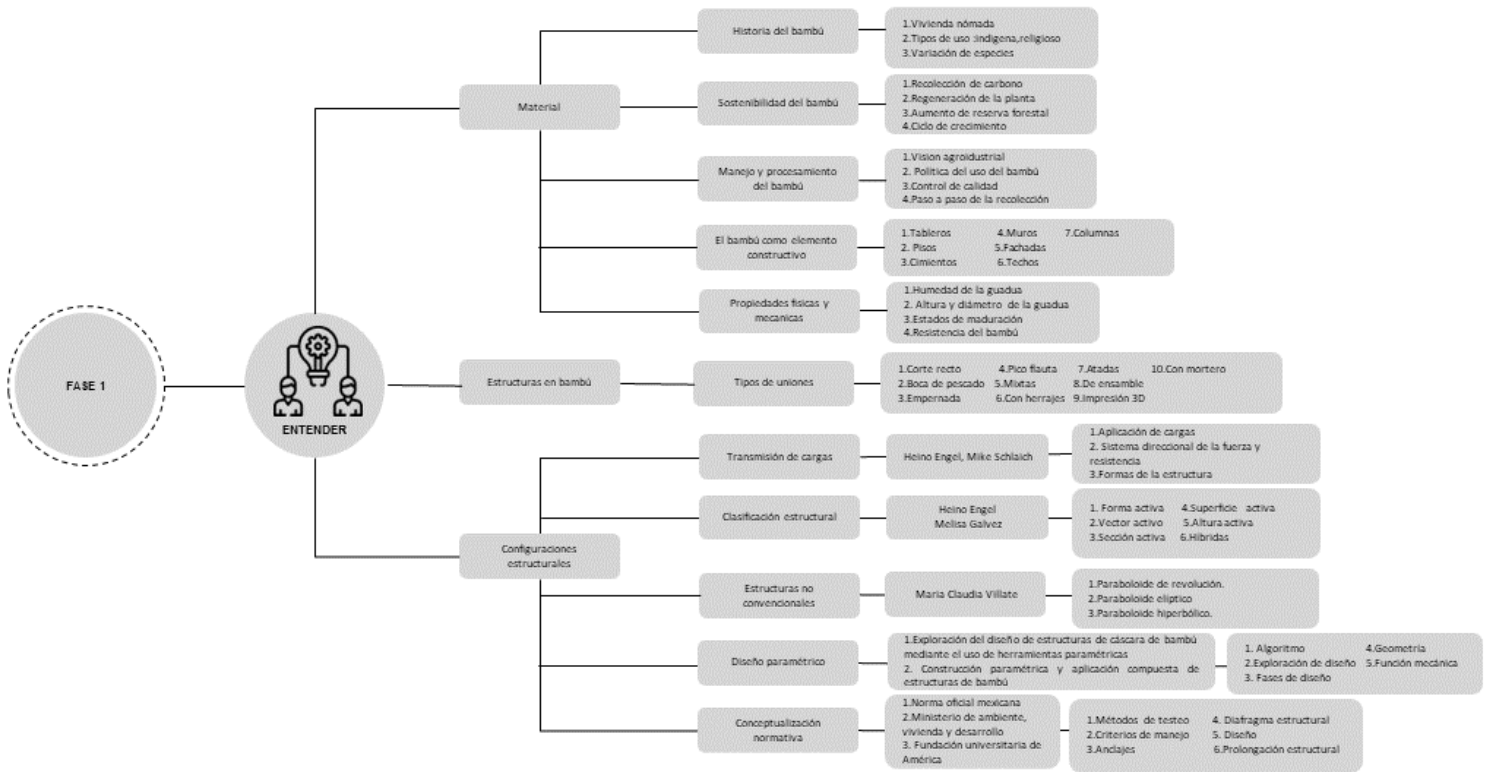
### **Metodología**

La presente investigación emplea la metodología desglosada en tres fases: en primer lugar, se buscó conocer el material estudiado y comprender el funcionamiento de los sistemas estructurales de las construcciones en bambú; en segundo lugar, se llevó a cabo el estudio de los proyectos establecidos como casos de estudio a partir de la investigación de información arquitectónica y estructural; en una tercera fase se planteó la comprobación del funcionamiento de los sistemas con el desarrollo de modelos en 3D y esquemas complementarios, sobre los cuales se consideraron ciertas variables de análisis. Adicionalmente se desarrolló un material académico en formato de cartilla, en donde se muestra de manera gráfica el desarrollo de las configuraciones estructurales en bambú y la composición de cada elemento.

La primera fase del proyecto en donde se buscó profundizar en la comprensión del bambú como material constructivo, en primera instancia se establecieron las bases tales como las especies empleadas, las características y propiedades físico-mecánicas, las aplicaciones y usos de acuerdo con las partes de las edificaciones; y por otro lado se llevaron a cabo unas encuestas con el fin de conocer que tanto sabían los estudiantes sobre el material (ver anexo No.1). Seguidamente se estudiaron las configuraciones geométricas y los autores en torno a la clasificación en los sistemas de estructuras convencionales y no convencionales. Por último, se estableció brevemente el estado del arte de ciertas uniones desde lo normativo e investigativo como la NSR-10 y NTC (ver figura 1).

#### **Figura 1**

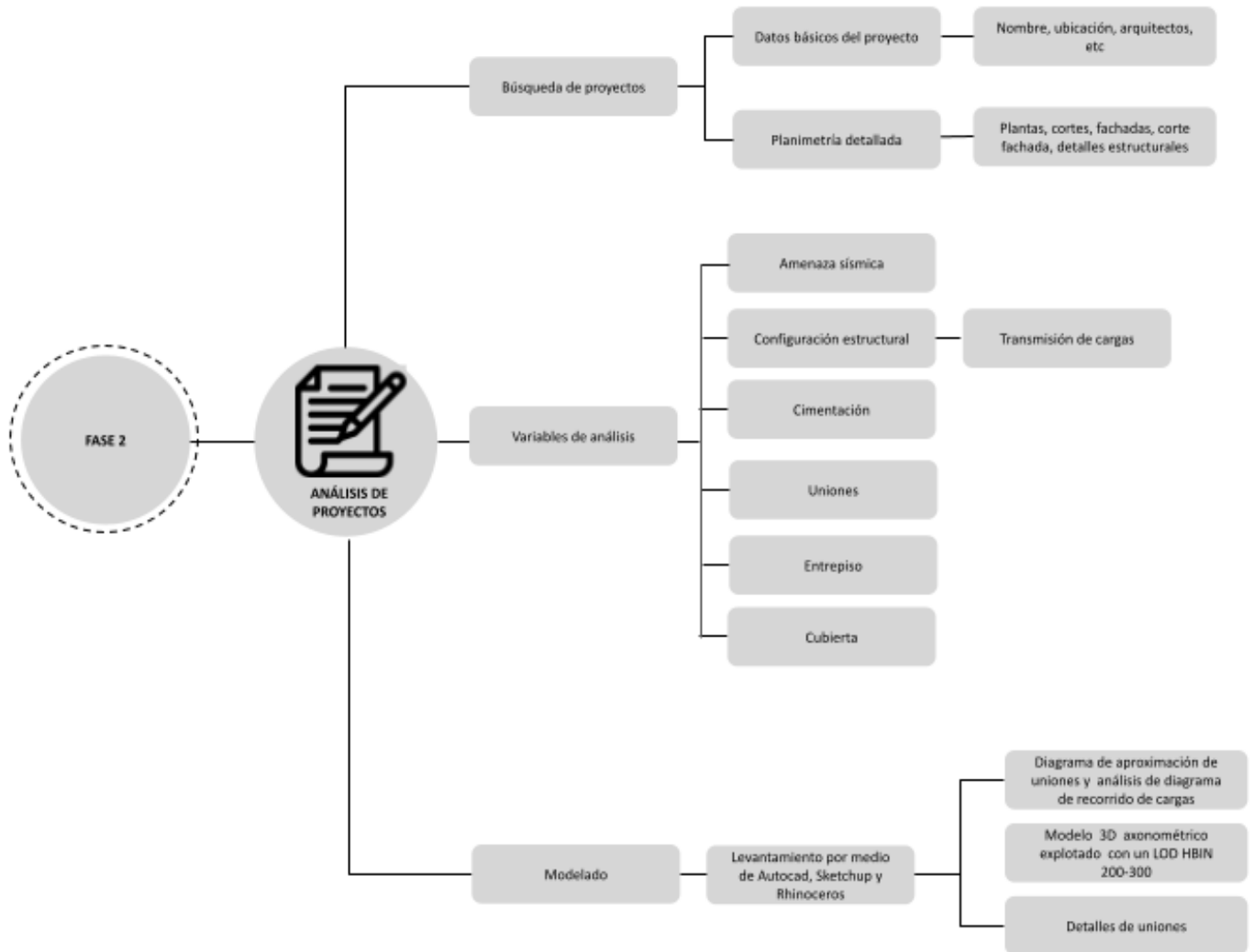
Fase No.1



Elaboración propia

En cuanto a la fase dos de este trabajo, después de una revisión de proyectos construidos en bambú en diferentes ubicaciones geográficas se seleccionaron ocho proyectos que destacaron por su configuración estructural ya que eran similar a las del autor Henio Engel, tomando como referencia el método de caso de estudio para poder indagar en la obtención de información tanto técnica, gráfica y datos constructivos: planimetrías, modelos y representaciones de detalles, como parte del proceso se encontró que no existía mucha información documentada lo que conllevó a plantear el levantamiento apoyado en la información gráfica obtenida analizando componentes estructurales como transmisión de cargas, cimentaciones, uniones, entrepisos y cubiertas.



**Figura 2***Fase No.2*

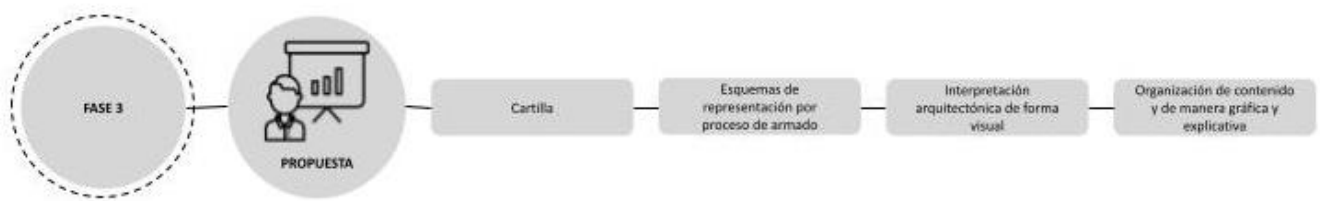
Elaboración propia

La comprensión del funcionamiento estructural y configuración morfológica de cada proyecto analizado se basó en las construcciones de modelos digitales empleando como herramientas los programas Autocad, Sketchup, y Rhinoceros, en versión educativa; en cada caso se realizó el levantamiento de los elementos constructivos de las estructuras (cimentaciones, vigas, columnas, entrepisos y cubiertas), todo esto en un nivel de acercamiento LOD 200. También dentro de la ejecución del modelado se detallaron ciertas uniones en un LOD 300, permitiendo complementar la comprensión

en el funcionamiento estructural y transmisión de cargas. Por otro lado, en esta fase se propusieron una serie de esquemas de análisis basados en la representación de diagramas de cuerpo libre (indicando recorridos de cargas, posibles esfuerzos, y tipos de uniones), permitiendo profundizar así en el desempeño de cada elemento a nivel estructural.

### Figura 3

#### Fase No.3



Elaboración propia

Adicionalmente se desarrolló un material académico en formato de cartilla, en donde se muestran de manera gráfica el desarrollo de las configuraciones estructurales y elementos derivados de las mismas.

## CAPITULO 1

### Marco teórico

Para el desarrollo de esta investigación se presenta el marco teórico el cual explica los temas más importantes del proyecto. Teniendo en cuenta que inicialmente se expone la conceptualización estructural con el fin de comprender por completo la importancia que tiene la implementación de las diferentes configuraciones estructurales en bambú. Posteriormente a eso, se presenta la conceptualización normativa que se tiene a nivel nacional e internacional respecto a sistemas estructurales y uniones.

### Antecedentes de conceptualización estructural

A partir de la literatura encontrada en manuales y libros se busca la explicación de temas como normatividad, sostenibilidad, técnicas tradicionales de construcción, formas geométricas, estructuras no convencionales, materiales de construcción, herramientas, obtención del material y preservación de este, a continuación, se exponen el enfoque de cada texto encontrado.

### Tabla 3

#### *Conceptualización estructural*

	Palabras claves	Enfoque
Manual de construcción con bambú elaborado por Oscar Hidalgo de 1981 en Colombia.	1. Normatividad 2. Construcción en pórticos 3. Puentes	Se explican los materiales de construcción derivados del bambú, uniones, amarres y la construcción de estructuras.
Estructuras de bambú en la arquitectura moderna elaborado por Silva et al. en 1997 en Colombia.	1. Materiales sostenibles 2. Sistemas reticulados 3. Técnicas tradicionales	El mejoramiento de las técnicas populares permite el desarrollo de otras tipologías estructurales y constructivas que ofrecen las bambúseas. El resultado puede ser el desarrollo de una arquitectura genuinamente orgánica con ventajas económicas, tecnológicas y ecológicas además de un desarrollo sustentable.
Bamboo the gift of the gods elaborado por Oscar Hidalgo en 2003 en Colombia.	1. Forma geométrica 2. Espacio estructural 3. Internacionalización	Abarca una amplitud detallada sobre la propiedad que desarrolla el bambú frente a los múltiples propósitos en los que se puede aplicar, Y como este a su vez permite en gran escala abarcar nuevas formas estructurales sistemas de

		cargas no comunes y cómo es un proceso de modulación y un proceso de adición a un sistema ya hecho.
Traditional and innovative joints in bamboo construction elaborado por Andry Widyowijatnoko en 2012 en Alemania.	1.Material de construcción 2.Juntas de bambú 3. Esfuerzos estructurales 4.Técnicas tradicionales	Se desarrollan nuevas uniones a través de técnicas tradicionales de amarre que se puedan cargar a tensión para ampliar la aplicación estructural del bambú y así clasificar las nuevas uniones con las existentes.
Manual de Construcción con Bambú elaborado por Jorge Morán en 2018 en Perú.	1.Materia prima 2. Preservación 3.Construcción 4.Estructuras portantes	Presenta técnicas tradicionales de construcción con bambú que han sido validadas en varios países de América Latina. Además, explican métodos de preservación, elementos constructivos, acabados, mantenimiento del material, por último, muestran proyectos que sirven de ejemplo.
Manual de construcción con bambú elaborado por Lucila Aguilar en 2018 en México.	1.Preparación del material 2.Detalles constructivos 3. Procesos constructivos 4. Herramientas	El presente manual ha sido elaborado con la intención de documentar los procesos constructivos utilizados durante las obras construidas en bambú, además de servir como guía de consulta para futuros proyectos y difusión del conocimiento entorno a este increíble material. Por otro lado, se presenta un paso a paso de las uniones, inmunización, adecuación, entre otros. Mostrando gráficamente la preparación de guadua y manera adecuadamente. Además, de la utilización de cada herramienta y el respectivo mantenimiento.
Guía Didáctica para Diseño y Construcción de Estructuras de Guadua (GaK) y otros Bambúes elaborado por Daniela Cadena en 2019 en Ecuador.	1.Obtención de la guadua 2. Preservación 3.Elementos estructurales 4.NEC (Norma ecuatoriana de construcción)	Es una guía para la correcta aplicación de normas y procedimientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). 1.métodos para la obtención de cultivos de bambú, técnicas apropiadas de corte y transporte. 2.Métodos de prolongación de la vida útil del bambú. 3.Métodos de almacenamiento.

Adaptado de “Manual de construcción con bambú” por O. Hidalgo. 1981. (<https://bit.ly/3554P6H>); “Estructuras de bambú en la arquitectura moderna” por Silva et al. 1997. (<https://bit.ly/3wtQRXq>); “Bamboo the gift of the gods” por O. Hidalgo. 2003; “Traditional and innovative joints in bamboo construction” por A. Widyowijatnoko. 2012. (<https://bit.ly/3D8ZOqd>); “Manual de Construcción con Bambú” por J.Morán. 2018 (<https://bit.ly/36jnA7g>); “Manual de construcción con bambú” por L. Aguilar. 2018. (<https://bit.ly/3ixQmU4>); “Construcción de Estructuras de Guadua (GaK) y otros Bambúes” por D. Cadena. 2019. (<https://bit.ly/37PrQvr>)

Como resultado los antecedentes explica de donde proviene el material, obtención, mantenimiento, propiedades físico-mecánicas, fórmulas matemáticas para medir su resistencia, mostrando esquemas básicos o fotografías de los proyectos realizados, por lo tanto no se hace un despliegue estructural minucioso, como las transmisiones de cargas por cada elemento de la composición, tipo de uniones empleadas o configuración estructural, lo cual hace que estos textos sean de difícil comprensión, evidenciado un déficit de información para el desarrollo de nuevos proyectos.

En la reglamentación que amplía el uso adecuado del bambú en diversas situaciones constructivas, se identifican las formas de aplicarse según la necesidad en común de cada construcción con parámetros de países, donde se trata con la forma de aplicarse, en que zona se podrá y en qué

condiciones, para ello se identificaron principales normativas en países con producción en el material que tiene mayor integración al uso constructivo.

### Antecedentes de conceptualización normativa

**Tabla 4**

#### *Conceptualización Normativa*

	Palabras Claves	Enfoque
Comparación de dos métodos de prueba para las propiedades físicas y mecánicas del bambú elaborado por el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de 1995 de China	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bambú</li> <li>2. Métodos estándar de testeo</li> <li>3. Industria de construcción</li> </ol>	Se presenta especificaciones en el análisis del método de pruebas para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los productos de bambú utilizados en edificios, por medio de instrumentos de prueba hacia la resistencia de grandes cargas en alturas.
Norma Oficial Mexicana Nom-008-SEMARNAT-1996 Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos, elaborado por la Norma oficial mexicana de 1996 en México	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Almacenamientos</li> <li>2. Cosecha</li> <li>3. Métodos</li> <li>4. Transporte</li> <li>5. Criterios</li> </ol>	Con la explicación de la normativa se rigen las selecciones del bambú en épocas de cosecha aceptada para realizar un aprovechamiento sostenible, además del transporte y almacenamiento de cogollos en y su sistema de almacenamiento.
Reglamento colombiano de Construcción Sismo resistente, elaborado por el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de 2010 en Colombia	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tolerancia</li> <li>2. Anclajes</li> <li>3. Rostrotras</li> <li>4. Temporal</li> </ol>	Se constituye la especificación de la titulación G, en donde los sistemas de uniones y sobre el adecuado soporte que se adaptara al terreno con el que situara espacios temporales como definitivos manteniendo la misma exigencia.
Reglamento Nacional de Edificaciones Sección 3. Código de Diseño E100- diseño y construcción con Bambú elaborado por el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento de 2012 en Perú	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acción Conjunta</li> <li>2. Anclajes</li> <li>3. Aserrado</li> <li>4. Diafragma estructural</li> <li>5. Cuadrante</li> </ol>	Abarca un campo de características técnicas para el bambú estructural añadiendo los estándares mínimos de aplicación estructural (base, deformación, humedad, utilización en estado verde y estado de secado), su objetivo más claro son las patologías que pueden presentar y donde no pueden ser aceptadas para una estructura como las fisuras intermedias no son admitidas, en sus extremos no son aceptables para el uso de esta.
Análisis de casos de estudio para el diseño estructural de edificaciones de guadua angustifolia Kunth diseñadas de acuerdo con los requerimientos de la NSR-10, Título G.12 elaborado por The International Conference on Non-conventional Materials and Technologies de 2015 en Colombia.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño</li> <li>2. Prolongación</li> <li>3. Normativa</li> <li>4. Secado</li> <li>5. Inmunizado</li> </ol>	Documento dictaminado por expertos en la construcción del bambú de todo el mundo, basado en 20 años de su investigación sobre el bambú y está integrado en un conjunto de estándares ISO, completa una recopilación de diseño a fin de asesorar a los usuarios dando claridad sobre la prolongación en la construcción con bambú.
Estrategias para el uso alternativo del bambú como material sustentable para la construcción de viviendas verdes en Colombia elaborado en Fundación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bambusa glaucescens</li> <li>2. Bambusa glaucescens</li> <li>3. Bambusa vulgaris</li> <li>4. Bambusa vulgaris vittata</li> </ol>	Esta normativa define cada especie de bambú en donde su función hace consigo una clasificación tipológica que describa la

universitaria de América de 2021 en Colombia	factibilidad de uso que en esta se pueda aplicar.
<p>Adaptado de “Comparison of Two Standards for Evaluating Physical and Mechanical Properties of Bamboo Materials” por Bo, LIU &amp; Chen, Zhiyong &amp; Yin, Yafang &amp; Cheng-mou, Fan &amp; Xiao-mei, Jiang &amp; Qi-rong, Guo. 2008. (<a href="https://bit.ly/3uncar5">https://bit.ly/3uncar5</a>); “Norma Oficial Mexicana Nom-008-SEMARNAT-1996 Que establece los procedimientos y criterios especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos” por Norma oficial mexicana. 1996. (<a href="https://bit.ly/3INsfeV">https://bit.ly/3INsfeV</a>); “Reglamento colombiano de Construcción Sismo resistente” por Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 2010. (<a href="https://bit.ly/3DbcD3k">https://bit.ly/3DbcD3k</a>);” Norma Técnica E.100 para el uso de Bambú “por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2012. (<a href="https://bit.ly/3iwsm3C">https://bit.ly/3iwsm3C</a>); Análisis de casos de estudio para el diseño estructural de edificaciones de guadua angustifolia Kunth diseñadas de acuerdo con los requerimientos de la NSR-10, Título G.12. 2015. (<a href="https://nocmat.lasaweb.org/">https://nocmat.lasaweb.org/</a>); Estrategias para el uso alternativo del bambú como material sustentable para la construcción de viviendas verdes. 2021. (<a href="https://bit.ly/3Dj2rWH">https://bit.ly/3Dj2rWH</a>)</p>	

La interpretación normativa se ha desarrollado de acuerdo con los análisis del material sobre el cual su forma, resistencia, sustento y usos, abarca estándares de pruebas entendiendo la analítica mecánica y física del bambú, en donde se explican en la aplicación constructiva, los seguimientos del manejo del bambú, la especificación simplificada a los resultados sobre la aplicación sistema estructural.

Así mismo, permite identificar hechos que apliquen especificaciones analíticas en mega pascal (Mpa), para la obtención de nuevos principios constructivos a partir de la guía que brinda estas normas analíticas en resistencia conjunta a las condiciones del tipo de bambú que se use en cada uno de los proyectos.

### **Historia del bambú**

La historia del bambú se afirma desde su formación y rápido crecimiento abundante, llamando la atención sobre el mismo, este tuvo como aparición arqueológica hace nueve mil quinientos años atrás, descubiertas en la península de Ecuador con un propósito de una vivienda tipo nómada. Como parte de esto se entiende como una gran mancha de uso entre zonas de Colombia, Perú y Ecuador con las construcciones indígenas que en un ideal principal relacionaban los refugios y se ubicaban en los sitios más cercanos donde crecían el material, a su vez son las zonas en donde más especies de guadua se han encontrado manteniendo el régimen mayor en variedad por América (Palacios, 2009, p. 28). Sin embargo, se resalta en el recorrido asiático el hecho inédito a lo largo del tiempo su desarrollo estructural los principales manejos ancestrales han llevado a perfeccionar técnicas a lo largo de los siglos

llegando a combinaciones entre sistemas constructivos mixtos y de tipologías de poco uso visto en el mundo permitiendo así la trascendencia en tendencias constructivas con el bambú.

A lo largo de la historia desde las épocas ancestrales el bambú ha sido un material muy utilizado ya que se tiene en cuenta su rápido crecimiento y ventajas en sus propiedades físicas y mecánicas, creando campos de soluciones en construcciones en América, África y Asia. Su uso ha perdurado hasta la fecha con constantes avances científicos en la optimización para su utilización y mejoras en la cadena productiva, que permiten lograr nuevas formas de aplicarse a la espacialidad de entornos con un uso respectivamente constructivo, has sido acompañante de las culturas, representándose en obras religiosas, asentamientos de carácter nómada y apoyos para la obtención de recursos naturales, demostrando la utilidad del producto como potencial en el uso para nueva arquitectura.

### **Angustifolia Kunth**

La angustifolia Kunth es conocida como la guadua o bambú estructural, es la especie más importante en términos económicos, una especie mayormente ubicada en América del sur desde los extremos de Venezuela y hasta el sur en partes tropicales de Ecuador, ese tipo de bambú brinda distintas formas de uso con el que varía en construcción y artesanía, de igual manera esta planta brinda contención de CO<sub>2</sub> lo cual ayuda en la mitigación del cambio climático. Así mismo, el interés constructivo, se usan para que brinde soluciones económicas con sistemas auxiliares inmediatos de desarrollo espacial, su composición natural hace un sistema ideal de forma que los nudos de la planta crean bases en altura en similitud de resistencias en flejes de concreto.

Por último, siendo un material abundante y de crecimiento rápido servirá de un uso forestal más donde es más aprovechada y de uso primordial. De Acuerdo con el último inventario, en esta zona cerca de 28.000 plantas se han sembrado con guadua (Morales & Kleinn 2006). Dado esto, se han hecho continuidad e incremento en el uso, brindando la posibilidad del desarrollo arquitectónico del material,

se han identificado variedad en especies con el propósito constructivo, entre estas se destaca la *Phyllostachys Edulis*, relacionada a su resistencia y uso frecuente en la construcción, manteniendo la variedad en especies con uso internacional de esta planta.

La *angustifolia* Kunth es un tipo de bambú de alta resistencia siendo una de las especies de mayor uso en construcción, debido a las ventajas que se atribuyen en las características de propiedades físicas y mecánicas. También la utilización de este material permite generar distintas configuraciones estructurales, innovación en el desarrollo de articulaciones o uniones, que responden tanto a las formas geométricas como a las sustentaciones en una buena trasmisión de las cargas, esto permitirá el aumento del uso a partir del entender su método de uso para una mayor compresión sobre configuraciones actuales y futuros proyectos que se adapten a este material, brindando mayor oportunidad a una construcción sostenible, sustentable, biodegradable, en forma de mitigar la contaminación ocasionada en otros materiales constructivos los cuales son de explotación comparado a un material de crecimiento y aporte natural.

### **Sostenibilidad del bambú**

La sostenibilidad del bambú en parte es la capacidad que tiene la planta para la recolección de carbono (CO<sub>2</sub>) que se genera por su rápido crecimiento, producción de biomasa y por su regeneración a partir de rizomas, por lo tanto, no necesita ser plantado una y otra vez. Por otro lado, el bambú crece en terrenos no aptos para cultivar lo que es útil para métodos agrícolas y agroforestales variados, como consecuencia aumenta la reserva forestal del material.

Se observa que la cantidad de biomasa sobre el suelo es la fijación de carbono estimada *Guadúa angustifolia*, para un período de crecimiento de 6 años, es de 54,3 t, donde 10,8 t (19,9%) de la fijación de CO<sub>2</sub> corresponde al rizoma y 43,5 t (80,1%) a la parte aérea del grupo; en las primeras etapas de crecimiento, la contribución del rizoma y el culmo alcanza el 50% de la



biomasa total y, seis años después, la contribución del rizoma y el culmo a la biomasa total alcanza el 90%. (Jyoti & Kumar, 2009, párr. 1).

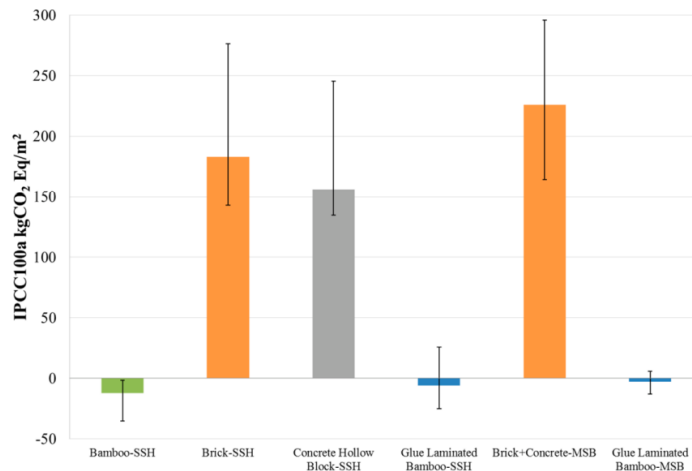
Por otro lado, los productos como tableros para pisos, paneles y muebles de bambú recolectan carbono (CO<sub>2</sub>) a largo plazo por sus altos porcentajes en biomasa, a los cuales se les realizan evaluaciones para medir el ciclo de vida de cada uno de ellos, estos muestran el impacto ambiental en las construcciones.

Así mismo, como se indica en la evaluación de impacto de CO<sub>2</sub> en construcciones realizadas en ladrillo, bambú, bloque hueco de hormigón y el bambú de ingeniera, se considera lo siguiente:

Los edificios basados en bambú tienen el menor impacto ambiental. Por el contrario, los edificios basados en el ladrillo/hormigón (Br/Con) tienen el mayor impacto ambiental. En el caso de los edificios de una sola planta, ambos edificios basados en el bambú tienen emisiones muy similares por metro cuadrado: cerca de 80 CO<sub>2</sub> Eq/m<sup>2</sup>. Mientras que el edificio de varias plantas basado en el bambú tiene el menos impacto ambiental de todos los de la muestra, con solo 39 CO<sub>2</sub> Eq/m<sup>2</sup>. Esto indica que es mucho más eficaz utilizar bambú laminado con cola (GLB) en los edificios de varias plantas que utilizarlo en los de una sola planta. (Zea, E. et al, 2018, p. 8).

**Figura 4**

*Balance de CO<sub>2</sub>. SSH: Casa de una sola planta; MSB: Edificio de varias plantas*



Tomado de "Industrial or Traditional Bamboo Construction? Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Bamboo-Based Buildings" Por Zea,E. et al.2018. (<https://bit.ly/3MJNbfE>)

Teniendo en cuenta el balance realizado de CO<sub>2</sub> capturado por cada material se observa que el bamboo SSH, glue laminated bamboo-SSH y glue laminated bamboo-MSB, tienen un balance negativo ya que estos almacenan y capturan más CO<sub>2</sub> en los materiales de construcción, que el que se emitió a la atmosfera durante la producción de estos. Por otro lado, el brich-SSH, concrete hollow block-SSH y el brick+concrete-MSB, tienen resultados positivos esto quiere decir que emitió más CO<sub>2</sub>, del que se capturo y almaceno en los materiales de construcción.

Por último, las edificaciones construidas en bambú han demostrado un mayor beneficio en el impacto ambiental, ya que es un material local el cual no necesita de un proceso de producción a comparación de materiales como el ladrillo y el hormigón, dicho lo anterior, se debe tener en cuenta la adecuada selección de los materiales de construcción.

El desempeño del bambú en cuanto a la sostenibilidad tiene un alto potencial frente a los demás materiales de construcción como el hormigón, la madera, el ladrillo, entre otros. En cuanto a, la recolección de CO<sub>2</sub> por parte de cada elemento constructivo de una edificación, si bien se muestra en

la gráfica el bambú como un valor negativo esto quiere decir que desde que nace el culmo hasta su empleo recolecta 90% de CO<sub>2</sub>. Mientras que los demás materiales tienen un valor positivo teniendo en cuenta que desde la extracción de la materia prima hasta su empleo en la edificación necesita un consumo energético alto, contaminación atmosférica, contaminación del agua y sus residuos los cuales no son aprovechados del todo después de su vida útil.

### **El bambú como material de construcción**

Según Widyowijatnoko (2012). El bambú se puede utilizar en todas las partes del edificio como elementos estructurales, este puede estar solo en combinación con otros materiales como madera, mortero y acero. El bambú también puede transformarse con alta tecnología para formar nuevos materiales con sus especificaciones como tableros, cimientos, pisos, andamios, estructuras, fachadas, techos, puentes y muros, mostrando la versatilidad del material. De manera que, se logra construir propuestas de manera sencilla y rápida, dando como resultado estructuras no convencionales.

### **Propiedades físicas**

La humedad en la guadua debe ser analizada para determinar el comportamiento mecánico ya que este depende de la humedad en el material.

### ***Contenido de humedad***

Como menciona Darwin (2014). Se debe tener en cuenta el contenido de humedad de la guadua cuando se presentan épocas de lluvia o de sequía. A causa de esto, el material puede aumentar o disminuir el tamaño en cuanto a su tallo.

La contracción del tallo en su longitud se puede pasar por alto; pero la contracción del diámetro puede ser del 5 hasta el 15%, cuando se disminuye la humedad del tronco, (del 70% hasta el 20%). Esta contracción es importante considerando el uso en hormigón armado. La

contracción de troncos verdes o jóvenes es mayor que en los troncos maduros; estos últimos tienen buena resistencia a la tracción y flexión. Además, el incremento de la resistencia a la presión está en relación con la disminución de la humedad, en forma parecida al proceso de endurecimiento de la madera. (p. 35).

Tabla 5

Familias de bambúes

GÉNERO	ORIGEN	ALTURA	DIÁMETRO	DETALLES	PRINCIPALES ESPECIES
<b>BAMBUSA</b>	China, India, Birmania y Taiwán	6-30 m	3-18 cm	Es la especie más común en esas zonas de Asia.	Bambusa balcoa, Bambusa disimulator, Bambusa Edilis, Bambusa polymorpha, Bambusa stenostachya, Bambusa vulgaris, Bambusa bambos, Bambusa nepalensis, Bambusa oldhami Munro "Bambú verde", Bambusa vulgaris Schrader ex Wendland
<b>DENDROCALAMUS</b>	India, Birmania, Sri Lanka y Taiwán	20-35 m	20-35 cm	Es un grupo con muchas variedades. Alcanzan un gran tamaño y son muy importantes para la construcción.	Dendrocalamus balcoa, Dendrocalamus giganteus "bambú gigante", Dendrocalamus asper (bucket bambú en Brasil), Dendrocalamus latiflorus.
<b>GIGANTOCHLA</b>	Malasia, Indonesia y Filipinas	13-16 m	8-15 cm		Gigantochla apus, Gigantochla atroviolacea "bambú negro", Gigantochla levis.
<b>GUADUA</b>	Colombia, Ecuador, México, Bolivia y Panamá	10-30 m	3-12 cm	La Guadua es un tipo de especie endémica del Sur de América. Su nombre fue dado por Karl Sigismund Kunth en 1822, quien tomó la palabra "guadua" usada por los indígenas de Ecuador y Colombia. El bosque de guadua es llamado "guadales".	Guadua angustifolia Kunth, Guadua aculeata, Guadua chacoensis "tacuaruzú", Guadua paniculata Munro "pretty", Guadua superba Huber "Tacuarembó"
<b>PHYLLOSTACHYS</b>	China y Japón	5-22 m	2-17 cm	El bambú de este grupo crece en zonas templadas y tiene la característica de formar nudos en zigzag y otras formas irregulares. Es original de China, sin embargo,	Phyllostachy aurea, Phyllostachy bambusoides, Phyllostachy nigra, var. Henonis, Phyllostachy pubescens (moso, Mao Zhu), Phyllostachys vivax

				muchas especies son cultivadas en Japón, América y Europa.	
--	--	--	--	--	--

Adaptado de "Uso del bambú en la arquitectura contemporánea" por P. Soler. 2007. (<https://bit.ly/3RdsJPi>)

Soler (2017), predominan claramente dos zonas en el mundo en lo que a uso de bambú estructural se refiere. Por un lado, tenemos los países del Sureste Asiático, y por otro, la zona de América del Sur. En la zona Asiática, el principal género del bambú utilizado con fin estructural es el *Dendrocalamus*, dentro del cual, la principal especie es *Dendrocalamus giganteus*. Se trata de una de las especies más grande que existe. Al otro lado del Pacífico, en el continente americano, el género predominante es la *Guadua*, concretamente la especie *Guadua angustifolia*. Esta planta puede alcanzar el 80% de su tamaño final a los 3 meses, característica que la hace muy idónea para explotaciones forestales (p. 18).

**Propiedades mecánicas**

La clasificación del bambú se cataloga en una variedad presente en el mundo la cual se mide a partir de la categorización de tipologías taxonómicas, en las cuales se desempeñan las cargas admisibles a la construcción en la aplicabilidad normativa. Además, como antecedentes se cuenta con ensayos que demuestran esfuerzos de distinta aplicabilidad tanto de forma paralela, como perpendicular a la fibra, en el caso del análisis de los culmos de manera individual. Estos se configuran mediante articulaciones o uniones donde las cargas son transmitidas a través de los elementos continuos, lo cual variará la configuración permisiva entre la sección y la singularidad del uso. El esfuerzo admisible será adjuntado como el análisis principal del bambú.

**Tabla 6**

*Título G- Esfuerzos admisibles*

$F_b$ Flexión	$F_t$ Tracción	FC Compresión II	$F_{p*}$ Compresión I	$F_v$ Corte
------------------	-------------------	---------------------	--------------------------	----------------



Ahora bien, en cuanto a resistencia a la compresión paralela, esta es la mayor carga mecánica aplicada en las columnas, ya que por el sentido de sus fibras se forman agujeros en las paredes del material, las cuales pueden mantener la resistencia al pandeo, permitiendo una flexibilidad estructural a un sistema convencional y no convencional.

**Tabla 8***Resultados a compresión paralela*

Datos estadísticos	Tolima	Guaduas	Oiba	Socorro
Número de datos (N)	28	77	77	75
Promedio (MPa)	45.99	37.95	22.86	33.62
Desviación estándar (MPa)	8.04	5.59	8.21	6.95
Coefficiente de variación	17%	15%	36%	21%
Percentil 5 (Mpa)	34.80	29.43	6.56	23.52
Valor característico (MPa)	31.69	2.10	5.83	22.02

*Nota.* La tabla N°8 representa las medidas por medio de mega pascal al esfuerzo de compresión. Adaptado de "Comparación de las propiedades físico-mecánicas del bambú *Guadua angustifolia* Kunth de diferentes municipios de Colombia por Sánchez L., et. al.2019. (<https://bit.ly/3NjyuJL>)

El comportamiento del bambú frente a cargas de compresión paralela ha sido ampliamente estudiado encontrando resultados variables en las diferentes especies, uno de estos estudios es el realizado por (Sanchez & Guerra, 2020, p. 45), quienes analizan la guadua *Angustifolia* Kunt proveniente de diferentes regiones de Colombia: Tolima, Guaduas, Oiba y Socorro, donde se observaron diferencias en el promedio, la desviación estándar, la variación en el coeficiente y el valor característico donde la *Guadua* del Tolima obtuvo los mejores resultados para el diseño estructural.

Igualmente, el análisis de la carga mecánica a flexión se realiza con la especie *Angustifolia* Kunth, mostrando los esfuerzos en dirección perpendicular a las fibras paralelamente, esto reglamentado por la norma internacional de análisis de ensayos INBAR.

**Tabla 9***Resultados en comparación de ultimo a flexión*

Datos estadísticos	Tolima	Guaduas	Oiba	Socorro
Número de datos (N)	12	12	11	12
Promedio (MPa)	38.88	72.82	39.81	68.39
Desviación estándar (MPa)	4.85	9.45	10.72	29.3
Coefficiente de variación	12.47%	13%	27%	43%
Percentil 5 (Mpa)	33.9	60.42	28.18	27.63
Valor característico (MPa)	30.60	54.31	54.31	18.26

*Nota.* La tabla N°11 representa las medidas por medio de mega pascal al esfuerzo a flexión. Adaptado de "Comparación de las propiedades físico-mecánicas del bambú Guadua angustifolia Kunth de diferentes municipios de Colombia por Sánchez L., et. al.2019. (<https://bit.ly/3NjyuJL>)

Por consiguiente, la tabla 9 evidencia que el material en Guaduas tiene un alcance máximo de resistencia, con un promedio de 72.82 Mpa.

Por otro lado, (Sanchez & Guerra, 2020, p. 45), realizan estudios para determinar el comportamiento a compresión y flexión de las especies Cebolla y Macana, cuyos resultados se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10***Flexión y compresión perpendicular a la fibra*

Tipo de Guadua	Compresión perpendicular a la fibra en Mpa		Flexión paralela a la fibra en Mpa	
	$\sigma$ (Mpa)	$\sigma_{adm}$ (Mpa)	$\sigma$ (Mpa)	$\sigma_{adm}$ (Mpa)
Cebolla	3.43	1	16.67	5.88
Macana	2.25	1.07	17.16	5.88

*Nota.* La tabla N°8 representa el análisis de crecimiento y resistencia del bambú por edad en Mpa. Adaptado de "Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector" por Camacho V. & Páez I., 2002. (<https://bit.ly/3vNPqC9>)

A partir de los resultados de estos dos tipos de guadua, se determina que, para la compresión paralela a la fibra, la tensión promedio ( $\sigma$ ) mantiene mayor resistencia la guadua Cebolla y en la tensión máxima admisible ( $\sigma_{adm}$ ) tiene mayor resistencia la guadua Macana. Ahora bien, se ven de manera casi similares en las resistencias a la flexión de la fibra a tensión promedio ( $\sigma$ ) abarca una ligera



ganancia en resistencia la guadua tipo Macana. En el caso de la tensión máxima admisible ( $\sigma_{adm}$ ) demostraron ambos tipos de guadua un resultado similar.

Por último, en cuanto al esfuerzo de cortante, (Camacho & Páez, 2002, p. 14), realizan ensayos en diferentes ciudades de Colombia, donde se muestra la guadua en condiciones de último esfuerzo hasta llegar al momento preciso en que se genera el efecto cortante.

**Tabla 11**

*Resultados esfuerzo ultimo corte*

Datos estadísticos	Tolima	Guaduas	Oiba	Socorro
Número de datos (N)	64	76	75	70
Promedio (MPa)	4.46	7.57	3.95	7.82
Desviación estándar (MPa)	1.13	1.38	1.15	1.37
Coefficiente de variación	25.31%	18%	29%	18%
Percentil 5 (MPa)	2.69	5.47	2.06	5.49
Valor característico (MPa)	2.46	5.16	1.87	2.18

*Nota.* La tabla N°12 representa las medidas por medio de mega pascal al esfuerzo de corte. Adaptado de "Comparación de las propiedades físico-mecánicas del bambú Guadua angustifolia Kunth de diferentes municipios de 1.37Colombia." por Sánchez L., et al. 2019. (<https://bit.ly/3whjy9g>)

Como resultado se obtiene que la guadua de Socorro tiene un promedio de 7.82 mega pascal (Mpa) con mayor resistencia al cizallamiento según (Sánchez & Guerra, 2020, p. 48).

### Procesamiento del bambú

El bambú es un material natural que, debido a sus características de crecimiento, resistencia, propiedades y funcionamiento constructivo, crean controles de calidad para su recolección para la adecuación y uso constructivo, según Botero, L. (2004). Indica que para empezar se debe iniciar por la parte de cosecha a manos profesionales, de esto añade el área del corte ubicada al ras del primer o segundo nudo que pueda facilitar un crecimiento posterior, a partir de esto se debe manejar la preservación, se puede usar varias formas de curado: Inmersión en agua, ahumado sobre fuego, método bórax, proceso Boucherie, proceso de difusión y oleo solubles, posterior se debe dejar en proceso de

secado y preservación, de manera que, se eviten impurezas añadidas a la superficie, la aplicación de la resina con lijado que pueda crear una limpieza final que implique partículas de protección para la intemperie al cual se expondrá. A partir de este concepto el proceso se desarrolla en el orden de:

### ***Selección del bambú***

Por medio de la selección de guaduas cuyas condiciones cumplan un tamaño, madurez y condicionamiento del tamaño, además se debe tener en cuenta la adición natural del liquen indicando que a mayor cantidad mejor condición tendrá.

### ***Proceso de corte***

El método inicia por corte, ubicándose a partir del suelo hacia el bambú por encima de su primer nudo, este se recomienda el uso de sierras de forma que forme un sellado del nudo para posterior renovación hacia un nuevo bambú, Según Bambuksa, (2022). para esta recolección es importante tener en cuenta la fase lunar en cuarto menguante debido a que la sabia se encuentra en un estado descendente, permitiendo correcta recolección y conservación de los azúcares. Por último, se recomienda tener un corte con mayor distancia debido a la rectificación posterior a utilizar en la construcción.

### ***Proceso de traslado***

Tener en planteamiento un recorrido para el transporte que incluya posición, recorrido, espacio de permitido de carga y anchura del camino, desde la recolección hasta su descargue, su proceso puede variar en el transporte, siendo estos: entre varias personas, por medios de transporte de mediano (tractores o carretillas), finalizando con un sistema de transporte de mayor capacidad.

***Proceso de limpieza***

Por medio de lavado a presión o manipulación manual con utilización de esponjas permite la limpieza de agentes externos añadidos a él bambú.

***Proceso de pre-secado***

Posterior al lavado del bambú se debe realizar el secado manual el cual no añade humedad al bambú, a su vez permite los siguientes pasos de inmunización.

***Proceso de preservado natural***

Su reforzamiento se realiza por medio de aplicación interna de diésel con reposo de 11 días por recomendación, esto tendrá la función de contaminar el bambú creando una capa interna el cual evite patologías que debiliten la duración del material, a su vez se observará la pérdida del color verde para convertirse a un color amarillo presentado por la función de la fotosíntesis.

***Proceso de preservado químico***

Su proceso se basa en la inyección por compresor en baño de bórax y ácido bórico, los cuales se basa en sales que sustituyen los cristales de azúcar, pasando por un proceso de marinado en sistemas de bóvedas, condicionadas a una inclinación del 1% que permita la entrada del químico en las fibras del bambú. Según Montoya (2008, p. 445), afirma que su dosificación se basa que por cada 100 L de agua se debe agregar 2/5 Kg de bórax y 2,5 Kg de ácido bórico, a su vez la representación en referencia es de una utilización del 2% en ácido bórico y 2% en sales de bórax, estos se diluyen por medio del proceso de calentamiento en un balde, donde este contenido se vierte en una pila de lavado, el material no debe superar los 5 días sumergido.

***Proceso de pos-secado***

El proceso se inicia por asolación en el que no debe ser mayor a siete días, con un giro constante en las caras iluminadas, donde se previene el quebrantamiento del material, el secado regular permitirá evaporar las partículas de agua de manera natural. Según Montoya (2008, p. 445), existen dos procesos siendo este por procesado en horno vertical y horizontal a temperaturas entre 45°C y 55°C durante 15 días, el segundo método con mayor tiempo en el almacenado debe ser bajo techo para que el aire fluya permitiendo el secado final, la cubierta de almacenaje debe tener una separación promedio a la entrada de aire permitiendo un secado final.

Así mismo, el comportamiento mecánico analiza los momentos de resistencia aplicados en el bambú, por la función de tracción, compresión, flexión y corte, en los cuales arrojan resultados obtenidos por análisis en megapascal (Mpa), se añade también la variedad de bambú en clasificación de guaduas constructivas, esto demostrará variables dependientes al entorno constructivo, contenido de humedad y procesamiento de selección (corte, traslado, limpieza, inmunizado y secado), esto con el fin de prolongar la resistencia del material.

### **Estado del arte en diferentes clasificaciones de sistemas estructurales**

A partir del desempeño en el comportamiento del material se determinan consideraciones sobre el diseño estructural que este mantendrá como un objetivo específico en el espacio, se encuentra de base el material teniendo en cuenta el ensayo mecánico y entendiendo el comportamiento físico. La configuración en construcción debe cumplirse a partir del uso de las normativas, manteniendo los estándares de salubridad, zonificación, el mantenimiento, almacenamiento del bambú, calidad del material y la regulación estricta en el diseño.

Parte principal de la configuración se debe a sus uniones ya que deben diseñarse, construirse y conectarse para soportar las cargas de las estructuras, dependiente de si diseño se definirá como convencionales y no convencionales los cuales arrojan la diferencia de las formas y del uso que en este incluya.

El diseño estructural debe tener en cuenta todas las posibles cargas que actúan sobre la estructura durante las fases de construcción y servicio, así como las condiciones ambientales que puedan implicar cambios en las hipótesis de diseño o puedan afectar la integridad de otros componentes estructurales (Correal, 2020, p.41).

Los principios del diseño deben abarcar los procesos mecánicos desde el sentido de la ingeniería hacia la arquitectura en la configuración y la resistencia del material en donde, el bambú en su diseño natural permite moldearse y adaptarse a posibles funciones estructurales en las tensiones lineales sobre cargas aplicadas para las configuraciones.

### **Clasificación de las estructuras no convencionales**

Como definición de estructuras no convencionales se dice que es “Una estructura no convencional es aquel sistema de elementos con características estructurales que poseen una configuración formal, la cual rompe radicalmente las tradiciones anatómicas o morfológicas impuestas

por la ingeniería.” (Monografías, s. f. p. 1). Además, como menciona Villate (2008). “estas estructuras son escasas y casi inexistentes en proyectos arquitectónicos” (p. 9). En el libro estructuras no convencionales en arquitectura. Por consiguiente, las estructuras no convencionales se pueden ver en aeropuertos, puentes y torres todas estas apuntan a la innovación estructural.

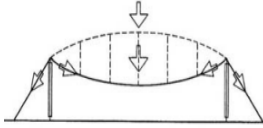
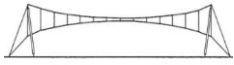
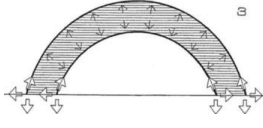
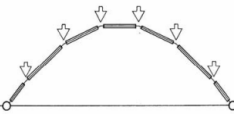
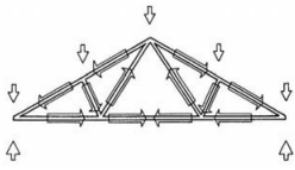
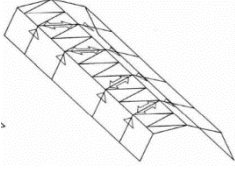
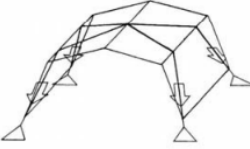
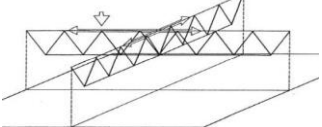
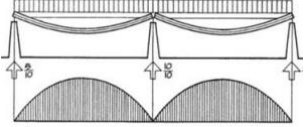
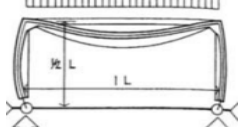
Bajo el campo de acción estructural se realiza la descripción por medio visual-escrito sobre las diferentes formas que pueden llegar a hacer en una construcción en bambú, por medio de la materialidad, uniones y trasmisión de las cargas, logrando así dar a entender la idea básica de los métodos convencionales como de los no convencionales, con nuevas propuestas de uso por medio de aplicación arquitectónica en conjunto con el cálculo de la ingeniería.

### **Clasificación de Henio Engel**

En el libro sistemas de estructuras, del autor Henio Engel explica cómo diseñar una estructura determinando primero la función y luego decidiendo el método de transferencia de la carga al suelo. Para clasificar los distintos tipos de estructuras portantes, las características de las estructuras se organizan y agrupan según su función. Los clasifica en cinco categorías según sus funciones: forma, vectores de fuerza, sección, superficie y altura. También, existen otras combinaciones de tipos estructurales que se pueden utilizar para crear híbridos, así como la capacidad de superponer acoplar estructuras.

**Tabla 12**

*Clasificación estructural Henio Engel*

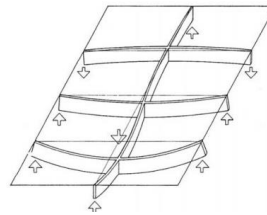
Clasificación	Imagen	
<p><b>Forma activa</b></p> <p>Estas estructuras tienen un material flexible el cual se puede sostener por sí mismo y a su vez cubre un espacio. Las transmisiones de esfuerzos son desviadas hacia el exterior a través de fuerzas normales.</p> <p>Sistemas de estructuras: Estructura de cables, estructura de forma de tienda, estructura neumáticas y estructuras de arcos.</p> <p>Esfuerzos: Compresión y Tracción</p>	 <p data-bbox="857 646 1057 674">Estructura de cables</p>	 <p data-bbox="1170 646 1333 674">Forma de tienda</p>
	 <p data-bbox="846 909 1052 936">Estructura neumática</p>	 <p data-bbox="1166 909 1360 936">Estructuras de arcos</p>
<p><b>Vector activo</b></p> <p>Las cargas son transmitidas con ayuda de barras que trabajan a compresión y tensión, formando nodos y ángulos que dependiendo su posición en el sistema será su forma de trabajo. Se basan en una triangulación, puede haber sistemas que trabajen en ambos sentidos.</p> <p>Sistemas de estructuras: Cerchas planas, cerchas planas combinadas, cerchas curvas y mallas espaciales.</p> <p>Esfuerzos: Tracción y flexión</p>	 <p data-bbox="846 1266 987 1293">Cerchas plana</p>	 <p data-bbox="1117 1266 1382 1293">Cerchas planas combinadas</p>
	 <p data-bbox="857 1518 1003 1545">Cerchas curvas</p>	 <p data-bbox="1122 1518 1312 1545">Cerchas espaciales</p>
<p><b>Sección activa</b></p> <p>Este tipo de estructuras son rígidas y la transmisión de carga es de forma seccionada, es decir, con ayuda de otros elementos se reparten las cargas. Están sometidas a esfuerzos de compresión flexión y cortantes. Las fuerzas se transmiten.</p> <p>Sistemas de estructuras:</p>		

Estructura de vigas, estructura de pórticos, estructura de retícula de vigas y estructuras de losas.

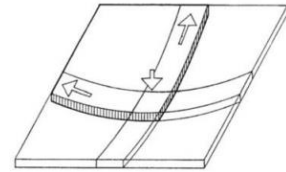
Estructura de vigas

Estructura de pórtico

Esfuerzos:  
Compresión y flexión



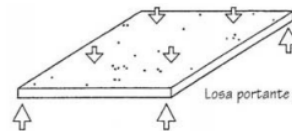
Estructura de retícula de viga



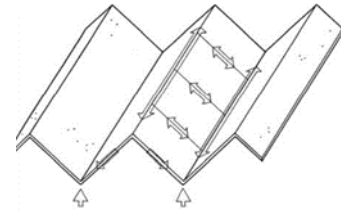
Estructuras de losas

**Superficie activa**

En este tipo de estructuras, los elementos que lo componen son flexibles resisten esfuerzos de cortante, actúan como losa y como elemento soportante de un mismo elemento, los elementos verticales (soportantes) crece la capacidad de carga al aumentar el claro de la losa. La carga se distribuye en partes pequeñas. El perímetro debe estar rigidizado para que no se caiga. La solución que dan estas estructuras es completa, teniendo unidad en forma y estructura.



Estructura de láminas

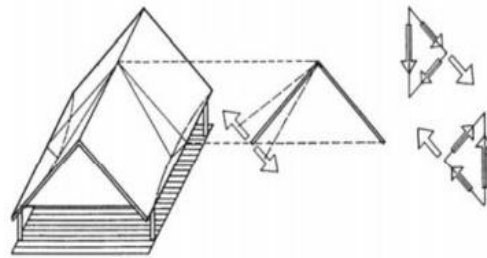


Estructura de lámina plegadas

Sistemas de estructuras:

Estructura de láminas, estructura de láminas plegadas, bóvedas y cascaras.

Esfuerzos:  
Compresión, cortante y flexión



Estructuras de membranas

**Altura activa**

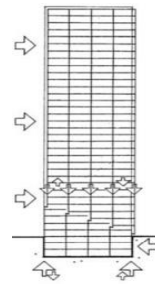
Son estructuras encontradas en edificios altos como los rascacielos, en estas estructuras la carga se



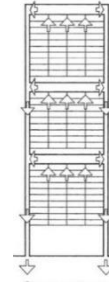
reparte en todo el edificio y sumándose en cada nivel hasta el inferior el cual debe de transmitir toda la carga sumada al suelo y así que el edificio se mantenga. La carga final puede ser transmitida en un punto con un núcleo, en perímetro, en varios puntos o en retícula, la cimentación debe de ser la que reparta la carga al suelo.

Sistemas de estructuras:  
Deformación y rigidización

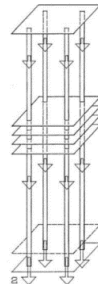
Esfuerzos:  
Compresión y rigidización



Deformación y rigidización



sistema de trasmisión



Forma típica

Adaptado de “Comparison of Two Standards for Evaluating Physical and Mechanical Properties of Bamboo Materials” Bo, LIU & Chen, Zhiyong & Yin, Yafang & Cheng-mou, Fan & Xiao-mei, Jiang & Qi-rong, Guo. 2008. (<https://bit.ly/3uncar5>); “Norma Oficial Mexicana Nom-008-SEMARNAT-1996 Que establece los procedimientos y criterios especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos” Norma oficial mexicana. 1996. (<https://bit.ly/3INsfeV>); “Reglamento colombiano de Construcción Sismo resistente” Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 2010. (<https://bit.ly/3DbcD3k>); “Norma Técnica E.100 para el uso de Bambú” Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2012. (<https://bit.ly/3iwsM3C>); Análisis de casos de estudio para el diseño estructural de edificaciones de guadua angustifolia Kunth diseñadas de acuerdo a los requerimientos de la NSR-10, Título G.12. 2015. (<https://nocmat.lasaweb.org/>); Estrategias para el uso alternativo del bambú como material sustentable para la construcción de viviendas verdes. 2021. (<https://bit.ly/3Dj2rWH>)

Además de la definición literaria de los sistemas estructurales, Henio describía por medio de niveles, directriz o grupo de unión la ramificación en la que se encuentran las configuraciones, en donde demostró con ejemplos sobre cómo se representan y se clasifican según las características que cumplen en la aplicación, no obstante, bajo este ejemplo se incurre con tres grupos familiares de los cinco, como se muestra a continuación:

**Tabla 13**

*Directriz para la clasificación de estructuras*

Disposición		Directriz			Ejemplos			
Nivel 1	Familia Estructural	Mecanismo de desviación	P. e. Estructuras de FORMA activa	P. e. Estructuras de SECCIÓN activa	P. e. Estructuras de ALTURA activa			
Nivel 2	TIPO de estructura	Configuración o denominación usual del objeto	Estructuras de ARCO	Estructuras de TIENDA	Estructuras de PORTICOS	Estructuras de RETÍCULA DE VIGAS	Estructuras de NÚCLEO	Estructuras de PUENTE
Nivel 3	ELEMENTO estructural	Características geométricas o constructivas	Celosía apoyada	Tiendas apuntadas	Pórticos de planta	Reticulas escalonadas	Núcleos de carga indirectos	Puentes de forjados

Adaptado de “Sistemas de estructuras”. Engel H. 2006. Libro físico Alvalma (2017) alvalma.com, España. (<https://bit.ly/3wJhwzx>). Celosías de aluminio; MesserWoland (2014) Estructuras. España. (<https://bit.ly/3wMt1pM>); Villatoro H. (Anónima) Estructuras de forma activa – Parte 2 estructuras en forma de tienda. España. (<https://bit.ly/3iFawvf>); Engel H. (2006) Sistemas de estructuras | Sistemas estruturais. España (<https://bit.ly/3qCtbfO>); Ingeniería y construcción S.A.S (2022) Diseño, construcción y levantamiento de marcos estructurales para pórticos. Bogotá, Colombia. (<https://bit.ly/3NojoDN>), Mata E. (Anónimo) Comportamiento estructural de pórticos con secciones fisuradas. España. (<https://bit.ly/3utt5YZ>); Bernabéu A. (2005) Un ligero desfase en los nudos de conexión de las vigas de madera del pabellón de la Serpentine Gallery. Londres. (<https://bit.ly/3NoaCWe>); Bedolla A. (2015) Sistemas de estructuras. (<https://bit.ly/3iC62p9>); León, Roberto T. (2020) Estructuras mixtas. México. (<https://bit.ly/3iBPcqH>); Bedolla A. (2015) Sistemas de estructuras. (<https://bit.ly/3iC62p9>); U.S. Bridge (2017) Estructuras de puente de acero. Texas. (<https://bit.ly/3IHv8xy>); Martin R. (Anónimo) Estructuras. (<https://bit.ly/3IHISIK>)

La agrupación de la clasificación por medio de Familia estructural, tipo de estructura y elemento estructural se ramifican por cantidad, siendo estas cinco principales (forma, vector, sección, superficie y altura), dentro de estos se abarcaría los dos siguientes niveles que se compondrían entre sistemas y los elementos estructurales dentro de cada sistema activo.

Por último, Engel añade un conjunto estructural, el cual por su combinación no se clasificaría como grupo familiar, compuesto por la combinación entre tipos de cargas activas que hace la desviación en fuerzas a una acción entre los tipos de configuración, las familias se pueden llegar a entrelazar para lograr un sustento, dentro de los sistemas hacen la funciones de crear nuevos diseños arquitectónicamente modernos. Son dos características que describen una función híbrida de la cual la

primera se identifica una compensación mutua o reducción de las fuerzas críticas, en la segunda se organiza función donde puede ser de uno, dos o varios elementos estructurales unidos y lograr nuevas formas de propuestas.

### **Clasificación de reticulado espacial**

El reticulado espacial es definido por Pinzón (2017), como un sistema o “conjunto de barras dispuestas, unidas de manera tal que los esfuerzos de tensión internas por flexión, corte son eliminadas y reemplazadas por tracción y compresión” (p. 15).

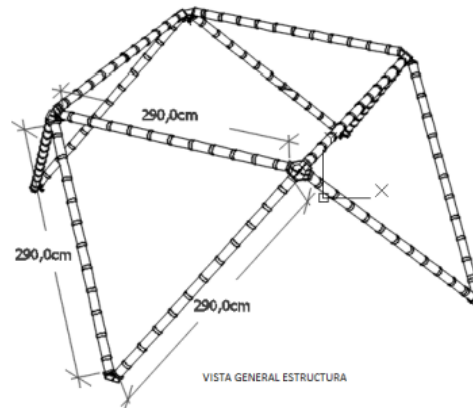
Dicho lo anterior, el bambú es un material que cuenta con un potencial de desarrollo estructural de una manera ligera y prefabricada, que puede llegar a trabajar a compresión y tracción, mientras se conforme una retícula.

Debido a estas condiciones es capaz de cubrir luces relativamente grandes y por su configuración, plana o espacial, soportar cargas de entresijos y cubiertas, planas o inclinadas derivando las mismas a los apoyos mediante esfuerzos axiales, ya sea de tracción o de compresión (Gordon,1999, p. 169).

Los reticulados espaciales en general tienen la ventaja de las propiedades geométricas para cubrir grandes áreas con la utilización de pocas columnas.

**Figura 5**

*Cubo octaedro vista estructural*

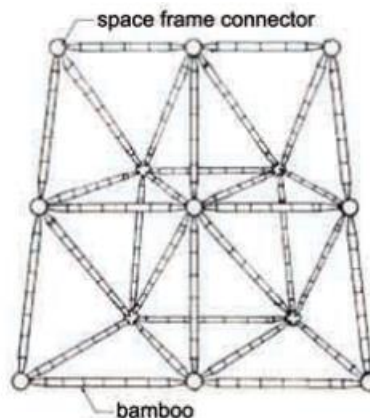


Tomado de "Instrucción e implementación unión lashing joint eye bolt Andry Widowyjatnoko en retiulados" por L. Pinzón. 2017. <http://hdl.handle.net/11396/4032>

Las retículas espaciales de doble capa son uno de los sistemas estructurales más eficientes y ligeros debido a su capacidad para compartir la tarea de carga que transporta toda la estructura. Las estructuras espaciales se desarrollan para tener una alta eficiencia usando sus miembros puramente a tracción o compresión y evitando excentricidades de transferencia de carga (Pinzón, 2017, p. 31).

**Figura 6**

*Estructura en tetraedros*



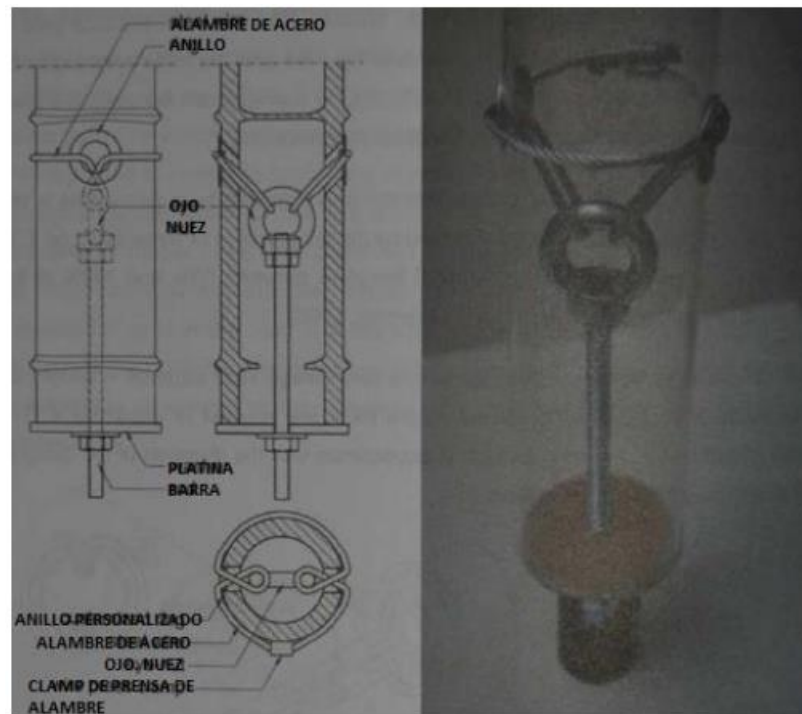
Tomado de “Instrucción e implementación unión lashing joint eye bolt Andry Widyowyjatnoko en retiulados” por L. Pinzón. 2017. <http://hdl.handle.net/11396/4032>

Dicho lo anterior, no solamente la resistencia de este sistema y su configuración se le puede atribuir al bambú, todo esto se garantiza con la utilización de la unión tipo joint del arquitecto Andry widyowyjatnoko el cual explica esta unión como una articulación de atadura con tornillo.

La compresión se transferirá de la placa a toda la sección de bambú y la tensión se transferirá de la placa a la varilla y luego al cable de acero y continúa hasta el exterior del bambú en compresión radial (Pinzón, 2017, p.33).

### Figura 7

#### *Unión Joint*



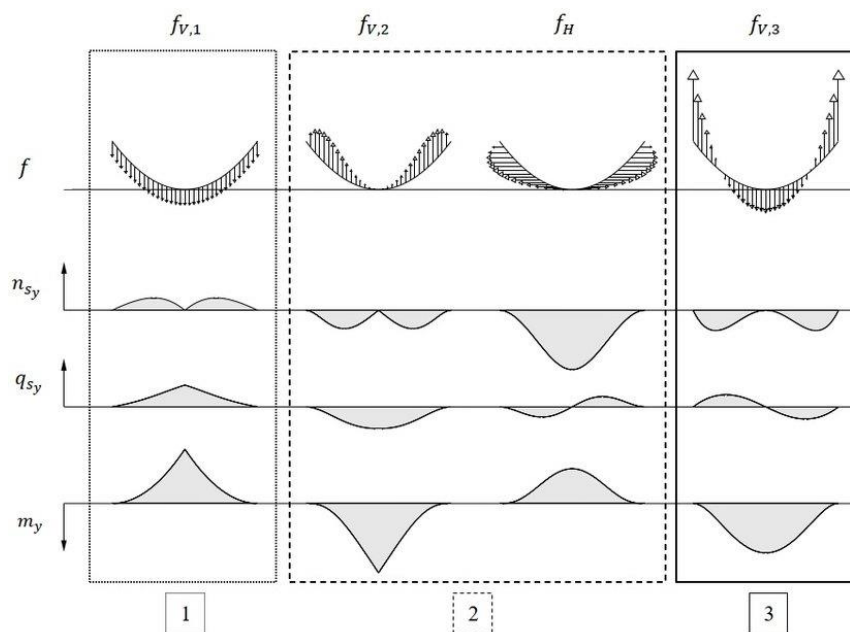
Tomado de “Instrucción e implementación unión lashing joint eye bolt Andry Widyowyjatnoko en retiulados” por L. Pinzón. 2017. <http://hdl.handle.net/11396/4032>

### Clasificación de Mike Schlaich

Comenta Schlaich, M. (2021). El sistema estructural y como este llega desde una composición fuerte hasta su conformación ligera y dependiendo de la forma, los sistemas de vigas en resistencia pueden manejarse de forma a compresión y tracción, además, de cizallamiento en caso extremo. Por último, se despliega sistemas a flexión, en esto se basa el principio de Mike Schlaich frente al sistema de soportes en puentes de sistema de vigas que este dependiendo de la formación estructural logra el sistema de carga. El comportamiento sobre el sistema de vigas junto al esfuerzo transversal sobre él, se diversifican según su momento de aplicación gravitatoria junto a los esfuerzos aplicados de manera que se comprenden como la carga en la que actúa sobre el elemento actuando de forma negativa y positiva tal como se muestra en el gráfico (ver figura 8).

**Figura 8**

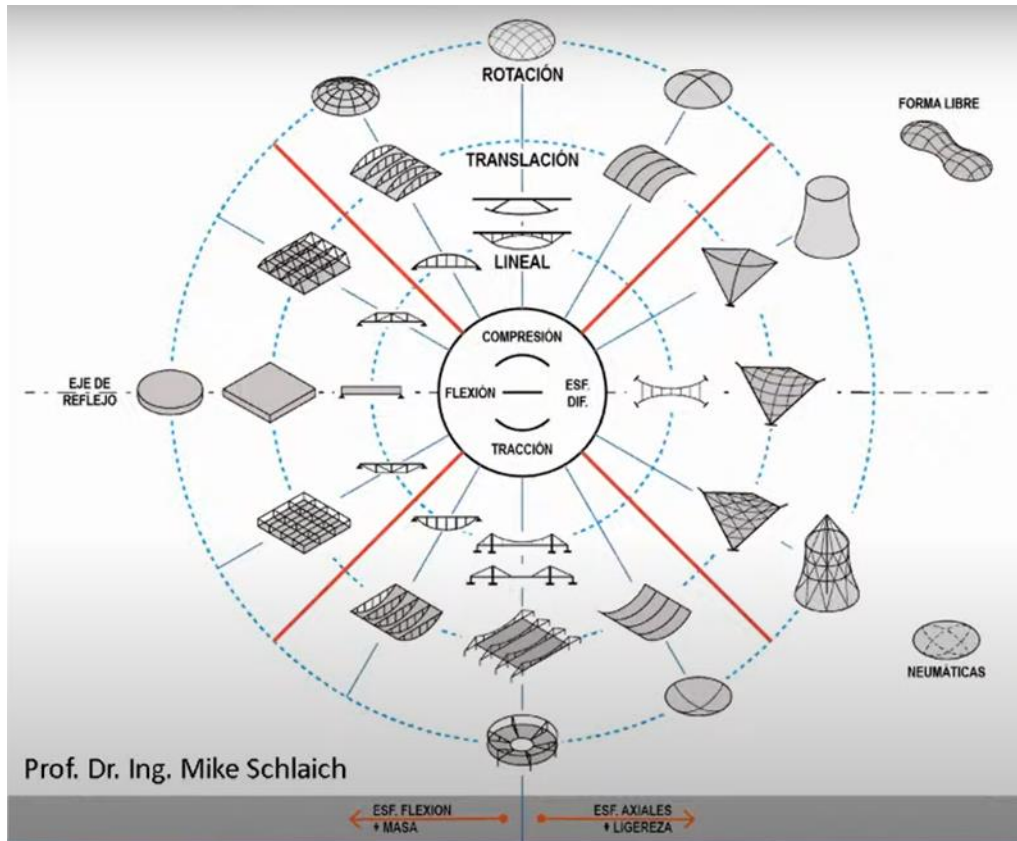
*Distribución cualitativa de las fuerzas*



Tomado de "Dombrowski M. (socio de schlaich bergermann) (2021). Comportamiento estructural transversal de dohaz de luz doblemente curvado conchas" por 7ª Conferencia Internacional sobre Espaciales estructuras Inspirando a la próxima generación. (<https://bit.ly/3FSLuUr>)

**Figura 9**

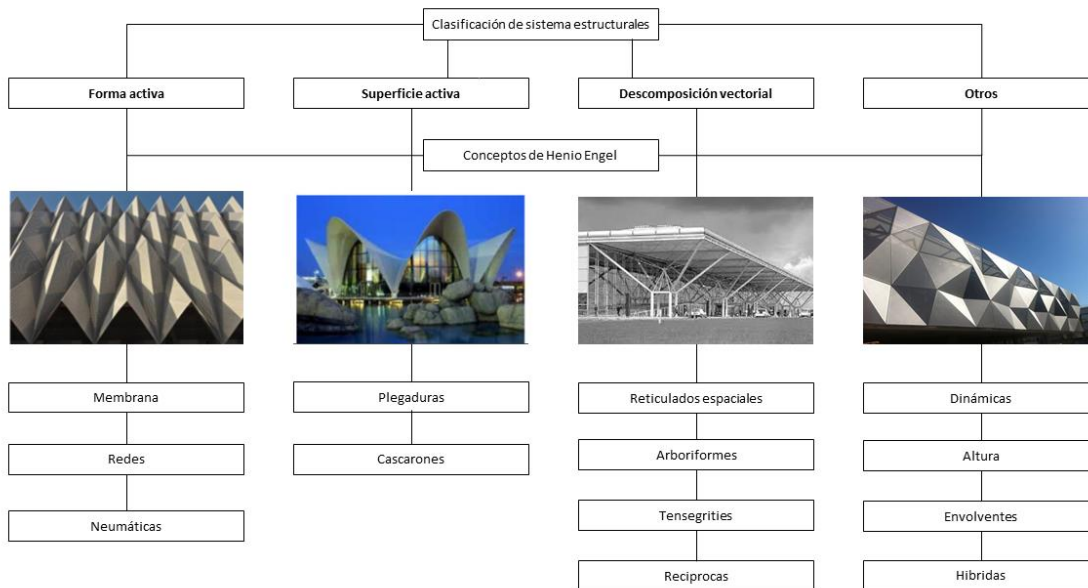
*Clasificación de sistemas estructurales por la relación forma*



Tomado de "XV Congreso Internacional eco ciudades" por Canal de Arquitectura Universidad La Gran Colombia. 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=1qRc2qvXmjs>

**Clasificación de Melisa Gálvez**

Los sistemas estructurales mencionados a continuación, tienen como principio de estudio a Henio Engel en el que a partir de esto la investigadora Melisa realiza su propia clasificación de estructuras no convencionales.

**Figura 10***Clasificación estructural sistemas no convencionales*

Adaptado de “Estructuras no convencionales” por Canal de Arquitectura de la Universidad La Gran Colombia. 2021. ([https://www.youtube.com/watch?v=mXOJY\\_x33b0](https://www.youtube.com/watch?v=mXOJY_x33b0))

Dicho lo anterior la clasificación estructural de Henio Engel, Mike Schlaich y Melisa Gálves exponen puntos como los esfuerzos, sistemas de cargas, forma, entre otros. Se selecciona como criterio metodológico, la clasificación de sistemas estructurales de Henio Engel ya que se explica de manera completa en cuanto a forma, función y transmisión de cargas. Considerando lo anterior, se realiza la propuesta de clasificación de configuraciones estructurales de proyectos construidos en bambú a nivel internacional donde se encuentra una relación con lo establecido por Henio Engel.

### **Diseño paramétrico con bambú**

Dentro de este proyecto también se consideró analizar el diseño paramétrico, debido a que los proyectos templo de Luum y green school implementan este concepto de diseño en su forma y cubierta,



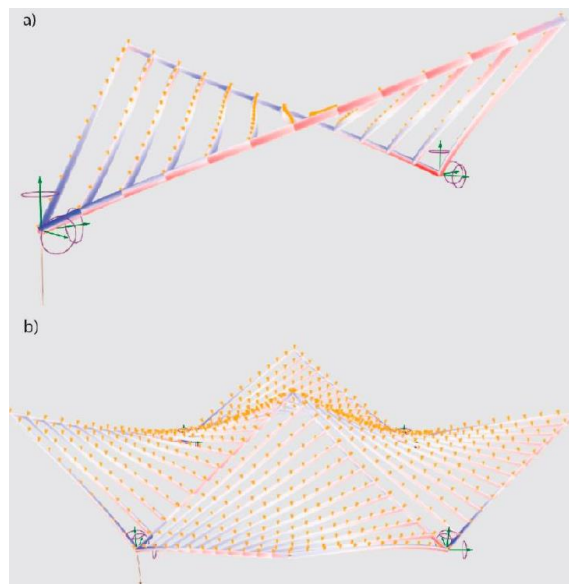
lo cual permite comprender mejor el diseño, desarrollo, construcción y transmisión de cargas de estos elementos estructurales.

El diseño paramétrico es una exploración de geometrías, algoritmos y números todo esto incorporado en herramientas paramétricas como Grass Hopper (GH), Karamba 3D, Rhino, CAD y SAP2000 v.14. Diseños que pueden llegar a generar cáscaras, fachadas y estructuras. Los programas de diseño paramétrico tienen la ventaja de tomar este conjunto de información y aplicarlo a una solución mayor, como una pieza arquitectónica compleja. Donde teniendo en cuenta las posibilidades de ofrecer los tallos de bambú, se pueden crear formas estructurales y arquitectónicas complejas, rectas o curvas. (Estrada et al., 2022, p. 6). Que se pueden lograr teniendo en cuenta una serie de pasos como:

1. Aplicabilidad de la normativa.
2. Modelización tridimensional de la estructura.
3. Verificación de resultados.
4. Simulación estructural del objeto.

**Figura 11**

*Cascara de doble curvatura*

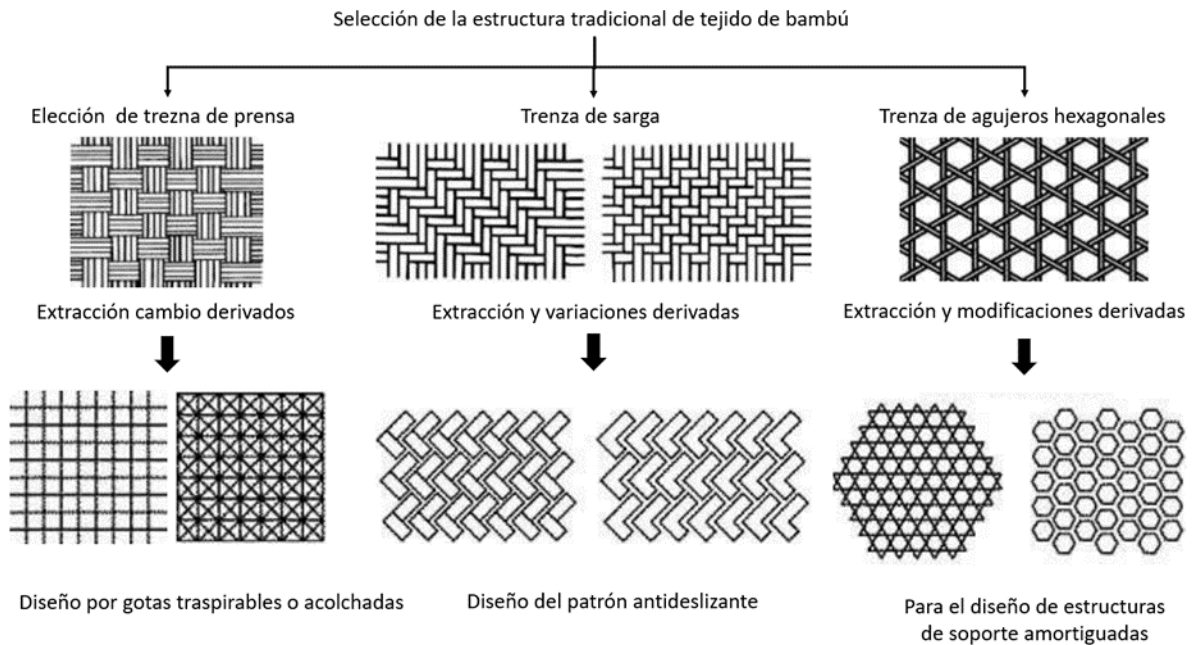


Tomado de "Design Exploration of Bamboo Shells Structures by Using Parametric Tools" por M. Estrada. 2022. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7522>

Teniendo en cuenta lo anterior, se toma como referencia los modelos de doble curvatura en cascaras en conjunto con un paraboloides hiperbólico de cuatro partes con ciertas direcciones en las viguetas, esto acompañado de un sistema de malla en puntos con el fin de comprender las deformaciones del objeto.

Por otro lado, el tejido clásico de bambú involucra la utilización de la amortiguación y el entretejido, denominados mallas de recolección, que es el entrelazamiento de los hilos de la urdimbre y la trama, da lugar a una diversidad de construcciones, que según Xiaobin, J. & Guitao, F. (2021. p. 66), son las técnicas más primordiales en cuanto al tejido de bambú. Por consiguiente, un tejido delgado tiende a ser un tejido plano por el grosor de sus fibras, logrando formas tridimensionales ayudando así al conocimiento y proceso un producto.

A su vez se tiene en cuenta el alcance mecánico que comprende la resistencia a flexo compresión de forma que se crea una resistencia por forma y no por sistemas portantes, esto lográndose de manera diminutiva.

**Figura 12***Tejido tradicional*

Tomado de "Construcción paramétrica y aplicación compuesta de estructuras de bambú" por J. Xiaobin & F. Gitao. 2021.  
<https://acortar.link/QDZsSk>

Esto significa que, los diferentes tejidos antes mencionados se pueden llegar a diseñar por medio de varias capas que pueden estar entrecruzadas o sobrepuestas que conforman una estructura de bambú plana visualizándose como una sola capa, permitiendo la innovación en configuraciones estructurales.

### Tipos de uniones en bambú

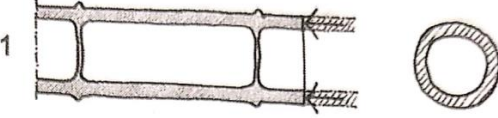
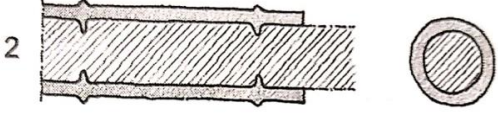
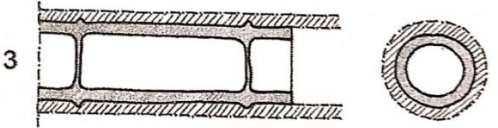
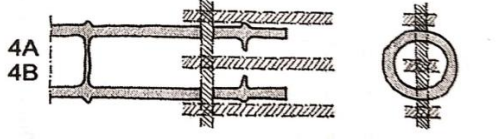
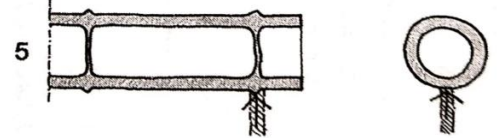
Según Andry Widyowijatnoko (2012). Las uniones se pueden conformar a partir de tornillos, varillas, alambres, mortero, retenedores metálicos, entre otros. Así mismo, apoyando se dé la configuración redonda y hueca del bambú, para lograr articulaciones en distintas direcciones, con esto se logran la estabilidad estructural y así mismo la transferencia de cargas por cada uno de los elementos.

**Unión de múltiples nudos (Andy Widyowijatnoko)**

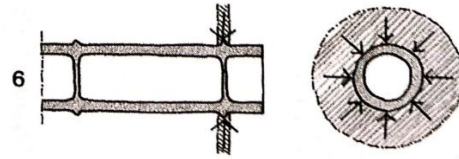
De acuerdo con la transferencia de fuerza y las posiciones de los conectores, las uniones de bambú se dividen en seis grupos, cada uno con su propio conjunto de principios. La mayoría de las juntas bambú emplean una combinación de estos principios.

**Tabla 14**

*Juntas de bambú*

Categorías de juntas	Representación
<p><b>Grupo 1</b> Transferencia de compresión por contacto a toda la sección.</p>	<p>1 </p>
<p><b>Grupo 2</b> Transferencia de fuerza por fricción en la superficie interior o compresión al diafragma.</p>	<p>2 </p>
<p><b>Grupo 3</b> Transferencia de fuerza por fricción en la superficie exterior Grupo.</p>	<p>3 </p>
<p><b>Grupo 4</b> Transferencia de fuerza por esfuerzo de apoyo y cortante a la pared de bambú del elemento perpendicular conectado desde el interior (4A) o desde el exterior (4B) 4A 4B.</p>	<p>4A 4B </p>
<p><b>Grupo 5</b> Transferencia de la fuerza perpendicular a las fibras.</p>	<p>5 </p>

**Grupo 6** Transferencia de la compresión radial al centro del poste a través del esfuerzo cortante y circunferencial perpendicular a la fibra.



Adaptado de "Traditional and innovative joints in bamboo construction" por A. Widyowijatnoko.2012

El análisis existente de la junta de bambú muestra que el utilizar cada sección del material es la mejor opción para transferir la compresión (Grupo 1). Por un lado, la inserción de conectores dentro de la cavidad (Grupos 2 y 4A) es la combinación preferida, tanto por razones estéticas como para beneficiar la cavidad del bambú de la hueca.

Andy desarrolla una junta de bambú con múltiples nudos como se puede observar en la figura 1. Así mismo, la junta se mejoró reemplazando el cáncamo con una varilla y algunos pasadores cruzados, lo que permitió que cada junta multiplicara una técnica de amarre similar.

Como resultado, la fuerza se distribuyó en un área más grande de bambú. Las pruebas de tensión en juntas de bambú con varios nudos produjeron el efecto esperado, con tres de cuatro muestras fallo las varillas cuando se rompieron. La resistencia a la tracción promedio fue de 77,91 kN, superior a la resistencia de la varilla M16 anterior. Después de usar un bambú con un diámetro y un grosor de pared aproximadamente similares, se puede personalizar la fuerza de la junta.

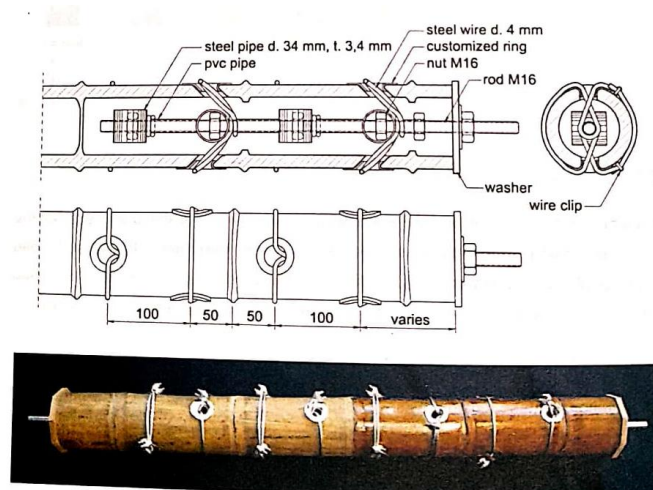
**Figura 13***Sistemas mixtos*

Figure 6-37: Working drawing of the samples (above) and a sample painted darker on one side to differ two joints (below)

Tomado de "Traditional and innovative joints in bamboo construction" por A. Widyowijatnoko.2012

### ***Uniones en guagua título G (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente)***

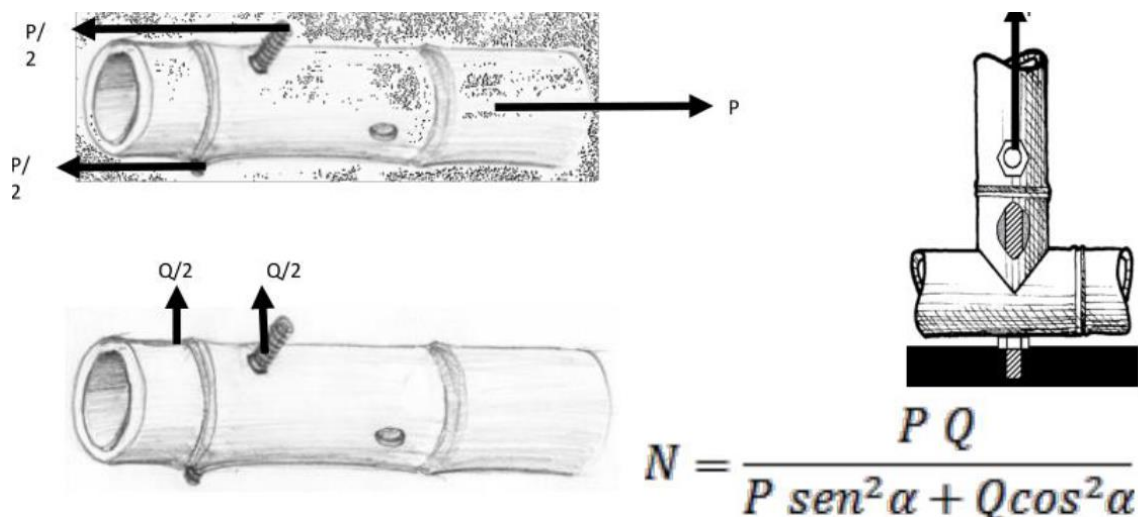
El alcance de esta normativa se hace presente en la titulación G, en la que describe los requisitos del diseño para la elaboración estructural en una edificación de madero o bambú, con el que deberá cumplir un margen de seguridad llegando a compararse con otros materiales que cumpla bajo los estudios de normativa, se entenderá el manejo de la descripción de un material cuando se fundamenta en el material o el uso mixto de la misma que sea pertenecientes a las maderas.

De igual manera, los elementos mecánicos de unión, por medio del reglamento se hace presente el tema en transmisión de carga con el sistema de uniones, varían según las piezas de corte que se conectan entre sí, estas aplican las fuerzas que sufre el material. Los contactos de uniones que se entrelazan de forma cilíndrica y dependiendo de la posición en la unión, su forma puede ser en dirección axial. De igual forma la pieza solicitante y la solicitada son la presencia de desviación, la fuerza transmitida y dirección de la fibra. El borde cargado y descargado donde la pieza se afecta por la fuerza que se transmite por la unión por la fuerza, paralela o normalizada a la dirección del material.

Por último, se habla de las formas excéntricas conforme al eje de bambú en donde debe estar en combinación de esfuerzos donde las solicitaciones que reciben de forma en barra y esfuerzos secundarios que debido el momento de manera excéntrica, de forma que no sobre pasen los valores del diseño.

**Figura 14**

*Sistema de unión pernada*



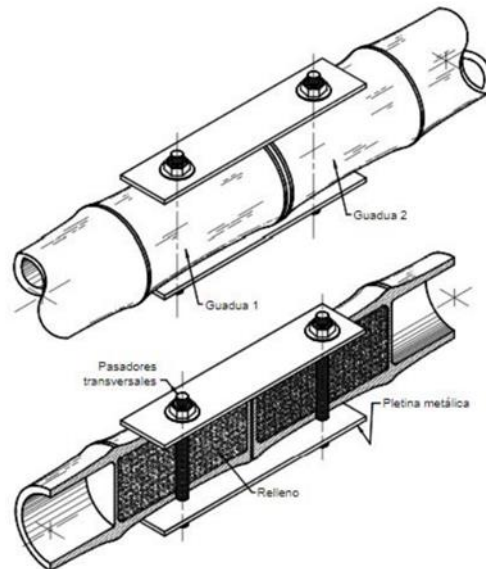
*Nota.* La figura 10 representa tipologías de uniones emperradas sometidas a cizallamiento función del exterior de la guadua. Tomado de "Muestra de construcción sostenible biocasa 2010, Hábitat y Desarrollo Sostenible" por Servicio nacional de aprendizaje. 2014. (<https://bit.ly/3PDIsb0>)

### **Uniones en guadua (Norma Técnica Colombiana-5407)**

El sistema de uniones son la composición de los sistemas en los cuales su uso para la aplicación es la aplicación estructural y la manera como se agregan elementos de pernos metálicos, para un apoyo tanto en la parte interior como en la exterior y los agregados del relleno interno que en este se aplique, evitando que ceda ante quebrantamiento del bambú en resistencia mecánica como parte del apoyo en los esfuerzos mecánicos de la unión para una configuración continua.

**Figura 15**

*Unión pernada con pletinas paralelas*



Tomado de “Uniones de estructuras con guadua angustifolia kunth” por Instituto Colombiano de Normas técnicas y certificación. 2006. (<https://bit.ly/37X1ZSJ>)

Por consiguiente, el análisis de las diferentes uniones en bambú se observó que pueden estar conformadas por distintos materiales, tamaños, formas, entre otros. Se debe tener en cuenta a la hora de implementar una unión el esfuerzo que esta va a recibir y así mismo a transmitir. No obstante, se debe agregar que el bambú en cuanto al sentido de sus fibras trabaja muy bien a compresión y en cuanto al esfuerzo de tracción se requiere un buen diseño de la unión, gran parte de esta información se encuentra en la normatividad donde se tienen estándares en la implementación y uso adecuado de las mismas para garantizar la eficiencia estructural de las construcciones.



## CAPITULO 2

En este capítulo se analizan los ocho proyectos objeto de estudio, construidos en diferentes ubicaciones geográficas a nivel mundial, por medio de modelos digitales analíticos, que permitirán la comprensión de las diferentes configuraciones estructurales, transmisiones de cargas, cimentaciones, uniones, entrepisos y cubiertas, con lo cual se dará una aproximación a la composición estructural.

### Clasificación y análisis general de proyectos en bambú en diversas regiones del mundo

#### Proyecto: Green school

#### Figura 16

#### *Green school*

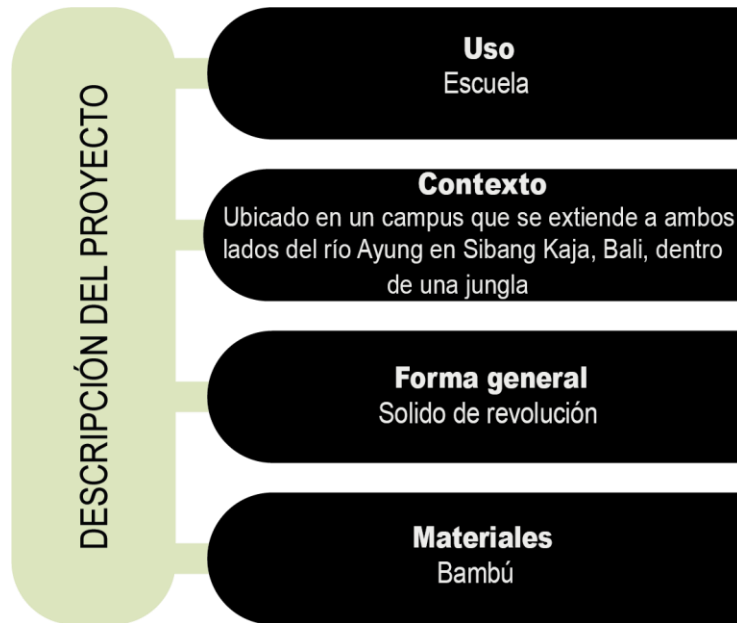


Tomado de Tripadvisor. S.f. (<https://bit.ly/3MmnqeY>)

- Arquitectos: IBUKU
- Arquitecto encargado: Rowland Sauls
- Fotografías: Tommaso Riva
- Área 760 m<sup>2</sup>
- Año: 2021
- Ciudad: Kecamatan Abiansema, Indonesia

**Figura 17**

*Descripción del proyecto Green School*

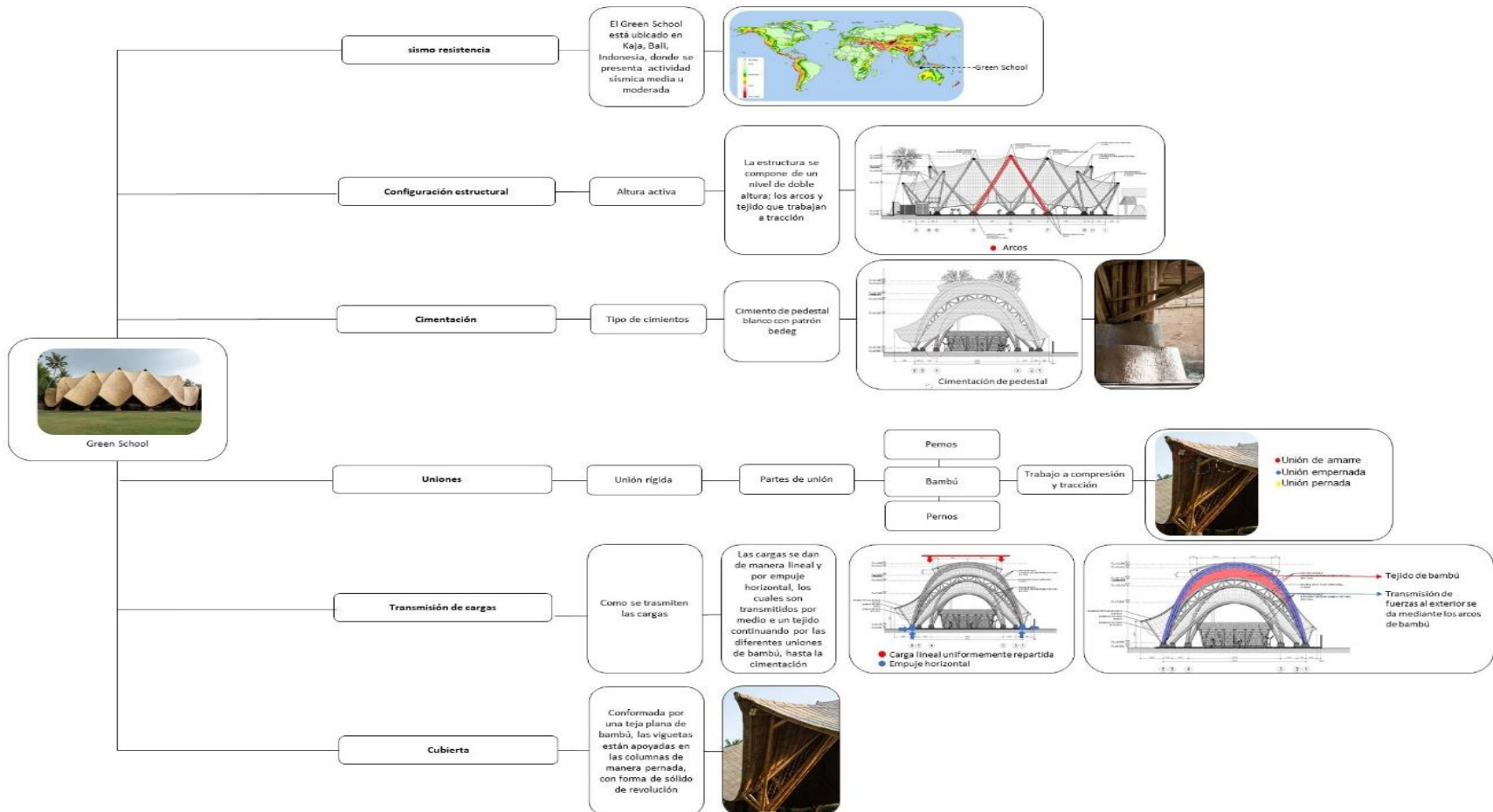


Adaptado de "El Arco en Green School/IBUKU" por Archi Daily. 2022. <https://bit.ly/3RQCALD>

**Análisis del funcionamiento estructural del sistema**

**Figura 18**

*Análisis estructural Green School*

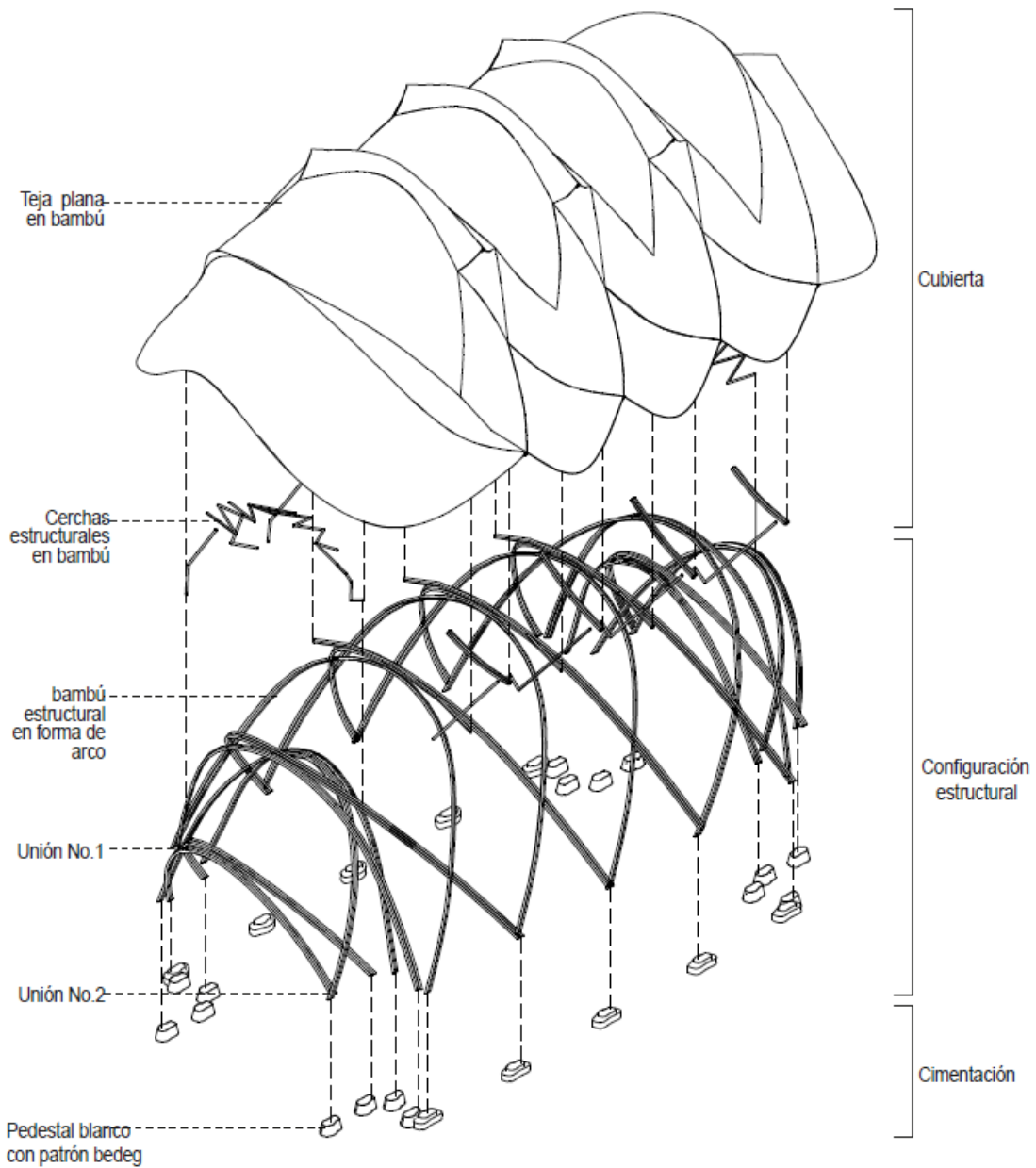


Elaboración propia

*Modelamiento para el análisis de detalles y uniones*

**Figura 19**

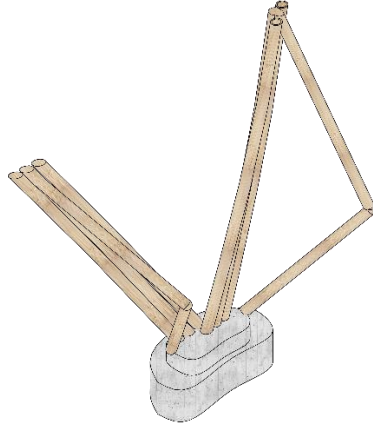
Axonometría Green School



Elaboración propia

**Figura 20**

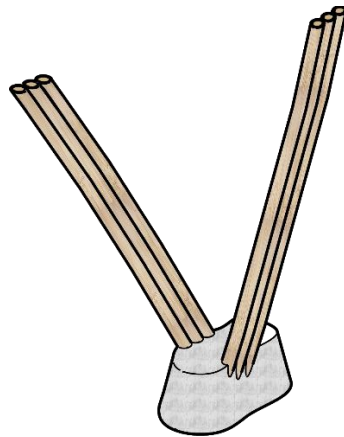
*Unión No.1*



Elaboración propia

**Figura 21**

*Unión No.2*



Elaboración propia

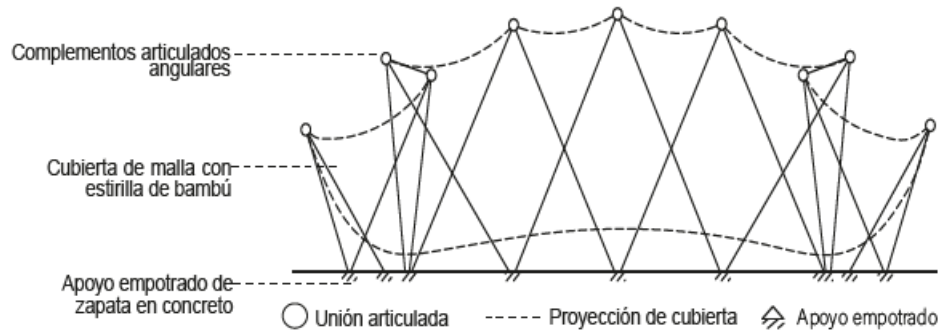
*Nota.* Todas las uniones estas realizadas por bambúes y amarres.

**Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos**

**Figura 22**

*Uniones y tipos de apoyos*

Vista lateral



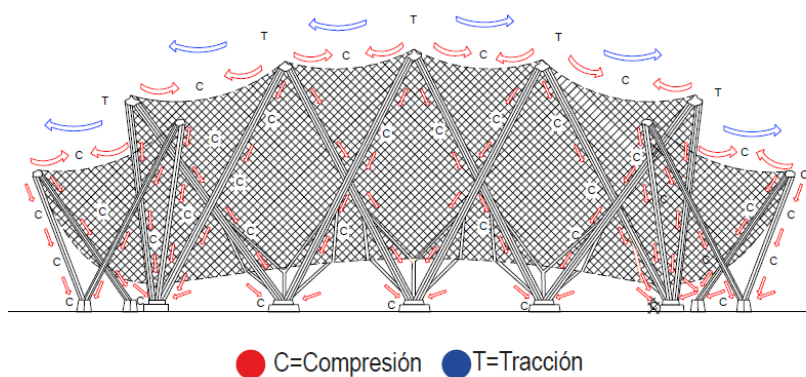
Elaboración propia

**Diagrama de recorrido cargas**

**Figura 23**

*Transmisión de cargas*

Vista lateral



Elaboración propia

Está ubicado en Kaja Bali, (Indonesia), donde se presenta una actividad sísmica media u moderada. El proyecto se desarrolla a partir de una superficie activa conformada por una serie de arcos parabólicos de doble altura, siendo estos la estructura de apoyo para una cubierta en malla anticlástica formada por bambúes tejidos en dos direcciones proyectados bajo el diseño paramétrico estos con una doble curvatura con direcciones opuestas conformando varios paraboloides hiperbólicos entre los arcos. Los arcos y la malla funcionan como uno solo, los cuales están sometidos a cargas de tracción y compresión que son transmitidas a las diferentes uniones rígidas, continuando así por cimientos de piedra.

### Proyecto: Sharma Springs

#### Figura 24

#### *Sharma springs*



Tomado de "Sharma Springs / IBUKU" por Arch Daily. 2019. (<https://bit.ly/3tB3jTv>)

- Arquitectos: IBUKU
- Fotografías: Rio Helmi, Errol Vaes
- Ciudad: Abiansema, Indonesia
- Área: 750 m<sup>2</sup>
- Año: 2012

Figura 25

Descripción del proyecto Sharma Spring



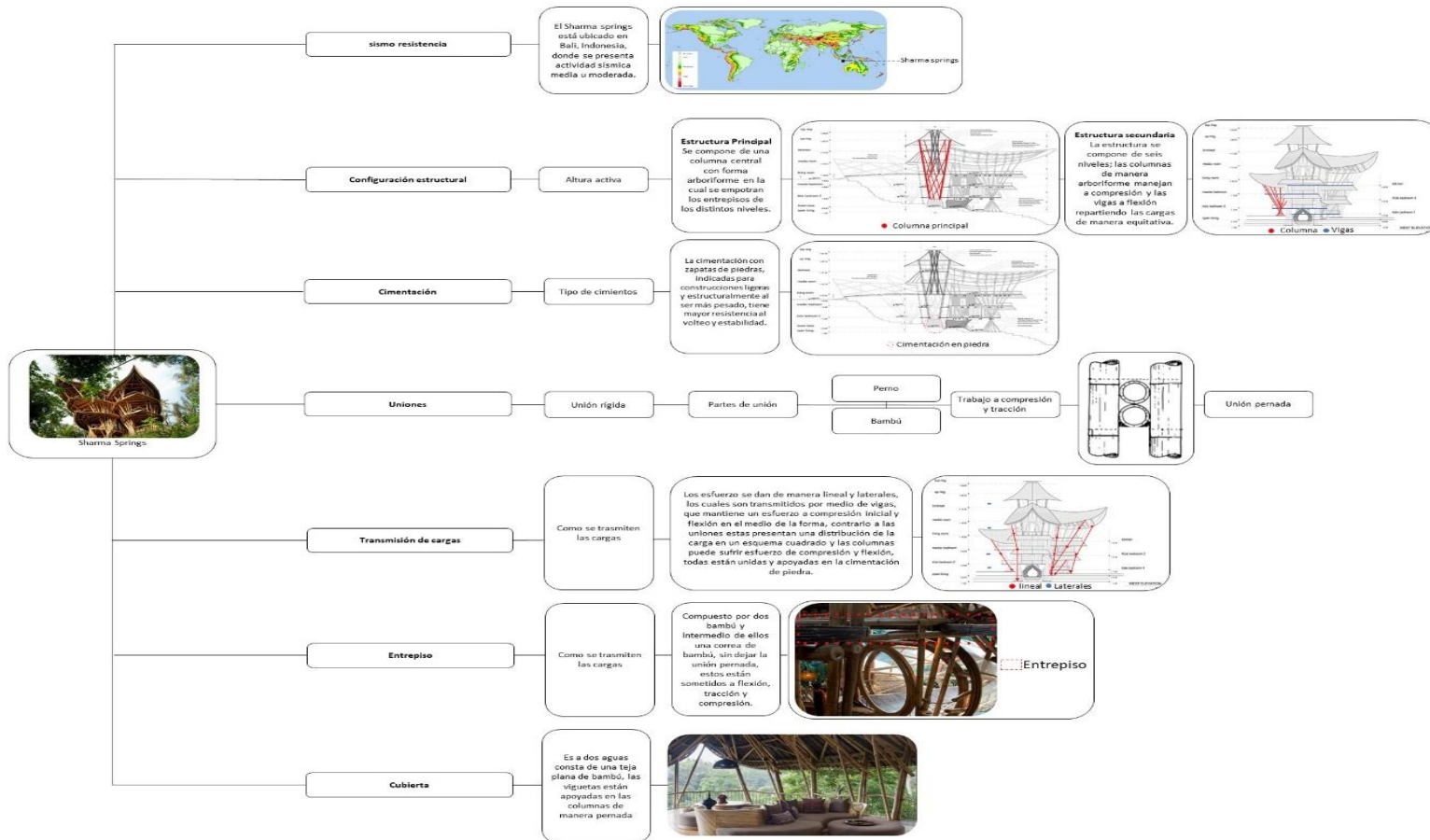
Adaptado de "A bamboo villa overlooking the Sacred River of Bali" por Green Village. s.f. <https://bit.ly/3M6sNzC>



**Análisis del funcionamiento estructural del sistema**

**Figura 26**

*Análisis estructural Sharma Spring*

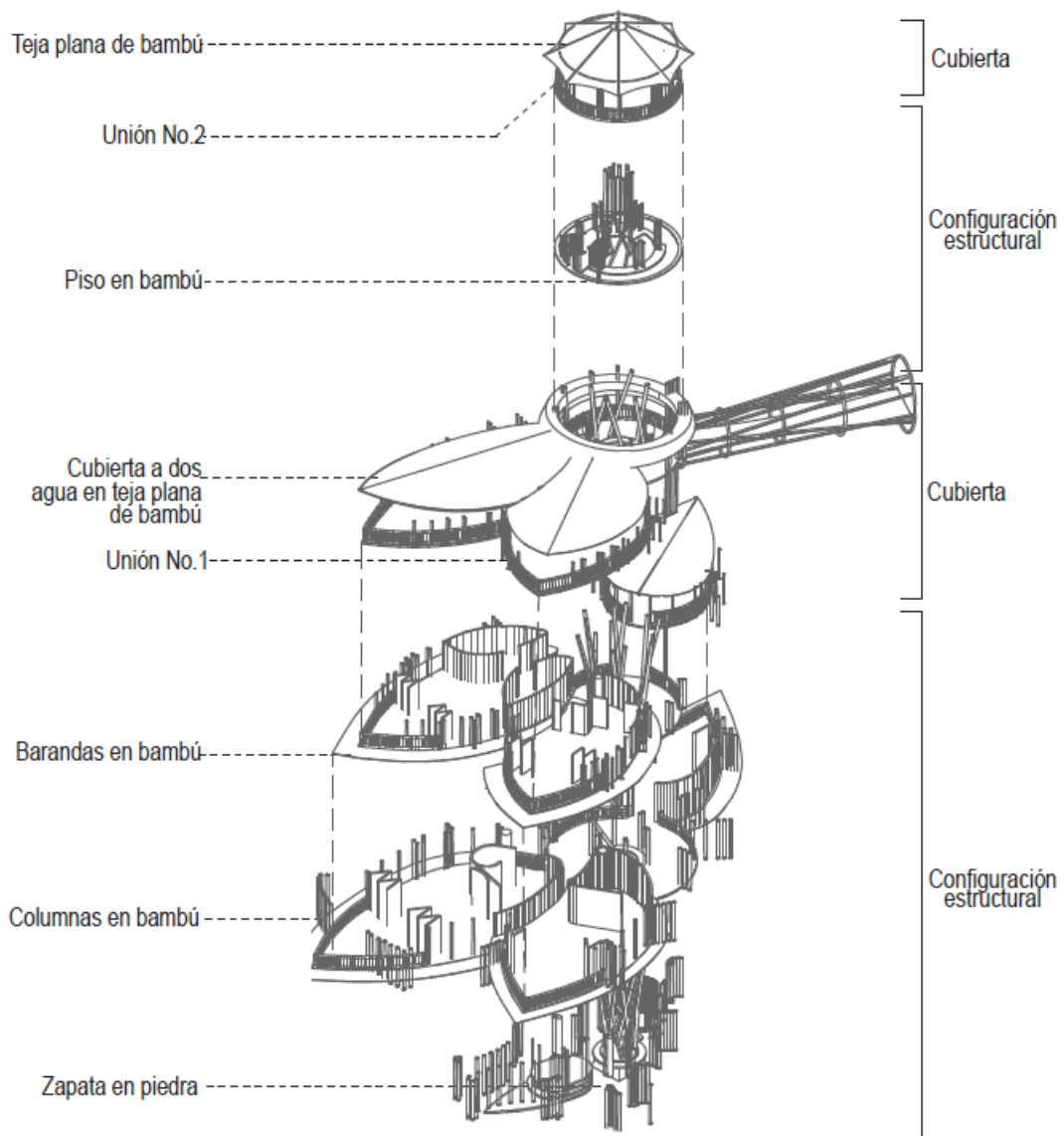


Elaboración propia

**Modelamiento para el análisis de detalles y uniones**

**Figura 27**

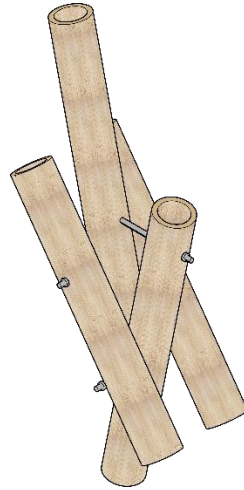
*Axonometría Sharma Springs*



Elaboración propia

**Figura 28**

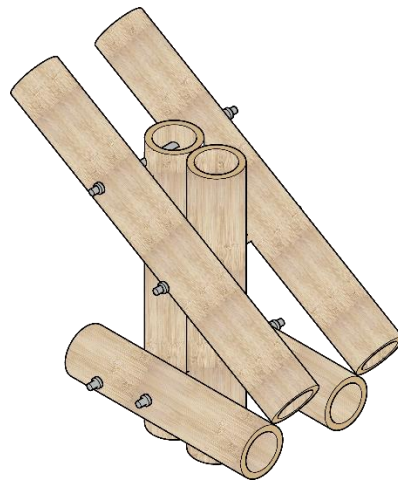
*Unión No.1*



Elaboración propia

**Figura 29**

*Unión No.2*



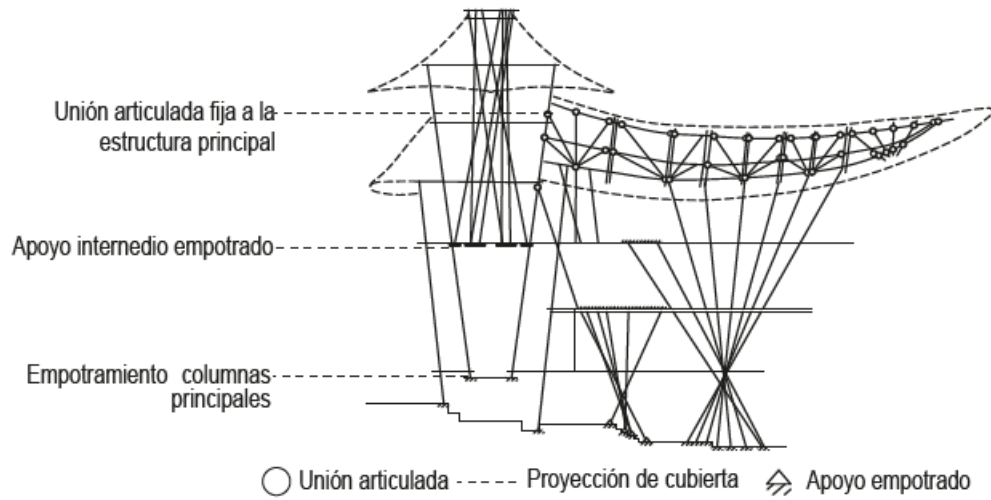
Elaboración propia

**Diagrama de aproximación tipos uniones y apoyos**

**Figura 30**

*Uniones y tipos de apoyos*

Vista lateral



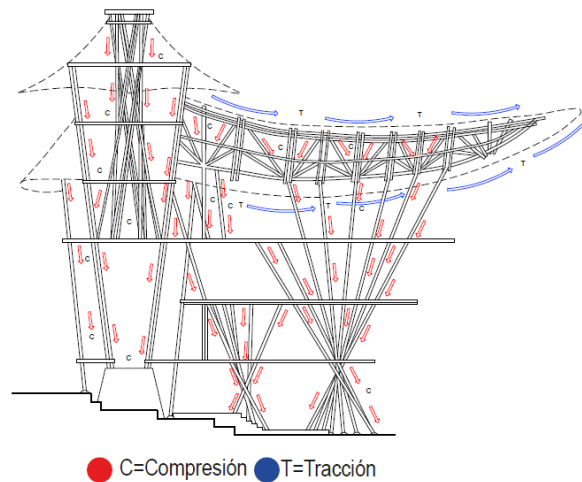
Elaboración propia

**Diagrama de recorrido de cargas**

**Figura 31**

*Transmisión de cargas*

Vista lateral



Elaboración propia

Se encuentra ubicado en Bali (Indonesia), donde se presenta una actividad sísmica media o moderada. Esta edificación se clasifica como una estructura de altura activa, ya que alcanza los seis niveles. Está conformada por un núcleo central estructural que consiste en un hiperboloide, desde donde se despliega un sistema espacial como estructura general de la edificación. Iniciando en una base de sección circular, conformada por bambúes rectos que se despliegan de manera excéntrica hacia la fachada, estos a su vez tienen un radio de giro conformando el hiperboloide, que inicia en el primer piso y continúan su extensión hasta los últimos niveles. Las cubiertas están conformadas por bambúes inclinados que se apoyan en la estructura principal, que constan de tejas planas de bambú, que hace las veces de envoltente.

**Proyecto: Hotel extensión ampliación de hotel****Figura 32**

*Hotel extensión ampliación de hotel*

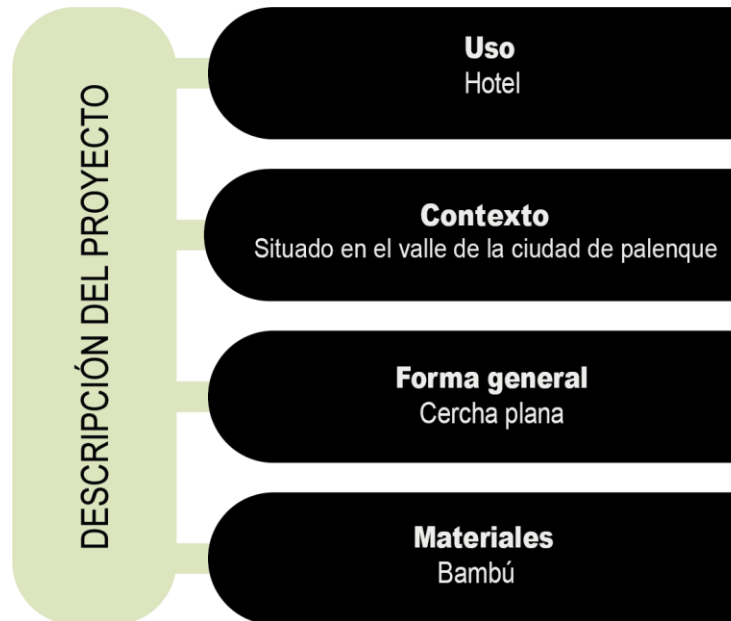


Tomado de "Hotel extensión/ Ampliación de hotel" por Bambusa espinosa. 2016. (<https://bit.ly/3yG5fNk>)

- Arquitectos: Bambusa Espinosa
- Arquitecto encargado: Benito Espinosa
- Fotografías: Grupo Bamubusa
- Área 120 m<sup>2</sup>
- Año: 2016
- Ciudad: México, Palenque

**Figura 33**

*Descripción del proyecto Hotel extensión ampliación de hotel*

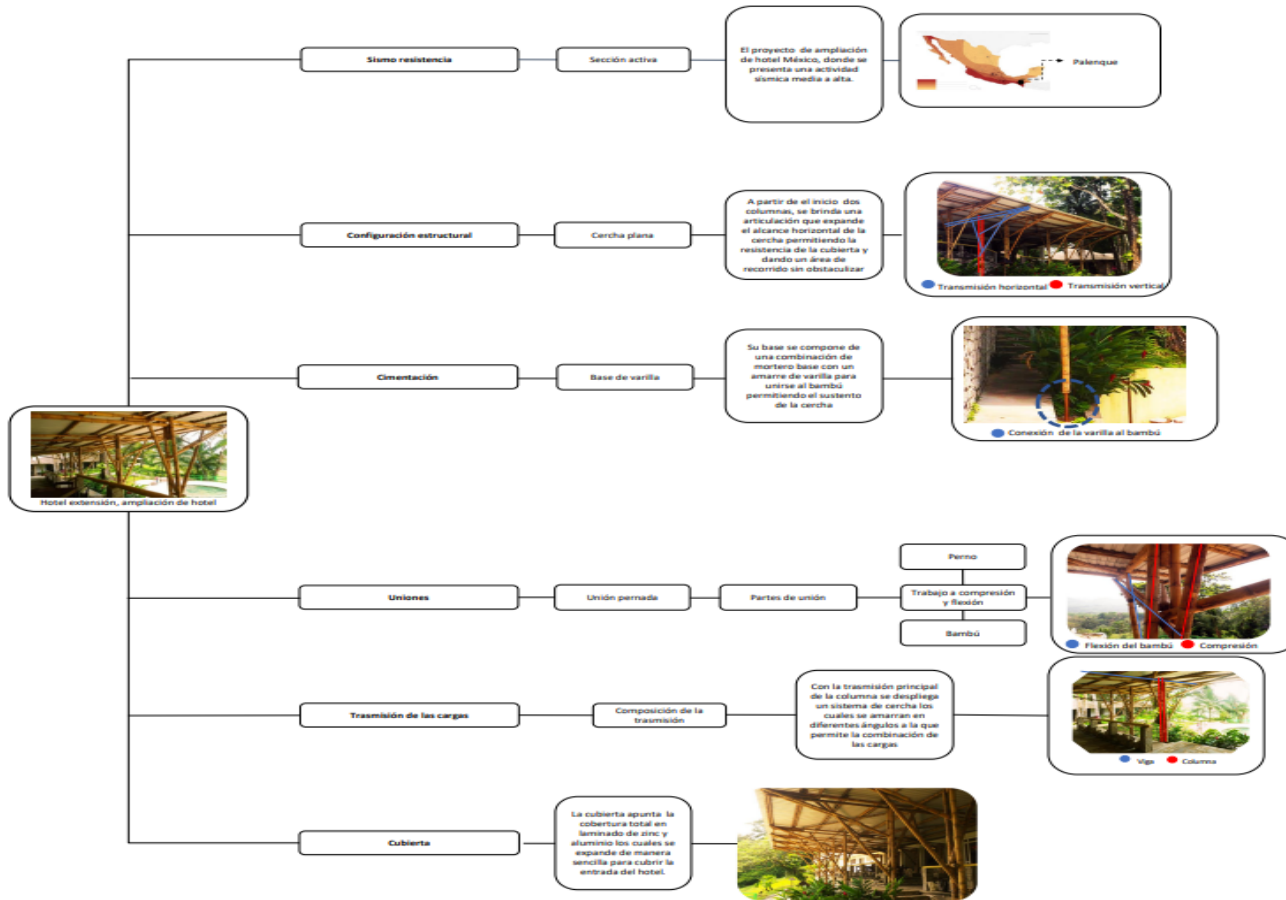


Adapatado de "Hotel extension / Ampliación del hotel" por Bambusa Espinosa. 2016. <https://bit.ly/3SA5xMM>

**Análisis del funcionamiento estructural del sistema**

**Figura 34**

*Análisis estructural Hotel extensión ampliación de hotel*



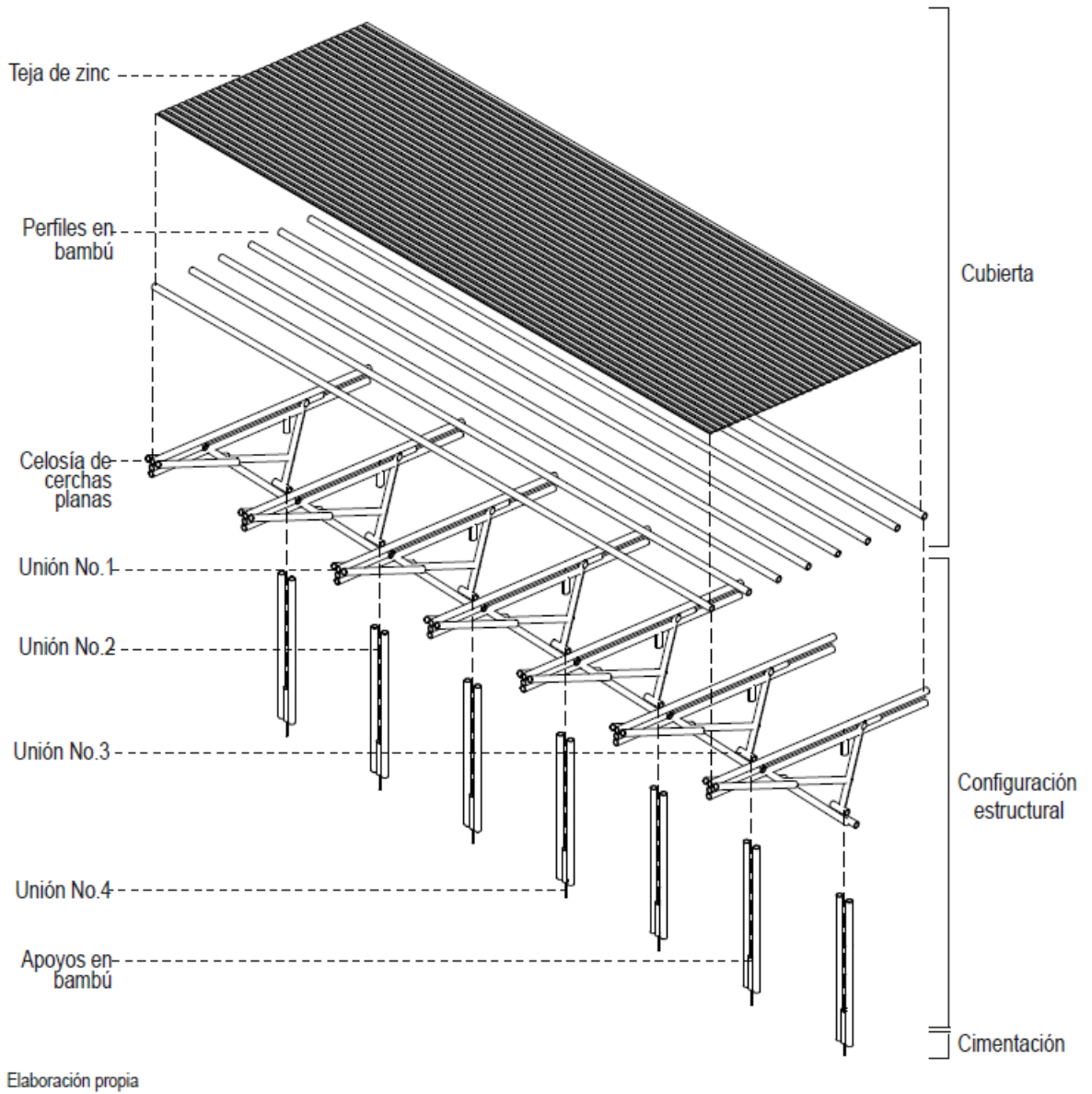
Elaboración propia



*Modelamiento para el análisis de detalles y uniones*

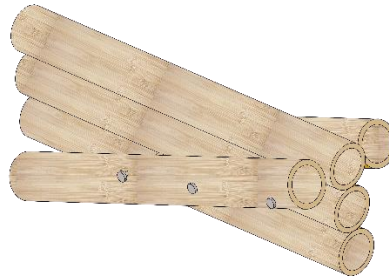
**Figura 35**

*Axonometría Hotel extensión ampliación de hotel*



**Figura 36**

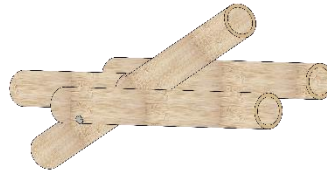
*Unión No.1*



Elaboración propia

**Figura 37**

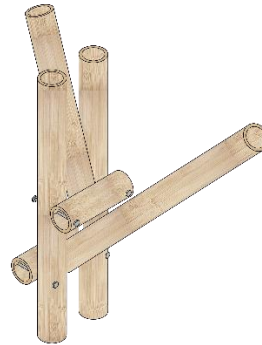
*Unión No.2*



Elaboración propia

**Figura 38**

*Unión No.3*



Elaboración propia

**Figura 39**

*Unión No.4*



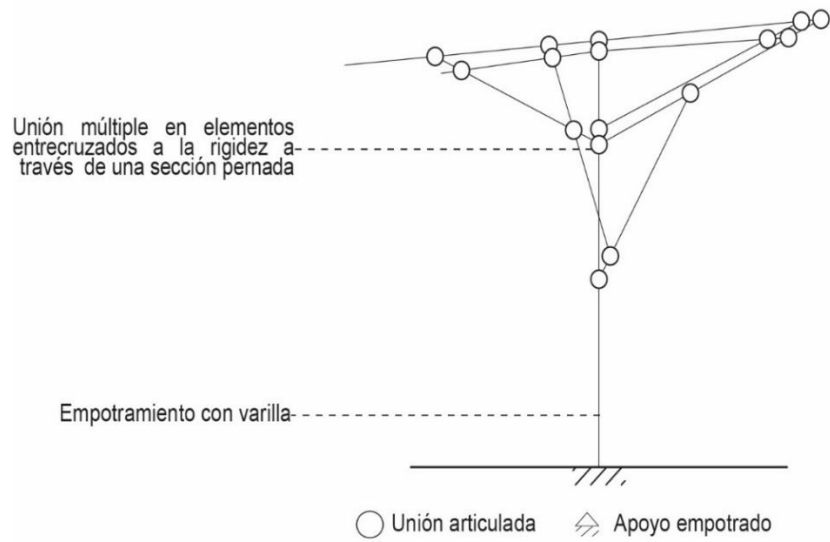
Elaboración propia

**Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos**

**Figura 40**

*Uniones y tipos de apoyos*

Vista lateral



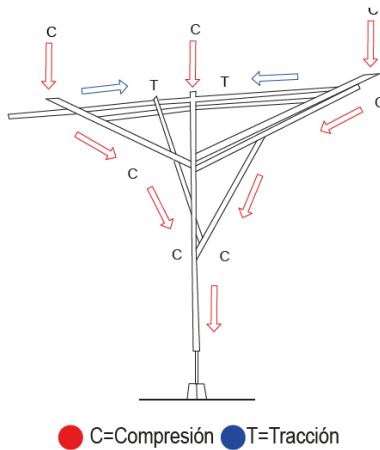
Elaboración propia

**Diagrama recorrido de cargas**

**Figura 41**

*Transmisión de cargas*

Vista lateral



Elaboración propia

El proyecto está ubicado en Palenque (México), donde se presenta una actividad sísmica baja. Es una extensión de la cubierta que se muestra como vector activo “consiste en una secuencia estructural de 7 cerchas de bambú en paralelo que se van adaptando a la pendiente del terreno en el que se apoyan y que cubren una superficie de unos 20 x 6 metros, 120 metros cuadrados” (Bambusa Espinosa, 2016, párr. 4).

Cubierta de teja de zinc y aluminio, apoyada en una estructura de cerchas y a su vez en columnas de dos bambúes, con uniones rígidas conformadas por pernos y bambúes sometidos a cargas de tracción y compresión, que son transmitidas a la cimentación aislada de placas y varillas que funcionan como aislamiento entre el suelo natural y el bambú.

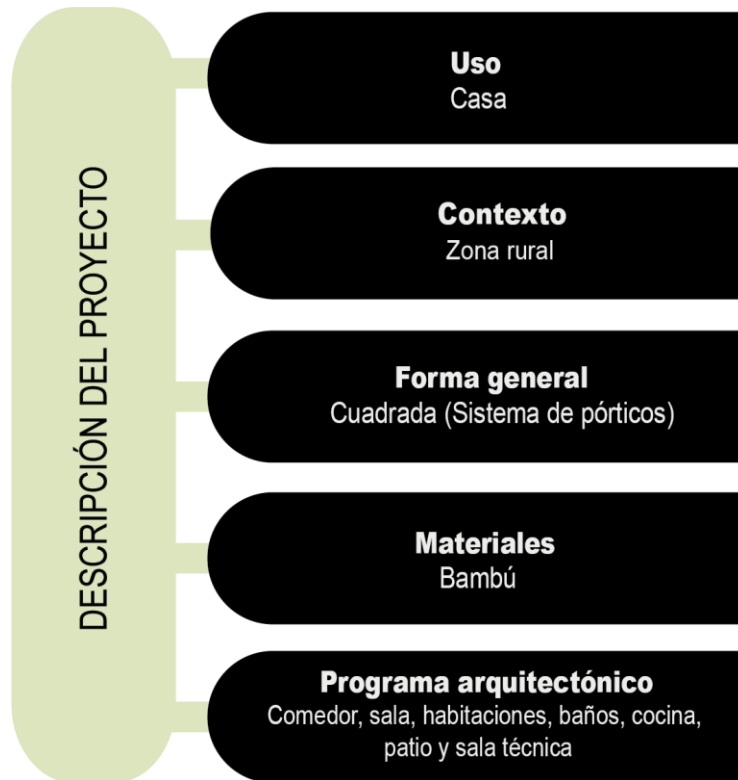
**Proyecto: Casa sostenible en bambú****Figura 42***Casas Sostenible en bambú*

Tomado de "Energy Efficient Bamboo House / Studio Cardenas Conscious Design" por Arch Daily Colombia. 2017. (<https://bit.ly/3wAYBXA>)

- Arquitectos: Studio Cardenas Conscious Design
- Arquitecto encargado: Mauricio Cardenas Laverde
- Supervisión de la construcción: Kangye Architecture and Interior Design Institute, Shanghai
- Fotografías: LIB – Longquan International Bamboo Commune
- Área: 320 m2
- Año: 2016
- Ciudad: China, Lishui

**Figura 43**

*Descripción del proyecto Casa sostenible en bambú*

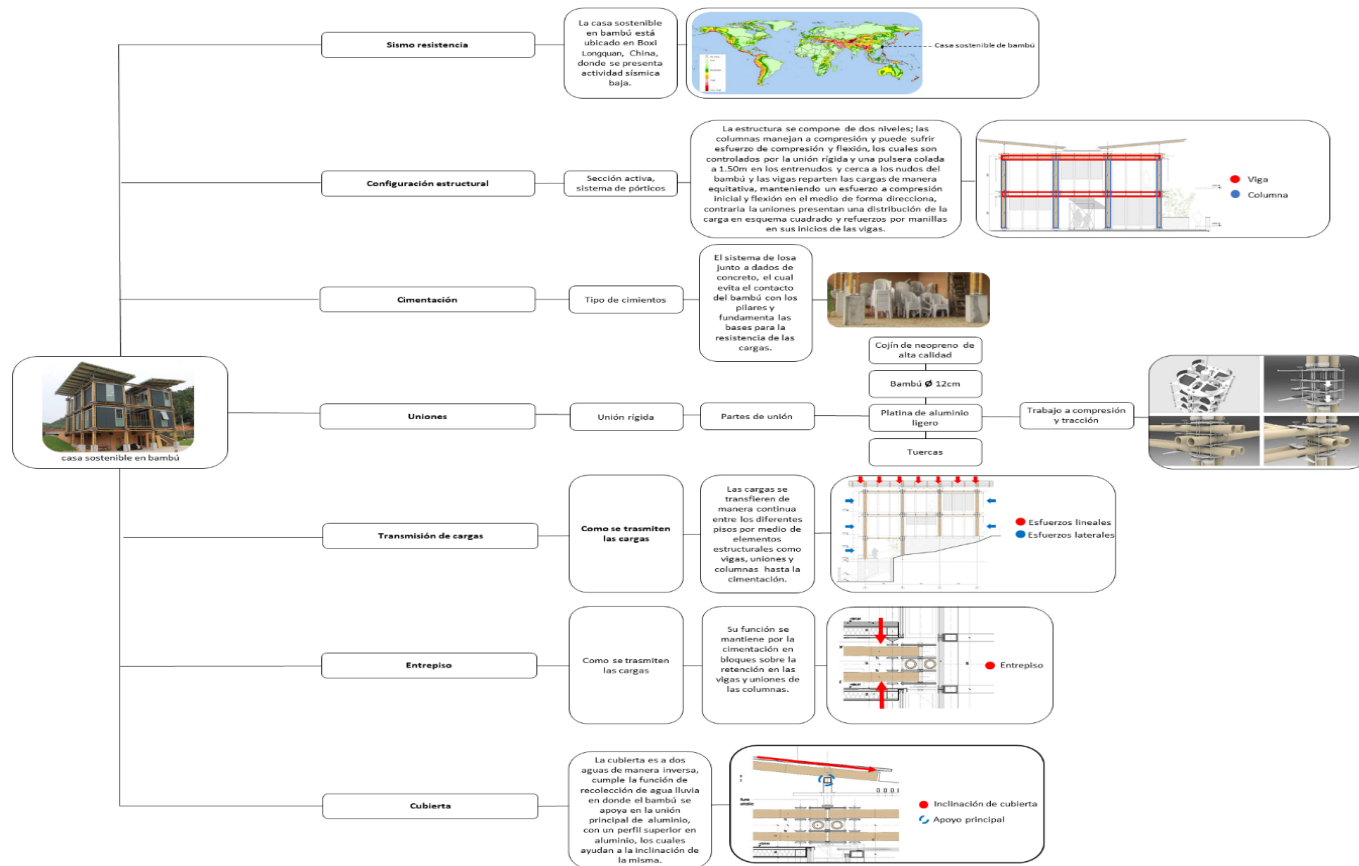


Adaptado de "Casa de bambú bajo consumo" por Archello. s.f. <https://bit.ly/3e9eUnJ>

**Análisis del funcionamiento estructural del sistema**

**Figura 44**

**Análisis estructural casa sostenible de bambú**



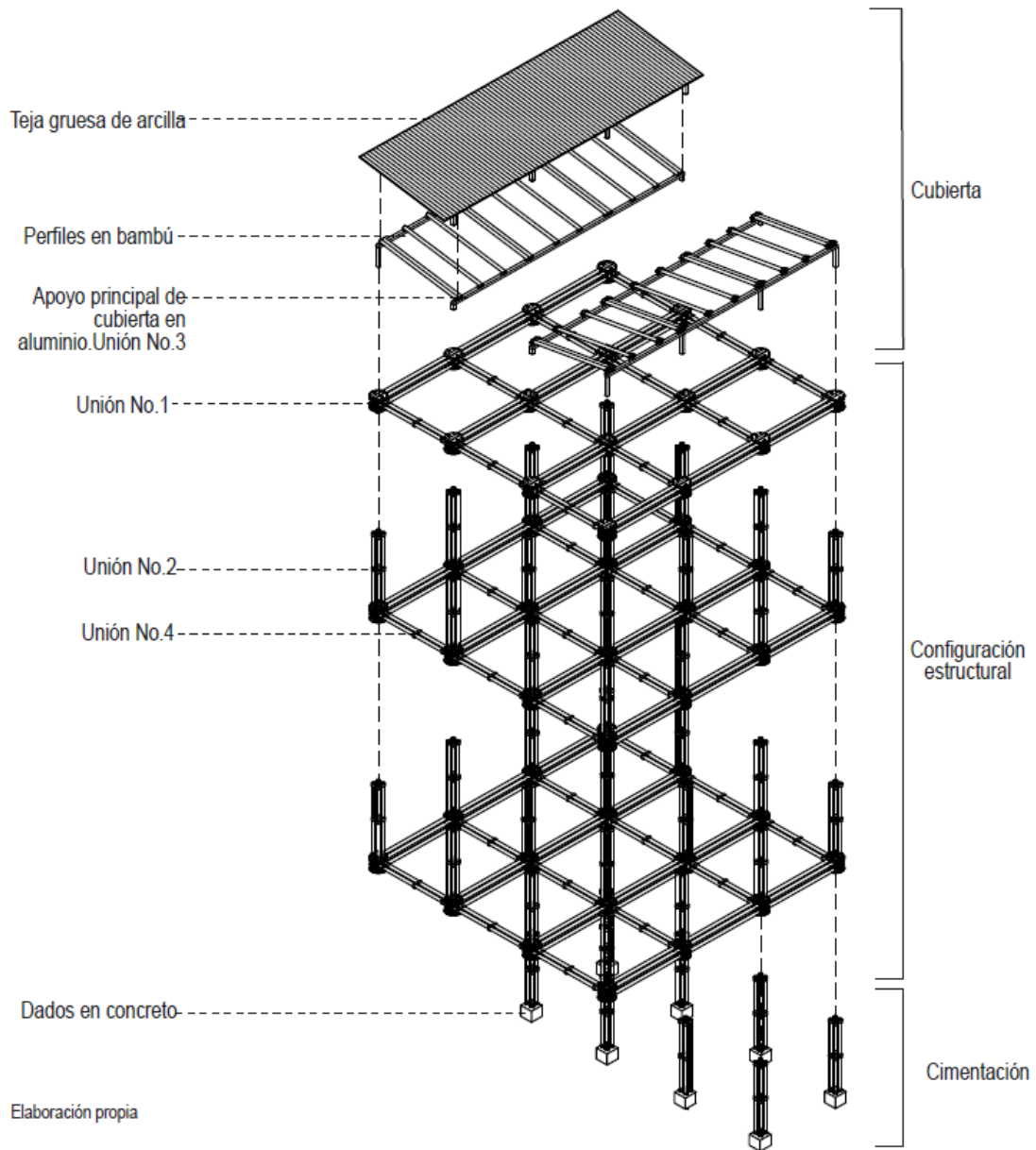
Elaboración propia



*Modelamiento para el análisis de detalles y uniones*

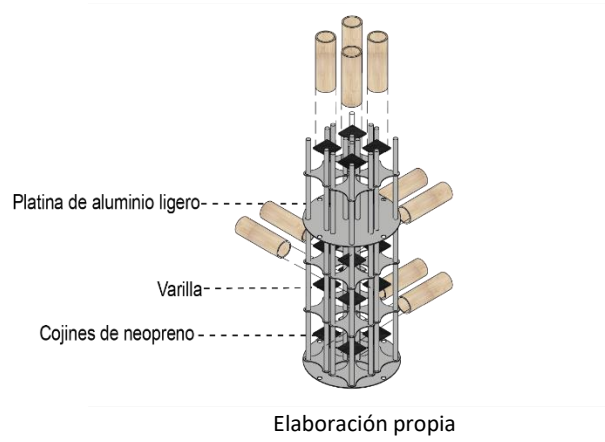
**Figura 45**

*Axonometría Casa sostenible en bambú*



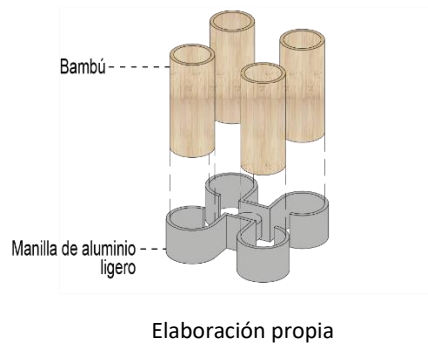
**Figura 46**

*Unión No.1*



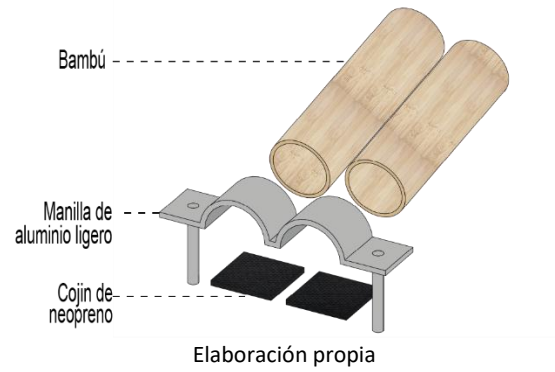
**Figura 47**

*Unión No.2*



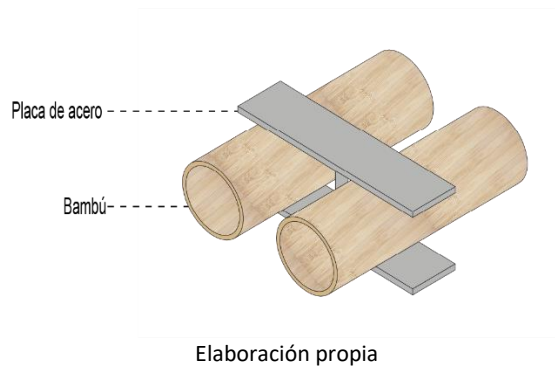
**Figura 48**

*Unión No.3*



**Figura 49**

*Unión No.4*

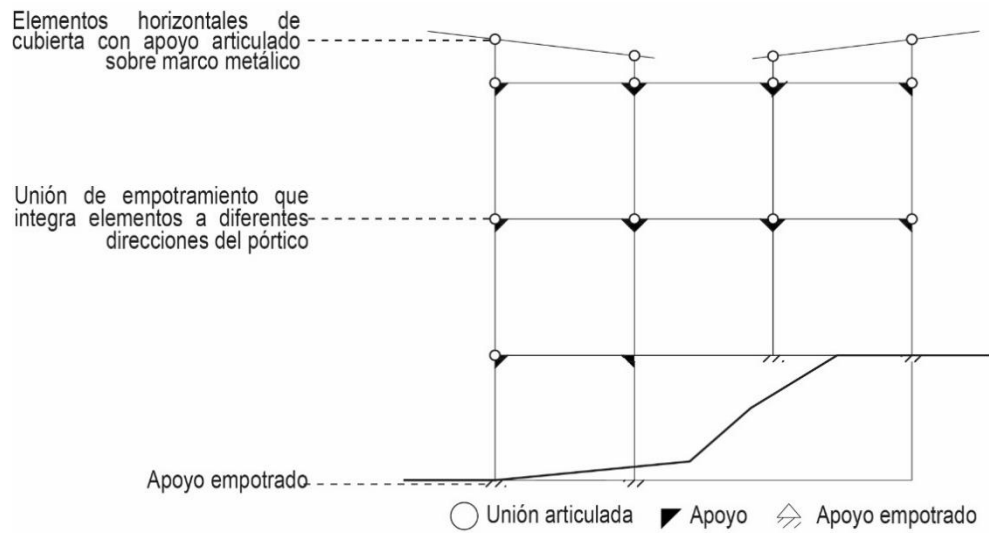


***Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos***

**Figura 50**

*Uniones y tipos de apoyos*

Vista lateral



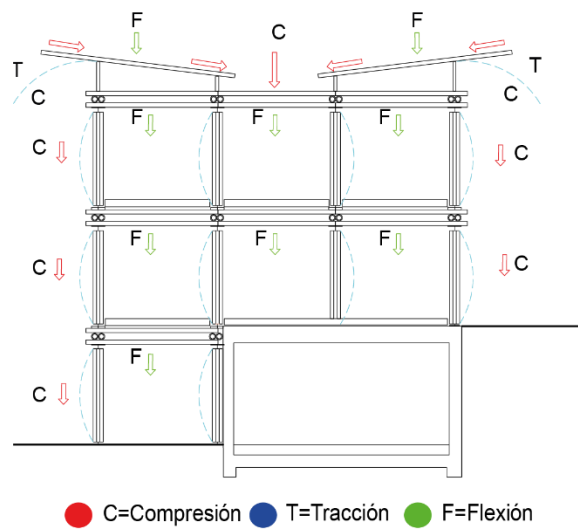
Elaboración propia

**Diagrama de recorrido de cargas**

**Figura 51**

*Transmisión de cargas*

Vista lateral



Elaboración propia

El proyecto está ubicado en Boxi, Longquan (China), donde se presenta una actividad sísmica baja, que favorece la altura y el uso del material en la edificación. Esta se clasifica como sección activa conformada por un sistema de pórticos, constituido por columnas y vigas que por medio de la unión No.1 de platinas de aluminio ligero, varillas y cojines de neopreno, funciona como empotramiento para los diferentes elementos que se entrecruzan. Las vigas constan de cuatro bambúes sujetos cada uno a 1.50m por manillas de acero, que también conforman el entrepiso que soporta a cargas de flexión, compresión y tracción. Las columnas están conformadas también por cuatro bambúes que tienen uniones cada 1.50m para evitar el pandeo y dar soporte en las vigas permitiendo la transmisión de cargas a la cimentación la cual está conformada por dados de concreto los cuales evitan el contacto directo del bambú con el suelo natural y el deterioro del material.

**Proyecto: Galería la ceiba**

**Figura 52**

*La Ceiba*

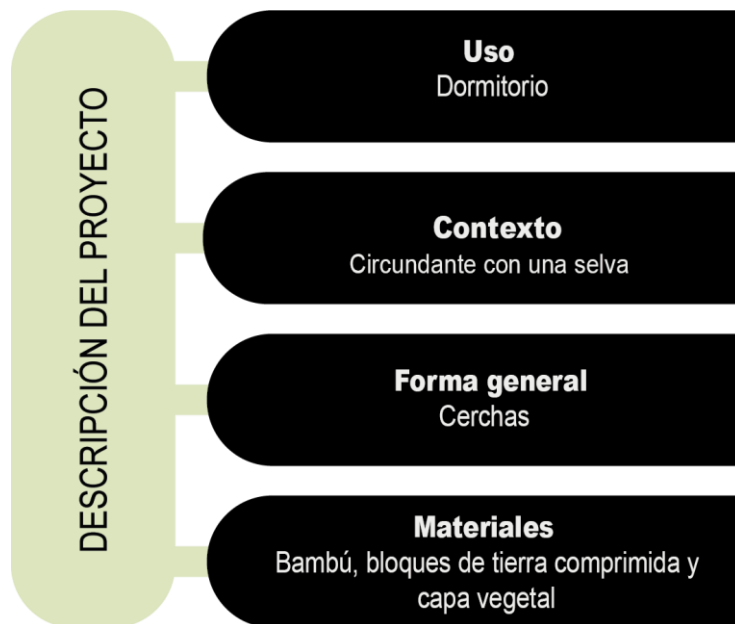


Tomado de "La Ceiba/ Lucia Aguilar Arquitectos" por Arch Daily. México. 2018. (<https://bit.ly/3wt4jJA>).

- Arquitectos: Lucia Aguilar Arquitectos
- Arquitecto encargado: Lucia Aguilar
- Supervisión de la construcción: Jorg Stamm
- Fotografías: Lucia Aguilar
- Área: 250 m2
- Año: 2016
- Ciudad: México, Palenque

Figura 53

Descripción del proyecto Galería la ceiba

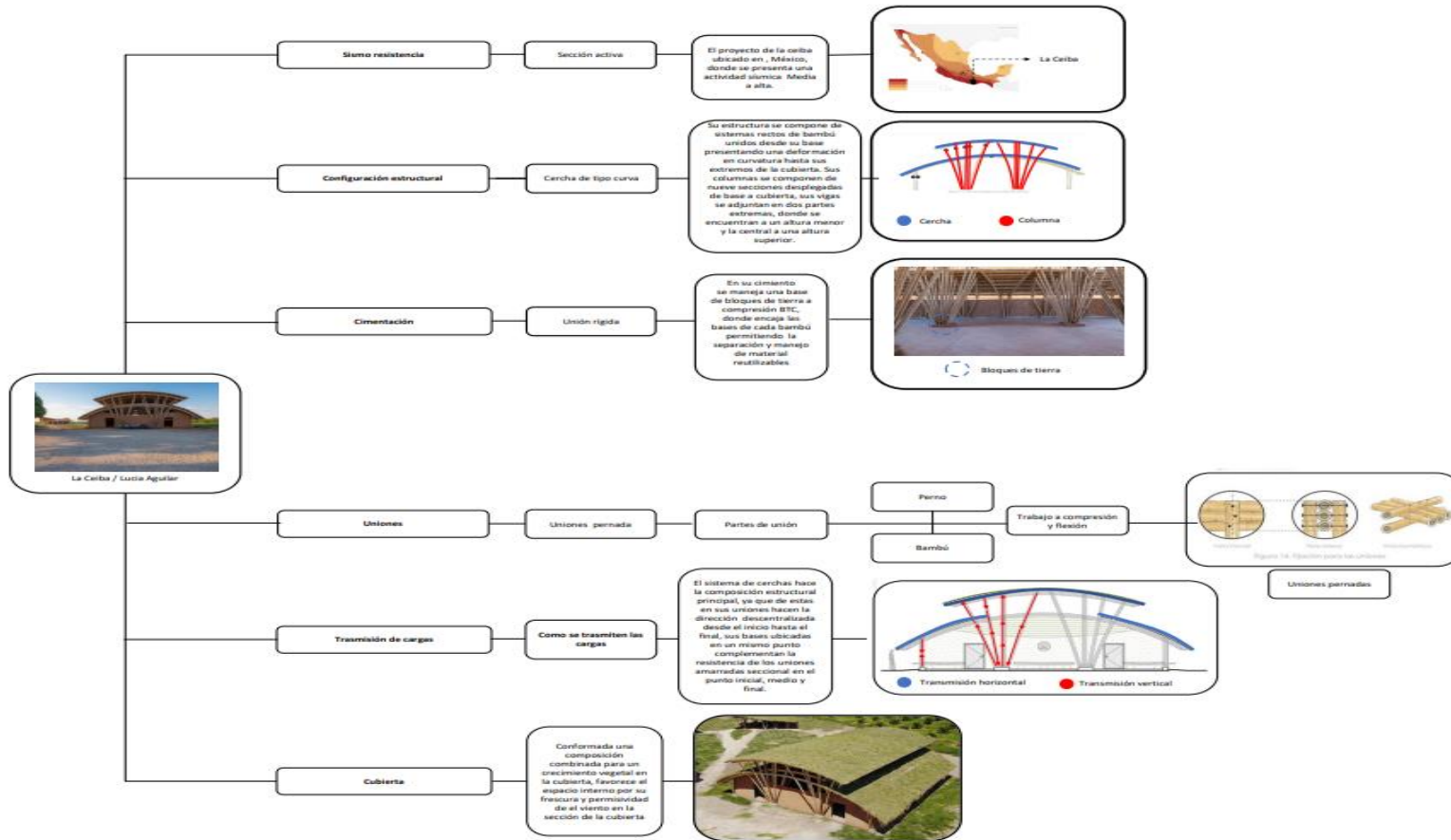


Adaptado de "Lucila Aguilar Arquitectos" por L. Aguilar. 2018. <https://bit.ly/3Cy9coQ>

**Análisis del funcionamiento estructural del sistema**

**Figura 54**

**Análisis estructura La Ceiba**

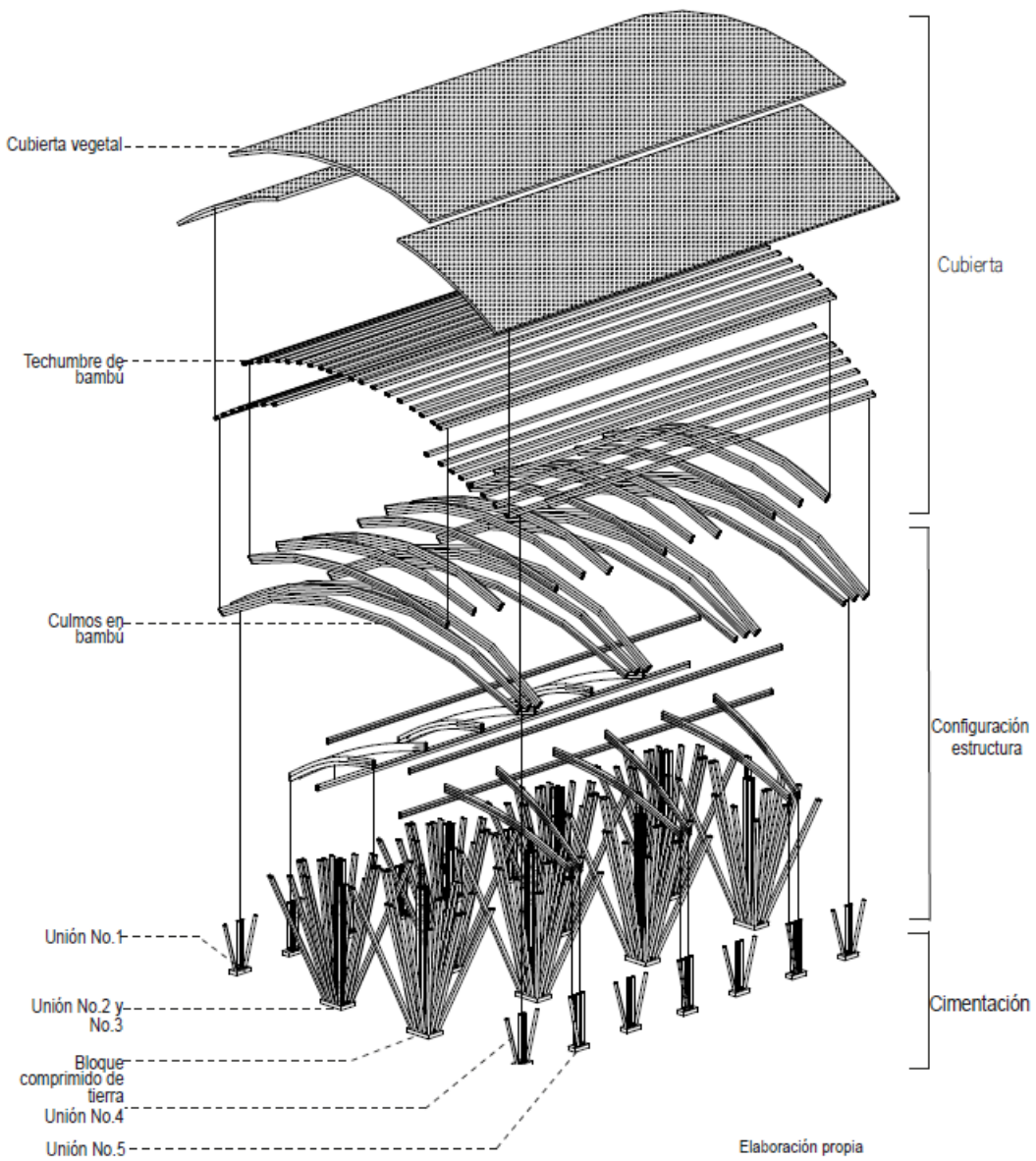


Elaboración propia

*Modelamiento para el análisis de detalles y uniones*

Figura 55

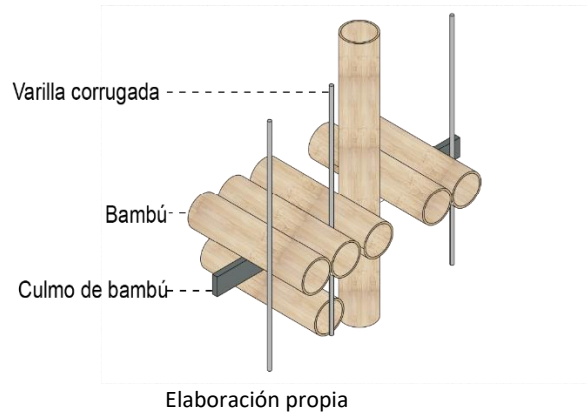
*Axonometría Galería la ceiba*





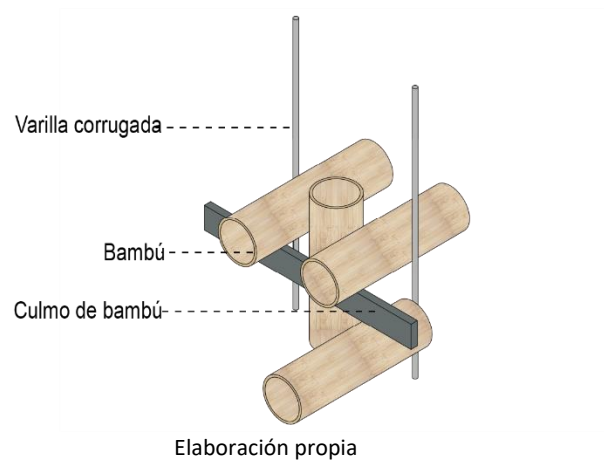
**Figura 56**

*Unión No.1*



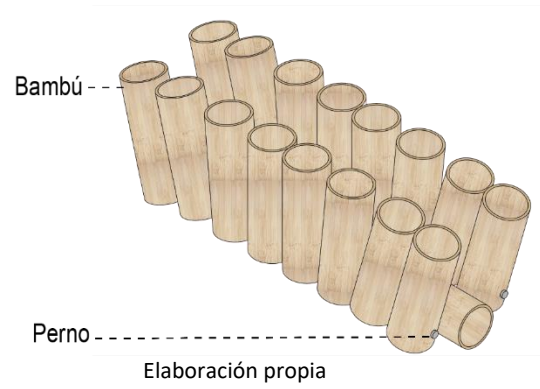
**Figura 57**

*Unión No.2*



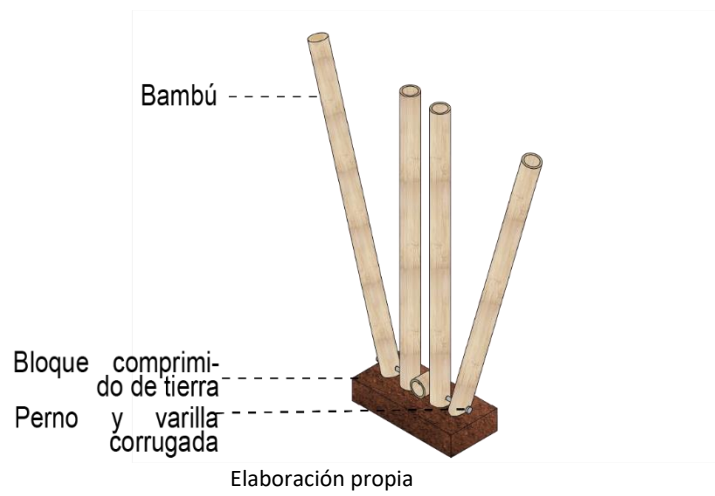
**Figura 58**

*Unión No.3*



**Figura 59**

*Unión No.4*



**Figura 60**

*Unión No.5*

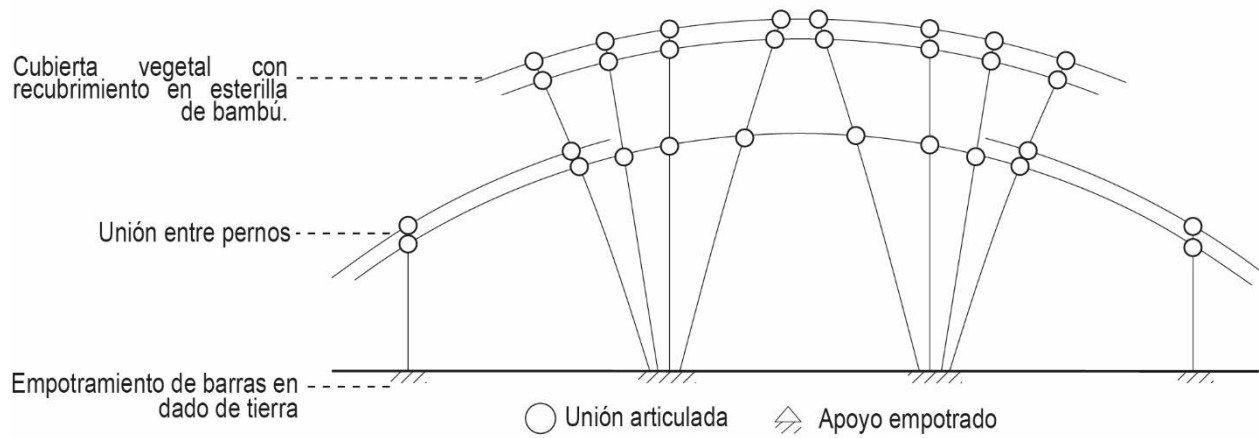


**Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos**

**Figura 61**

*Uniones y tipos de apoyos*

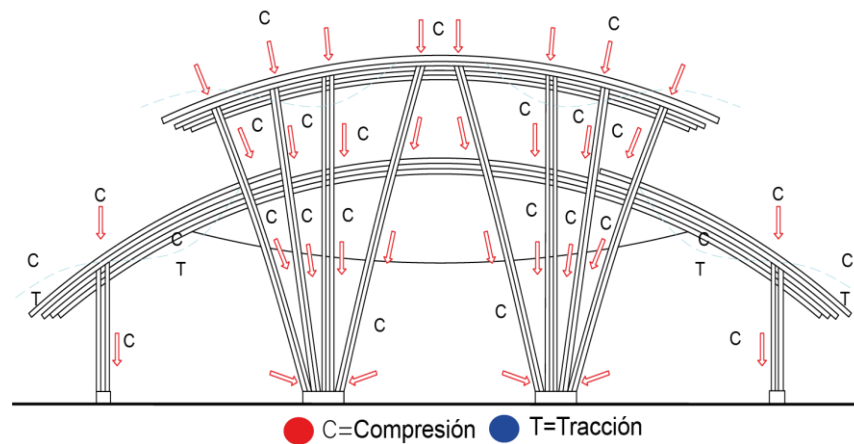
Vista frontal



Elaboración propia

**Diagrama recorrido de cargas****Figura 62***Transmisión de cargas*

Vista frontal



Elaboración propia

Ubicado en México donde se presenta una actividad sísmica baja. El proyecto se clasifica como vector activo y sección activa conformado por una cubierta de cerchas planas que funcionan como marcos rígidos inclinados los cuales se ubican de manera central y lateral, apoyados en las columnas que se componen de nueve secciones desplegables y las vigas se juntan en dos partes, en diferente altura, que trabajan a compresión y tracción, continuando así la trasmisión de cargas por la cimentación con un sistema de anclajes de varillas lateral junto con el culmo principal.

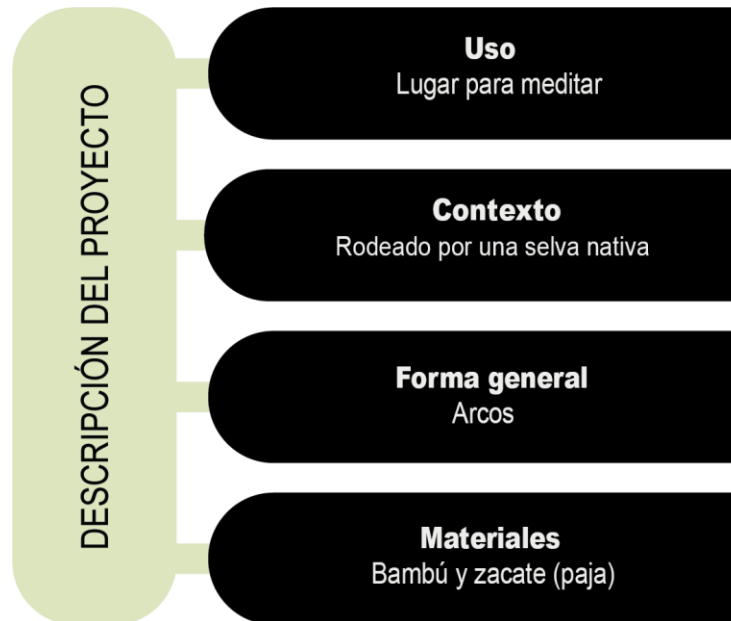
**Proyecto: Templo de Luum****Figura 63***Templo de Luum*

Tomado de "Templo luum / CO-LAB Design Office" por Arch Daily Colombia.2019. (<https://bit.ly/3qrtXvN>).

- Arquitectos: CO-LAB Desing Office
- Ing. encargado: Esteban Morales
- Supervisión de la construcción: Arquitectura Mixtas: Supervisión Constructiva
- Fotografías: Cesar Beja, Pakal Egger and Tonatuih Egger
- Área: 250 m2
- Año: 2019
- Ciudad: México, Tulum

**Figura 64**

*Descripción del proyecto Templo de luum*

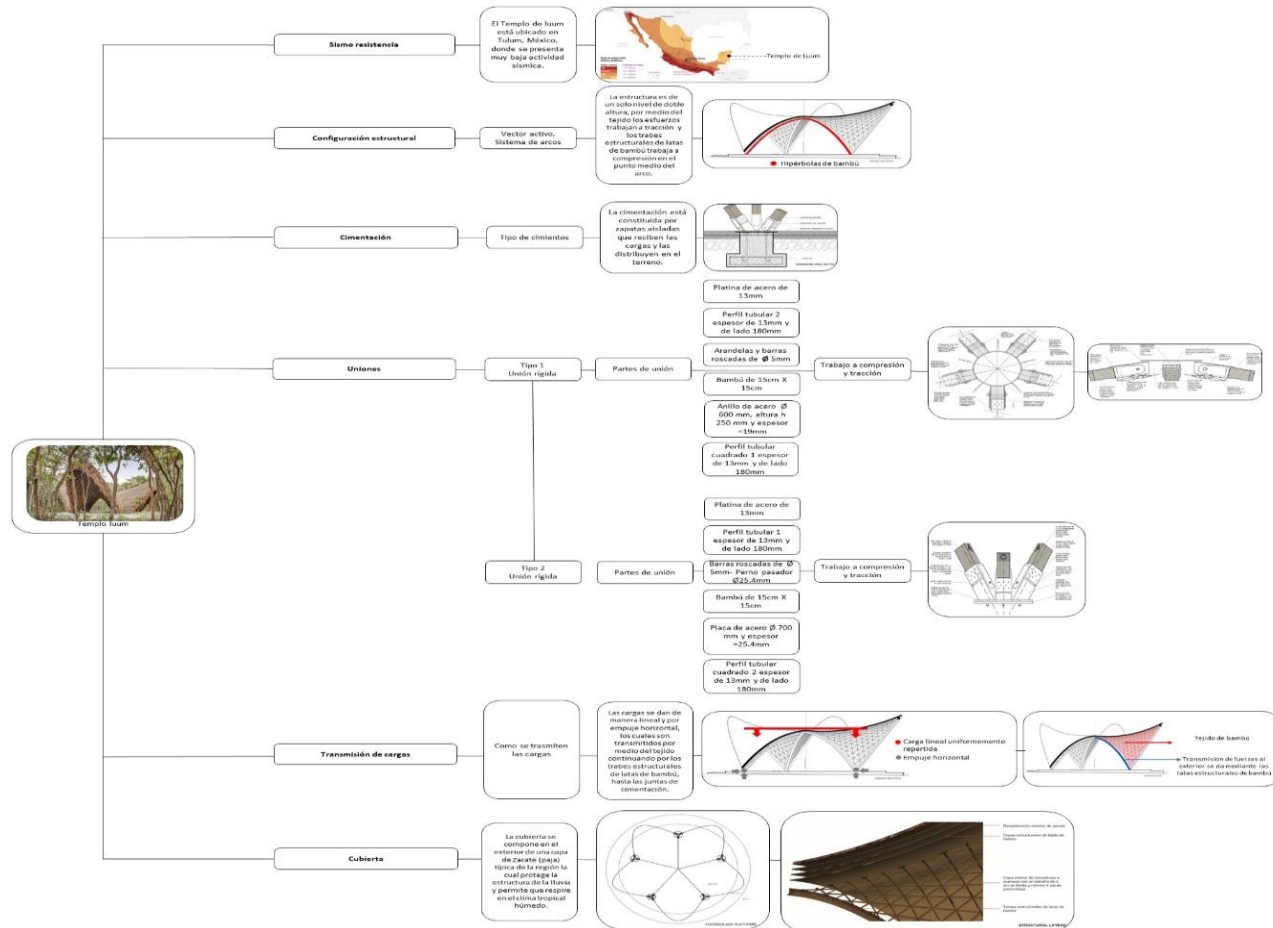


Adaptado de "Templo de Luum / CO – LAB Desing office" por Arch Daily. 2019. <https://bit.ly/3EhGEBp>

**Análisis del funcionamiento estructural del sistema**

**Figura 65**

**Análisis estructura Templo de Luum**

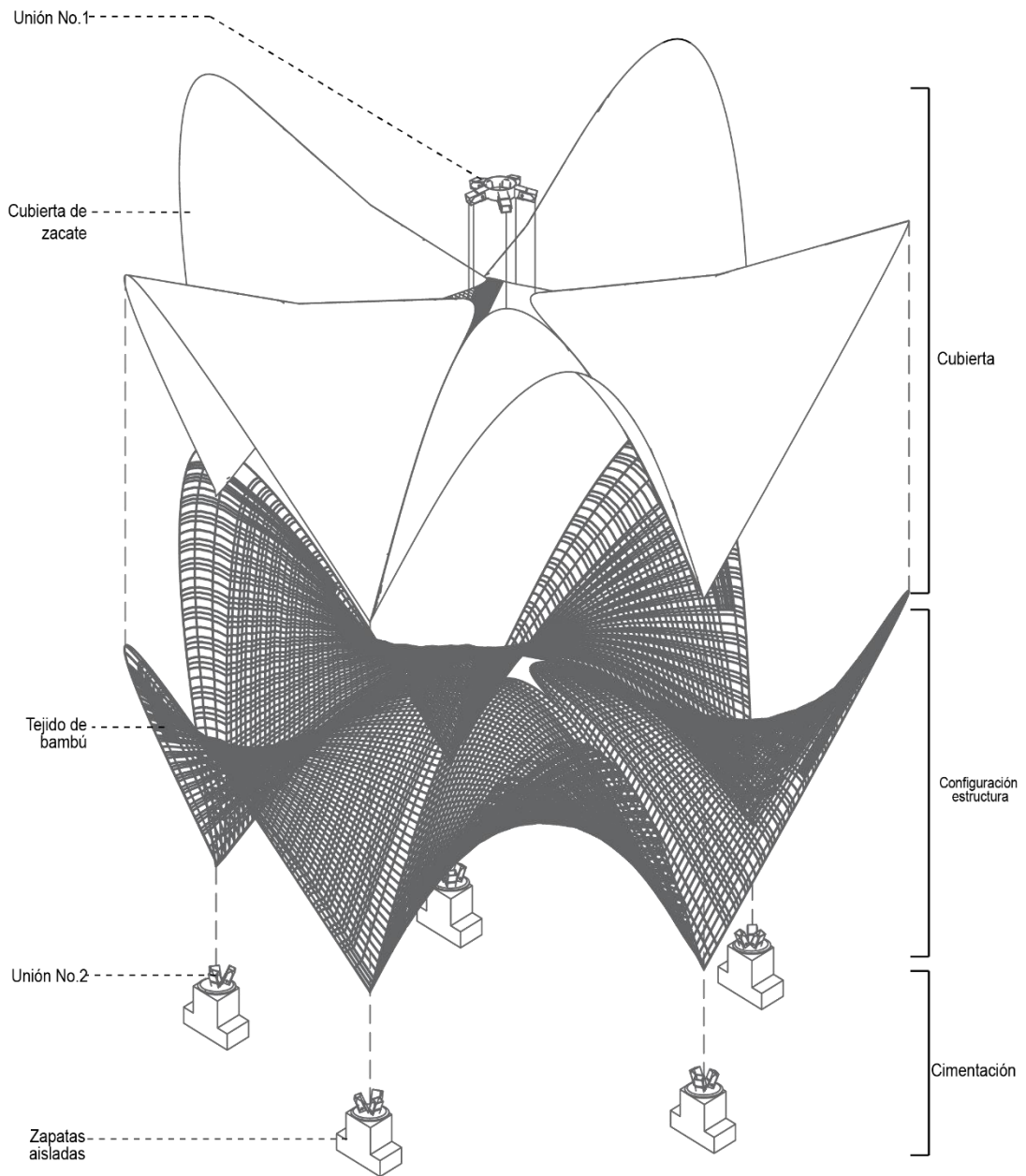


Elaboración propia

**Modelamiento para el análisis de detalles y uniones**

**Figura 66**

*Axonometría Templo de Luum*

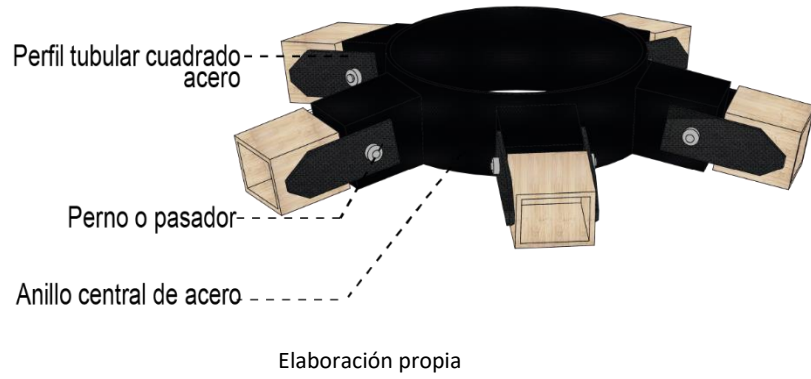


Elaboración propia



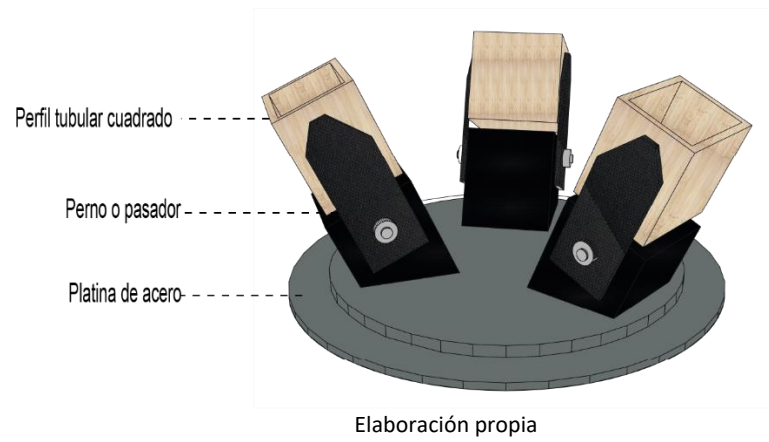
**Figura 67**

*Unión No.1*



**Figura 68**

*Unión No.2*

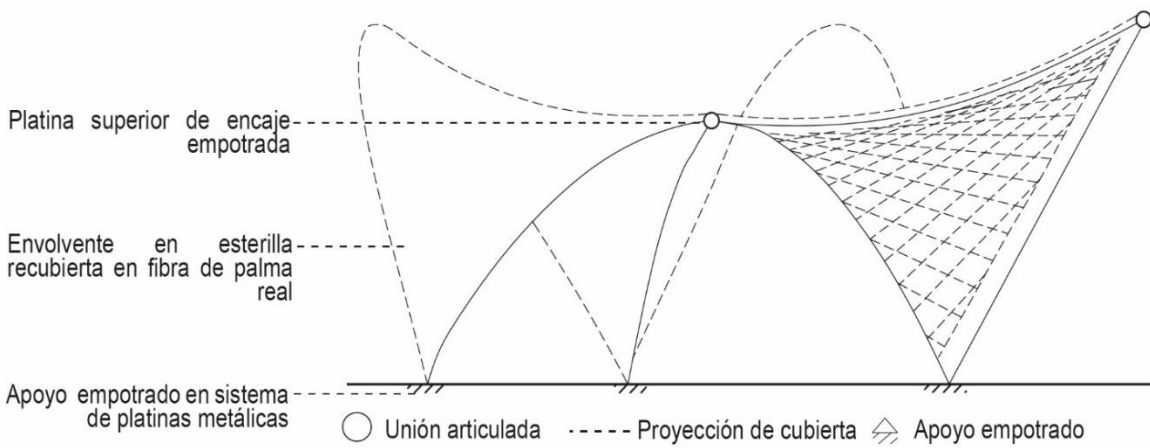


***Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos***

**Figura 69**

*Uniones y tipos de apoyos*

Vista frontal



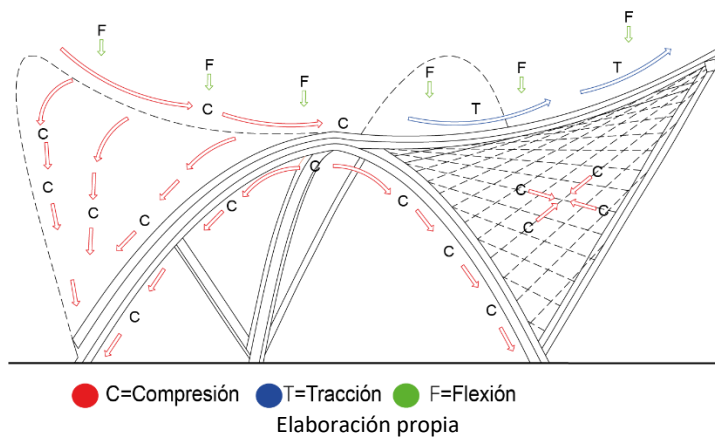
Elaboración propia

**Diagrama transmisión de cargas**

**Figura 70**

*Transmisión de cargas*

Vista frontal



El proyecto está ubicado en Tulum (México), donde se presenta una actividad sísmica baja. El proyecto se clasifica como superficie activa conformado por una serie de arcos, siendo estos la estructura de apoyo para la malla estructural tejida en doble capa, continuo y entrelazado en

direcciones opuestas. Estos están sometidos a cargas de compresión, tracción y flexión, que son transmitidas por las uniones No.1 y No.2 hasta la cimentación de zapatas aisladas.

**Proyecto: Kim Boi Bamboo Restaurant**

**Figura 71**

*Kim Boi Bamboo Restaurant*

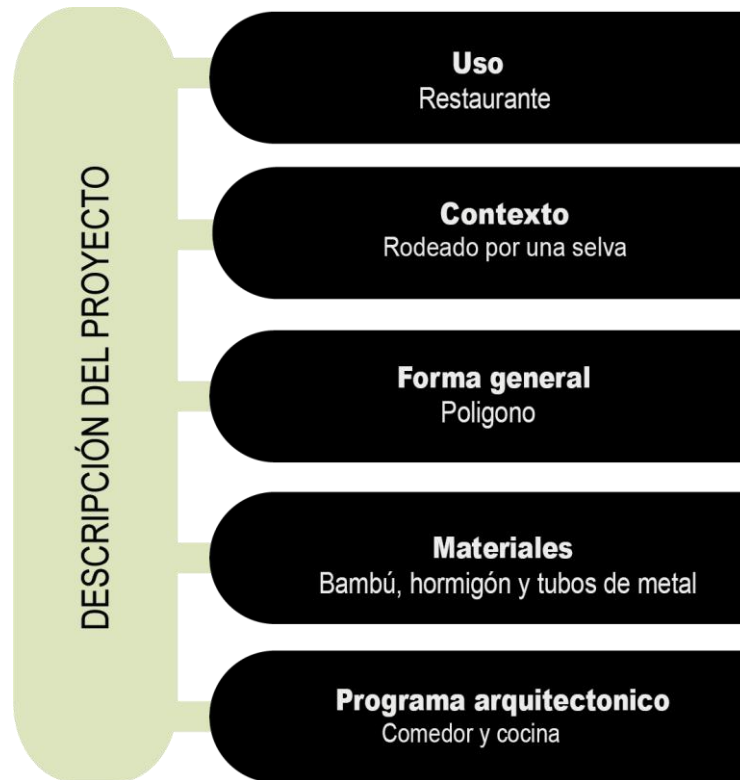


Tomado de "Restaurant Kim Boi Bamboo" por Arch Daily Colombia.2016. (<https://bit.ly/3FL9j0e>)

- Arquitectos: Tran Ba Tiep
- Arquitecto encargado: Tran Ba Tiep
- Fotografías: Hoang Le Photography
- Área 700 m2
- Año: 2016
- Ciudad: Vietnam

**Figura 72**

*Descripción del proyecto Kim Boi Bamboo Restaurant*

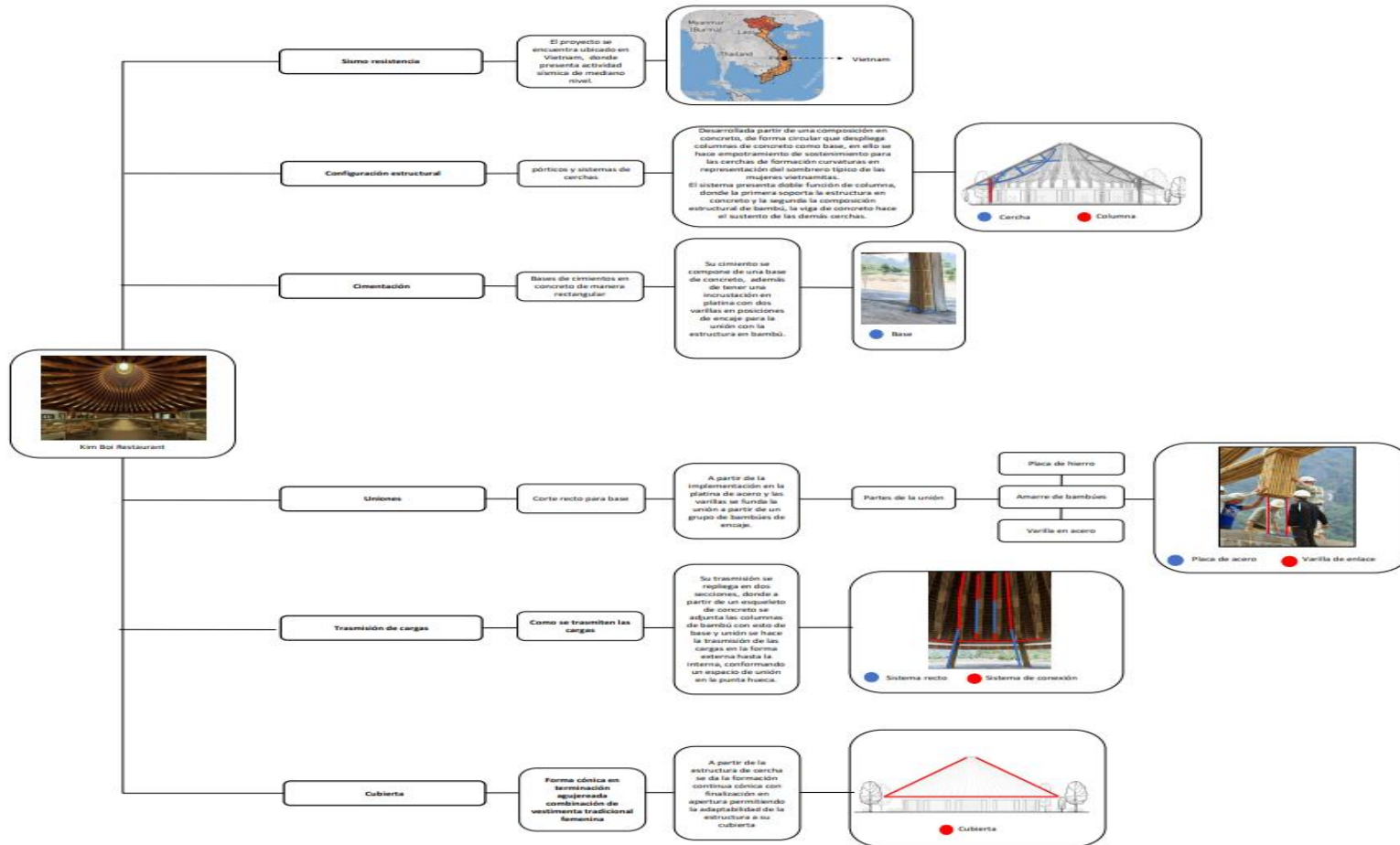


Adaptado de "Restaurant Kim Boi Bamboo" por Arch Daily. 2016. <https://bit.ly/3Cu5MU1>

**Análisis del funcionamiento estructural del sistema**

**Figura 73**

**Análisis estructura de Kim Boi Bamboo Restaurant**

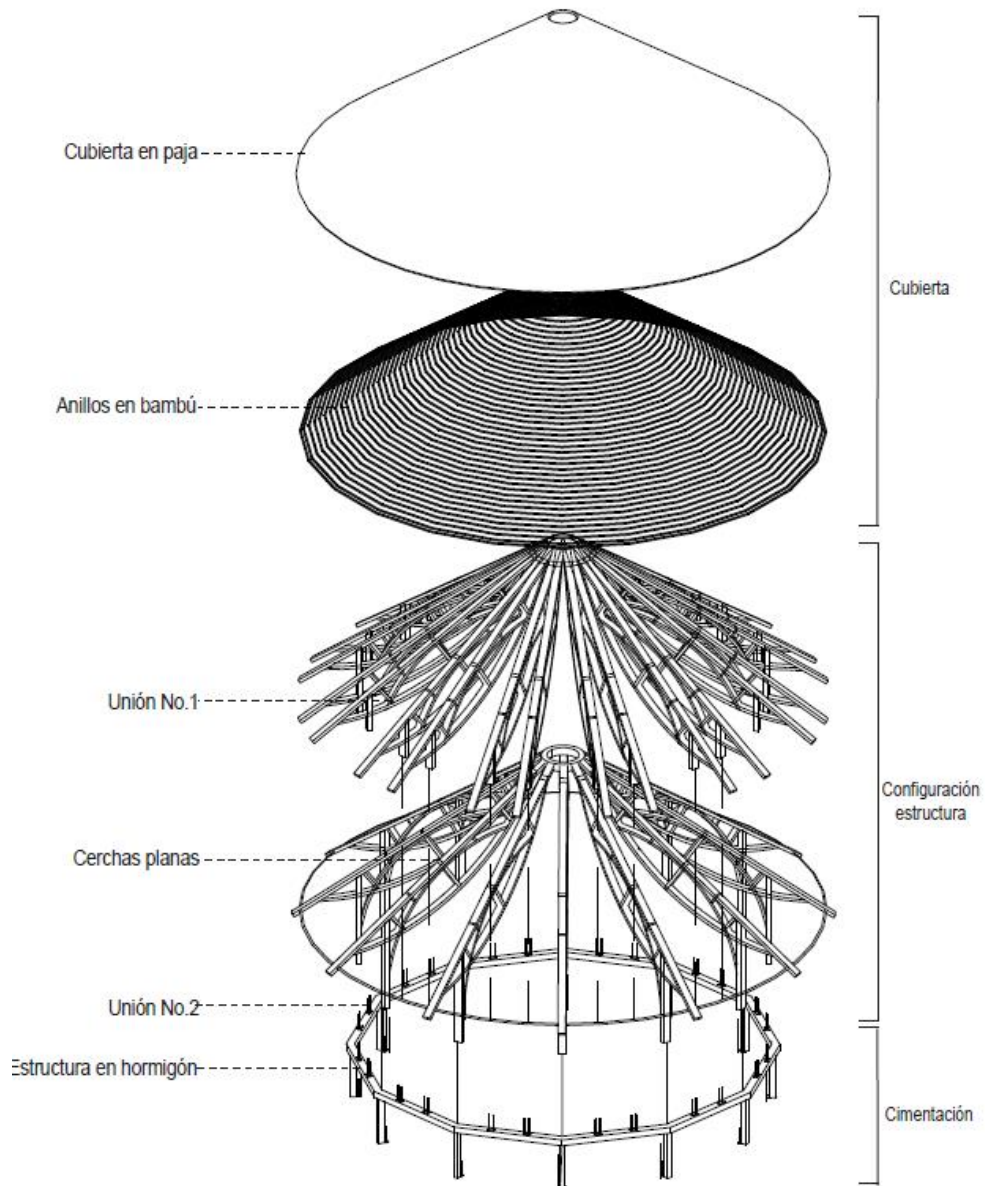


Elaboración propia

*Modelamiento para el análisis de detalles y uniones*

**Figura 74**

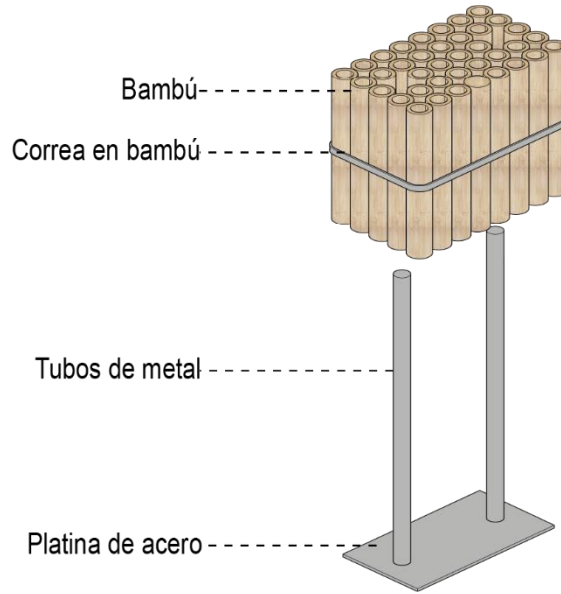
*Axonometría Kim Boi Bamboo Restaurant*



Elaboración propia

**Figura 75**

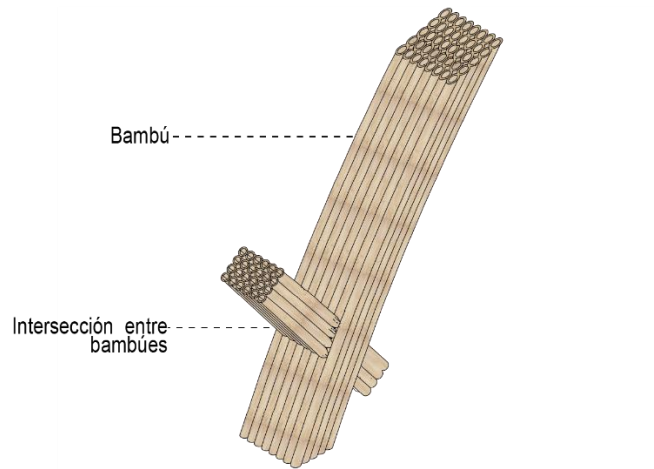
*Unión No.1*



Elaboración propia

**Figura 76**

*Unión No.2*



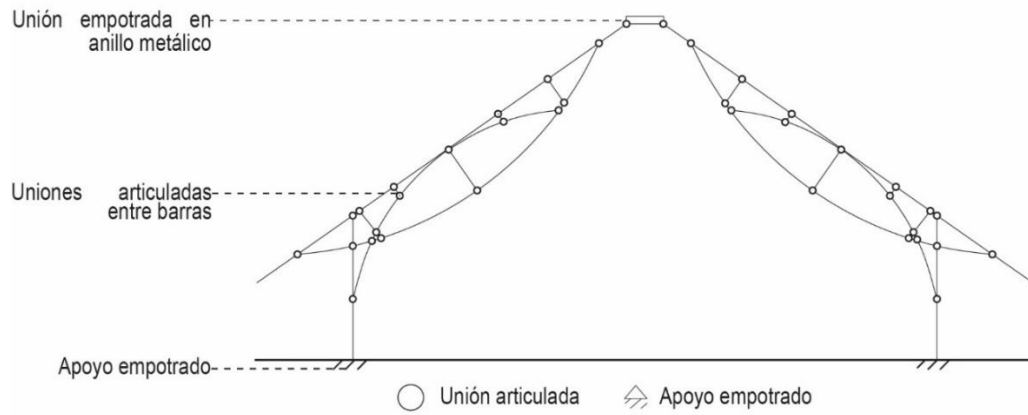
Elaboración propia

**Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos**

**Figura 77**

Uniones y tipos de apoyos

Vista frontal



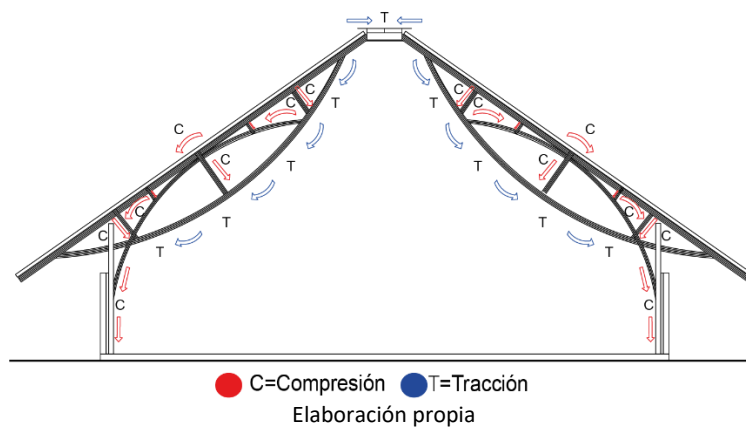
Elaboración propia

**Diagrama recorrido de cargas**

**Figura 78**

Transmisión de cargas

Vista frontal





Ubicado en Vietnam, donde se presenta una actividad sísmica moderada. El proyecto se cataloga como vector activo conformado por un polígono de doce lados, con una estructura principal de hormigón de columnas y vigas de esta se despliega una estructura secundaria la cual soporta la cubierta de forma cónica, conformada por 12 marcos cerchas concéntricas de bambú algunas se apoyan sobre una viga horizontal de borde y algunas otras llevan su apoyo directamente al pedestal de soporte en el suelo, estas están sometidas a cargas de compresión y tracción las cuales son transmitidas por las diferentes uniones y a la cimentación superficial de concreto.

**Proyecto: Museo Nómada**

**Figura 79**

*Museo Nómada de Simón Vélez*

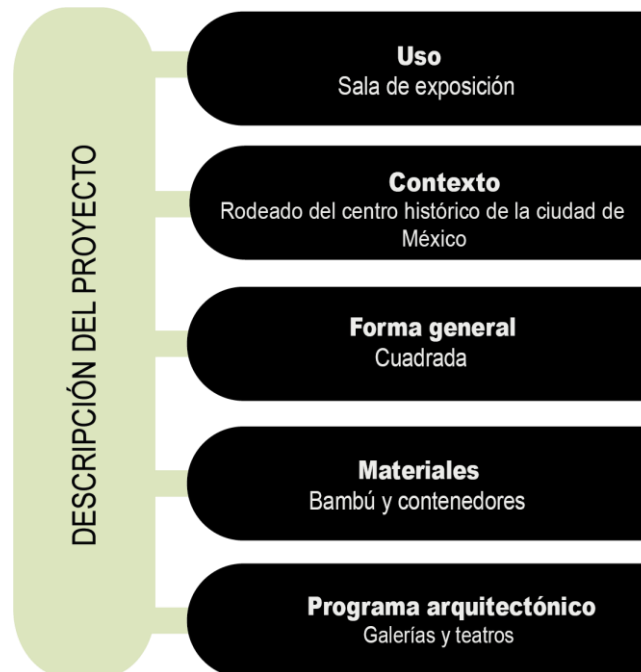


Tomado de "Arquitectura en bambú: la obra de Simón Vélez" por Arch Daily, 2013. (<https://bit.ly/3Li2kNi>)

- Arquitectos: Simón Vélez
- Ciudad: Zocalo, Ciudad de México
- Área: 5.130 m<sup>2</sup>
- Año: 2008

**Figura 80**

*Descripción del proyecto Museo Nómada*

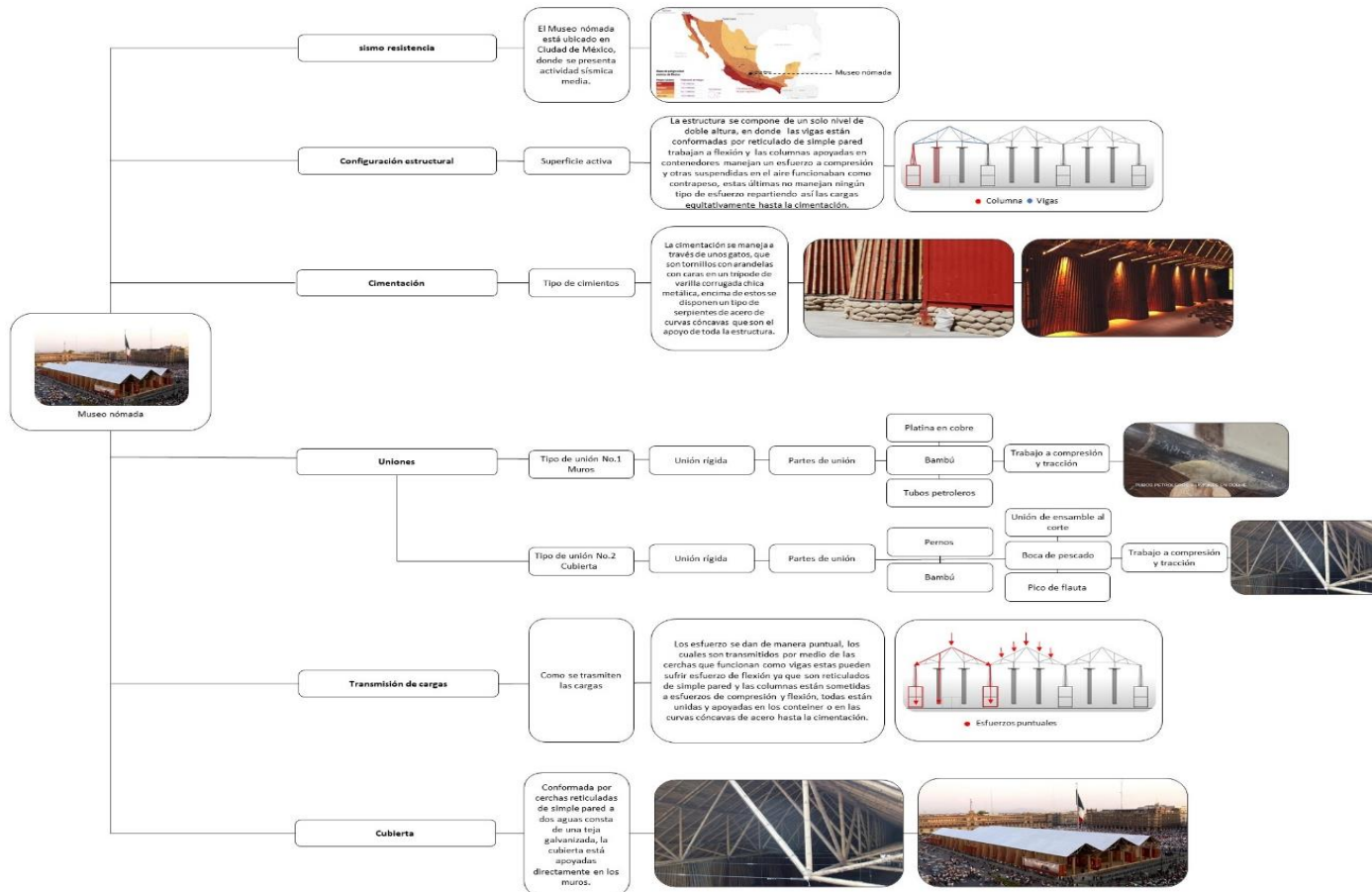


Adaptado de "Arquitectura en Bambú; la obra de Simón Vélez" por Arch Daily. 2013. <https://bit.ly/3yfDUK5>

**Análisis del funcionamiento estructural del sistema**

**Figura 81**

**Análisis estructural Museo Nómada**

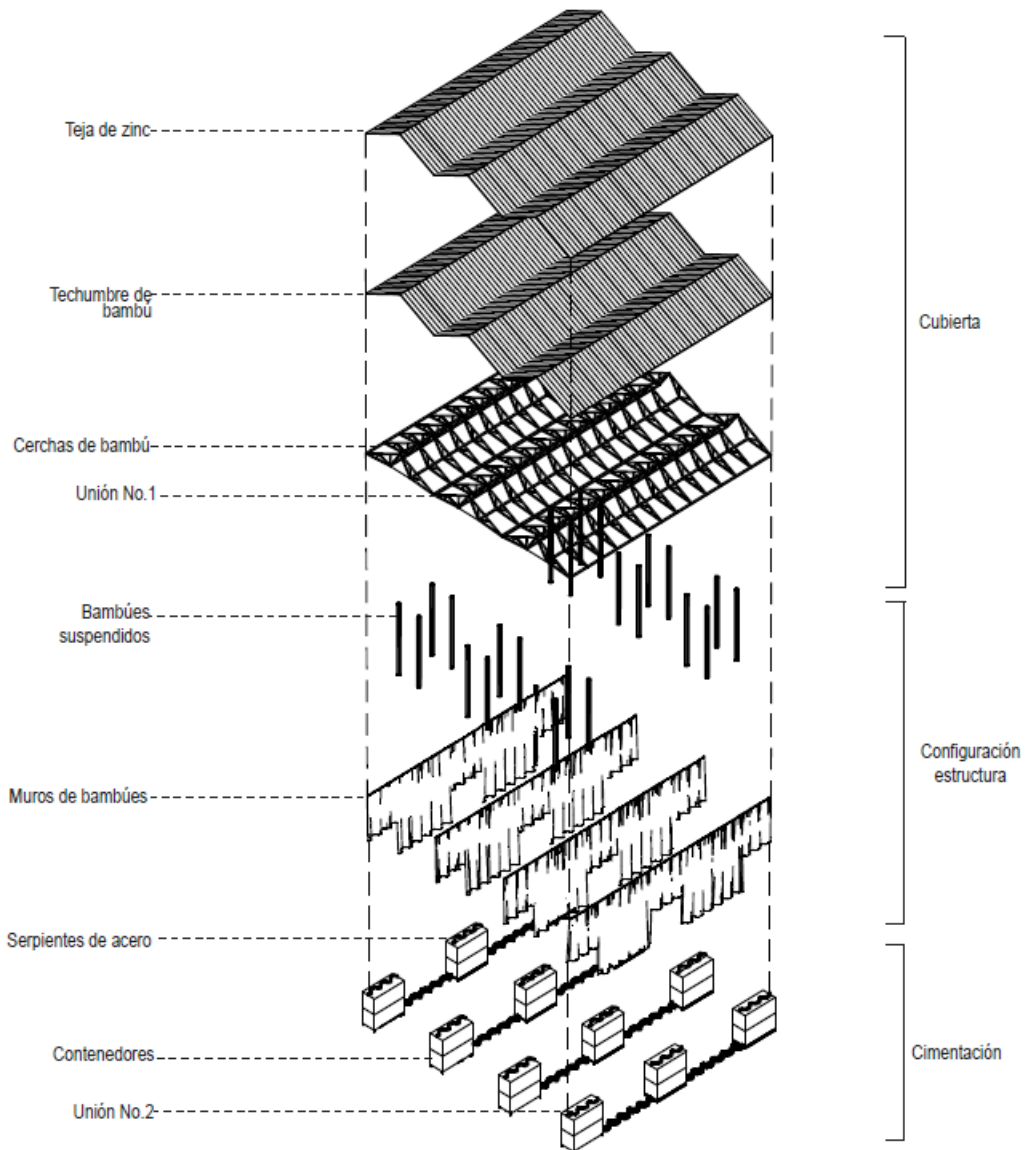


Elaboración propia

*Modelamiento para el análisis de detalles y uniones*

**Figura 82**

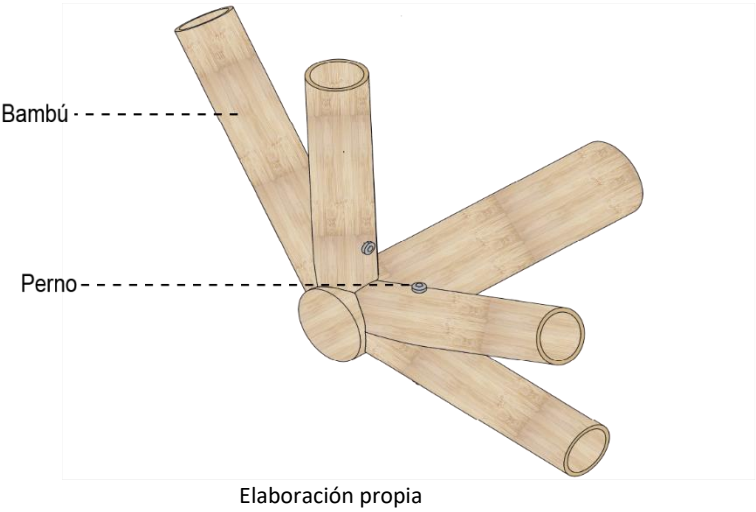
*Axonometría Museo Nómada*



Elaboración propia

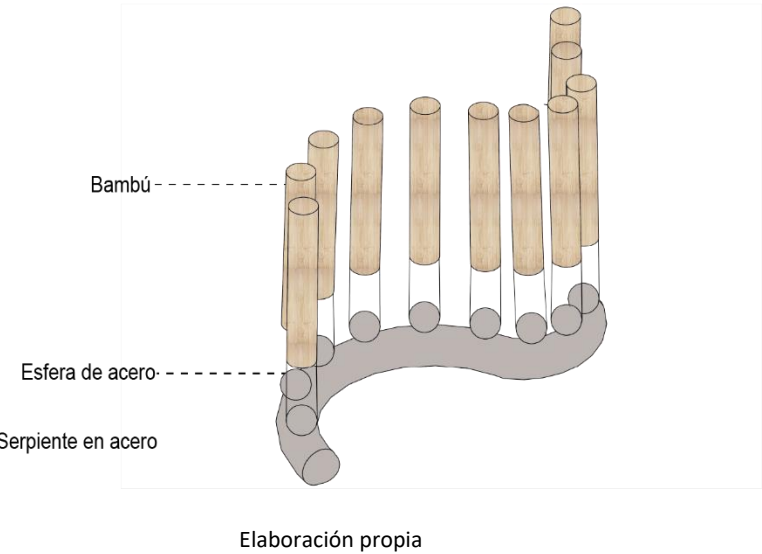
**Figura 83**

*Unión No.1*



**Figura 84**

*Unión No.2*

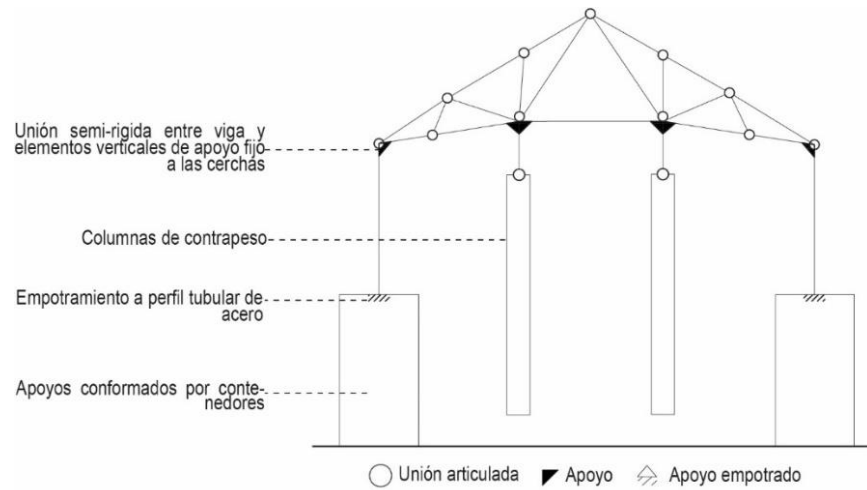


**Diagrama de aproximación tipos de uniones y apoyos**

**Figura 85**

*Uniones y tipos de apoyos*

Vista frontal



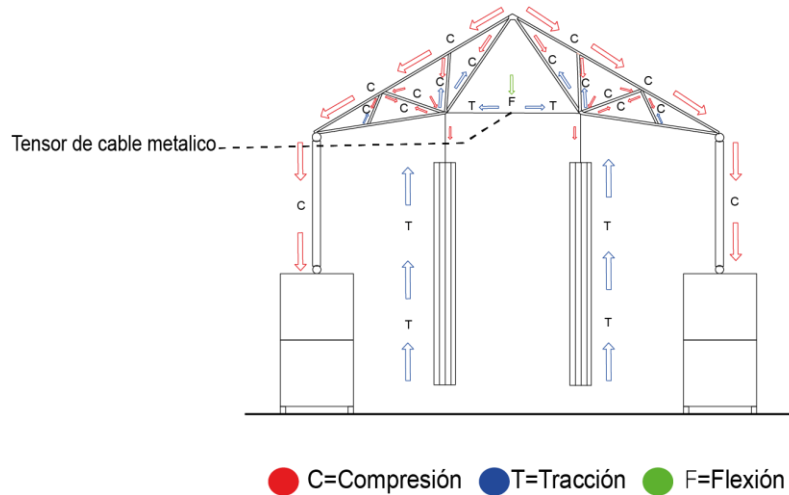
Elaboración propia

**Diagrama recorrido de cargas**

**Figura 86**

*Uniones y tipos de apoyos*

Vista frontal



Elaboración propia

Está ubicado en Ciudad de México, cuenta con una actividad sísmica media. El Proyecto se clasifica como vector activo, cuya estructura de cubierta de cerchas a dos aguas en sistema reticuladas de simple pared con teja galvanizada apoyada en una estructura de un solo nivel de doble altura. Estas cerchas trabajan a flexión, compresión y tracción se apoyan en columnas de bambú y contenedores. Como sistema de reagudización a las cerchas se emplean tensores lo cuales sujetan unas columnas suspendidas en el aire que funcionan como contrapeso para estabilizar las cerchas que conforman la gran luz de 20m, las cargas se transmiten por los diferentes tipos de uniones rígidas continuando por cimentación de gatos suspensión, que son atornillados con arandelas con caras en un triploide de varilla corrugada metálica, encima de estos se disponen un tipo de serpientes de acero de curvas cóncavas que son el apoyo en toda la estructura.

### Conclusiones

- Como resultado de la revisión bibliográfica de configuraciones estructurales y normativa en bambú, se evidencia un déficit a nivel de representación gráfica en cuanto al desarrollo de planimetría arquitectónica y estructural, específicamente detalles que muestren transmisiones de cargas de la configuración estructural y tipo de uniones empleadas, lo cual hace que estos textos sean de difícil comprensión.

- Teniendo en cuenta que a nivel mundial existen más de 1250 especies de bambú y que sus propiedades y características varían dependiendo de cada región, considerando que no todo el bambú cumple con los estándares para ser utilizado en las construcciones. Por otra parte, se tiene en cuenta que algunas de sus aplicaciones son de uso estético, como es el caso del mobiliario, decoración, etc. Siendo un recurso 100% aprovechable para otros espacios dentro de la construcción.

- Las construcciones convencionales como mampostería, pórticos e industriales, han permitido tener una base en cuanto forma, función y transmisión de cargas como se muestra en la clasificación estructural de Henio Engel, las cuales se han empleado por muchos años en materiales como madera, hormigón, metal, etc. Por otro lado, se encuentran las configuraciones en bambú que son no convencionales, las cuales tienen como principio las estructuras convencionales antes mencionadas, estas con la ventaja de que se construyen en menor tiempo, con poco presupuesto, son sostenibles, entre otros. De manera que esto influye en la innovación y exploración del material y de las configuraciones estructurales.

- Los principales elementos de las estructuras en bambú que precisamente hacen que el material sea versátil y pueda ser utilizado en diferentes configuraciones estructurales como:



**Figura 87**

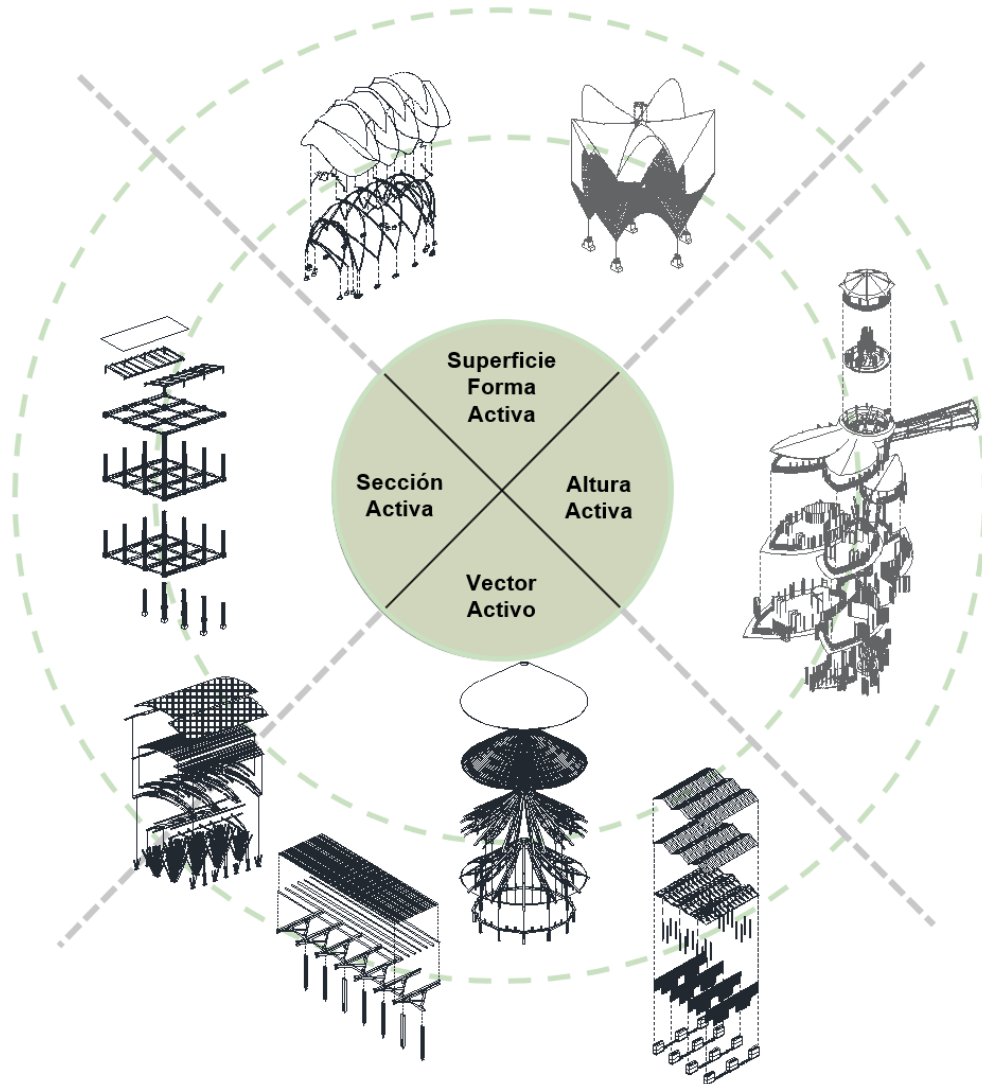
*Elementos principales de configuraciones estructurales en bambú*



- Como se observa en el diagrama (ver figura 88), se encuentra que la mayoría de los proyectos objeto de estudio analizados se clasifican como vector activo, siendo el sistema más utilizado ya que se conforman por barras que realizan una descomposición vectorial a esfuerzos a compresión, tracción y flexión. A su vez, el entrelazado de estructuras da como resultado la función híbrida como es el caso de la superficie activa y forma activa, son el segundo sistema más usado debido a que tienen como característica el soporte de las cargas por su envolvente. Por último, la configuración estructural menos empleada es la de altura activa, debido a su construcción compleja que requiere una concentración de cargas en elementos rígidos que se extienden de forma vertical. Por último, de ellos se toma que cada uno puede tener una clasificación propia.

**Figura 88**

*Clasificación de configuraciones estructurales en bambú*



**Lista de Referencia o Bibliografía**

Arch Daily. (2019). *Sharma Springs / IBUKU*. <https://www.archdaily.co/co/769210/sharma-springs-ibuku>

Arch Daily. (2017). *Energy Efficient Bamboo House / Studio Cardenas Conscious Design*.

<https://www.archdaily.co/co/868922/energy-efficient-bamboo-house-studio-cardenas-conscious-design>

Arch Daily. (2018). *La Ceiba / Lucila Aguilar Arquitectos*. <https://www.archdaily.co/co/903308/la-ceiba-lucila-aguilar-arquitectos>

Arch Daily. (2019). *Templo luum / CO-LAB Design Office*. <https://www.archdaily.co/co/919123/templo-luum-co-lab-design-office>

Arch Daily. (2016). *Restaurant Kim Boi Bamboo / Tran Ba Tiep*.

<https://www.archdaily.co/co/795077/restaurant-kim-boi-bamboo-tran-ba-tiep>

Arch Daily. (2013). *Arquitectura en Bambú: la obra de Simón Vélez*. <https://www.archdaily.co/co/02-265878/arquitectura-en-bambu-la-obra-de-simon-velez>

Arch Daily. (2022). *El Arco de Green School/IBUKU*. <https://www.archdaily.co/co/976725/el-arco-en-green-school-ibuku>

Arango, M. (2011). *Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático*.

<https://bit.ly/3lvjYTH>

Aguilar, L. (2018). *Manual para la construcción con bambú*.

[https://assets.adsttc.com/content\\_files/Manual+de+Construccion+con+Bambu.pdf](https://assets.adsttc.com/content_files/Manual+de+Construccion+con+Bambu.pdf)

Archello. s.f. *Casa de bambú de bajo consumo*. <https://archello.com/project/energy-efficient-bamboo-house>

Bambusa Espinosa. (2016). *Hotel extensión / Ampliación hotel*.

<https://www.bambusaespinosa.com/projects-proyectos/hotel-palenque/>

Botero, L. (2004). *Manual de bambu. Compymefor*. [https://cdn.website-](https://cdn.website-editor.net/a6d5d07bd07b4ebbb41c70f03402e2a8/files/uploaded/manual%2520industrializacio)

[n%2520del%2520bamb%25C3%25BA.pdf](https://cdn.website-editor.net/a6d5d07bd07b4ebbb41c70f03402e2a8/files/uploaded/manual%2520industrializacio)

Bambuksa desarrollo sostenible. (2022,14, junio). *Conociendo al bambú [Video]*. Zoom.

[https://us02web.zoom.us/rec/play/AV1M9G1KroIR2XFvtMULItUdSKdZupCeQXkrQx0LGxiK9gUybY\\_cyL1d8qUMUsPVE\\_OXyg60aGoNQTE.1qbaGmFGa0XIGIML?continueMode=true&xzm\\_rtaid=WFWtcAnhSnynkGD4VVn2lw.1666568741550.92c31281dc164d83a967cd0a9355edfc&xzm\\_rhtaid=431](https://us02web.zoom.us/rec/play/AV1M9G1KroIR2XFvtMULItUdSKdZupCeQXkrQx0LGxiK9gUybY_cyL1d8qUMUsPVE_OXyg60aGoNQTE.1qbaGmFGa0XIGIML?continueMode=true&xzm_rtaid=WFWtcAnhSnynkGD4VVn2lw.1666568741550.92c31281dc164d83a967cd0a9355edfc&xzm_rhtaid=431)

Cadena, D. (2019). *Guía Didáctica para Diseño y Construcción de Estructuras de Guadúa (GaK) y otros Bambúes*. Red internacional del bambú y ratán.

[INBAR]. [https://www.researchgate.net/publication/332530607\\_Guia\\_Didactica\\_para\\_Disenio\\_y\\_Construccion\\_de\\_Estructuras\\_de\\_Guadua\\_GaK\\_y\\_otros\\_Bambues](https://www.researchgate.net/publication/332530607_Guia_Didactica_para_Disenio_y_Construccion_de_Estructuras_de_Guadua_GaK_y_otros_Bambues)

Correal, F. (2020). *Manual de construcción de estructuras en bambú*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción

[SENCICO]. [https://issuu.com/sencico\\_documentosdigitales/docs/manual\\_de\\_construccion\\_de\\_estructuras\\_en\\_bambu](https://issuu.com/sencico_documentosdigitales/docs/manual_de_construccion_de_estructuras_en_bambu)

Canal de Arquitectura Universidad La Gran Colombia. (2021). *Estructuras no convencionales*. [Webinar].

Universidad La Gran Colombia. [https://www.youtube.com/watch?v=mXOJY\\_x33b0](https://www.youtube.com/watch?v=mXOJY_x33b0)

Canal de Arquitectura Universidad La Gran Colombia. (noviembre 3, 4 y 5, 2021). *XV congreso internacional ecociudades*. [Video]. You Tube.

<https://www.youtube.com/watch?v=1qRc2qvXmjs>

Camacho, V. Páez, I. (2002). *Estudio de conexiones en guadua solicitadas a momento flector* [Tesis para otra a título de Ingeniero Civil]. Universidad Nacional de Colombia. [https://docplayer.es/76235550-](https://docplayer.es/76235550-Estudio-de-conexiones-en-guadua-solicitadas-a-momento-flector-victor-manuel-camacho-reyes-isduar-humberto-paez-ramos.html)

[Estudio-de-conexiones-en-guadua-solicitadas-a-momento-flector-victor-manuel-camacho-reyes-isduar-humberto-paez-ramos.html](https://docplayer.es/76235550-Estudio-de-conexiones-en-guadua-solicitadas-a-momento-flector-victor-manuel-camacho-reyes-isduar-humberto-paez-ramos.html)

Cely, J. (2021). Estrategias para el uso alternativo del bambú como material sustentable para la construcción de viviendas verdes. [Especialización, Fundación Universitaria de América].

Repositorio institucional.

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8735/1/52710-2021-2-GA.pdf>

Darwin, F. (2014). *Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua Angustifolia con fines estructurales*

[Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/366>

Engel, H. (2006). *Sistemas estructurales*. [https://es.slideshare.net/issinstark/sistemas-de-estructuras-](https://es.slideshare.net/issinstark/sistemas-de-estructuras-heino-engel-65565673)

[heino-engel-65565673](https://es.slideshare.net/issinstark/sistemas-de-estructuras-heino-engel-65565673)

Escalona, J; Hernández, J; Requena, M. (2017). *Método de empleo del bambú como material alternativo para la construcción de viviendas de interés social en el municipio campo elias sector sanata*

*Eduviges*. Instituto Universitario Politécnico.

[https://issuu.com/cristalmichellerequenaRodriguez/docs/tesis\\_del\\_bambu....docx](https://issuu.com/cristalmichellerequenaRodriguez/docs/tesis_del_bambu....docx)

Estrada, M; González, E; Chi, D; McNamara, J. (2022, 26, Julio). Design Exploration of Bamboo Shells

Structures by Using Parametric Tools. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7522>

Gutiérrez, M. (2020). *Comportamiento mecánico del bambú a temperaturas elevadas–Estudios experimentales* [Tesis doctoral Universidad Politécnica de Madrid].

[https://oa.upm.es/14530/1/03\\_2012\\_ENRIQUE\\_ROBERTO\\_ALVAREZ\\_CASTILLA.pdf](https://oa.upm.es/14530/1/03_2012_ENRIQUE_ROBERTO_ALVAREZ_CASTILLA.pdf)

Gordon. (1999). *Diseño estructuras o por que las cosas no se caen. Celeste*

Green Village. s.f. *A bamboo villa overlooking the Sacred River of Bali.*

<https://greenvillagebali.com/houses/sharma-springs/>

Hidalgo, O. (1981). *Manual de construcción con bambú*. Universidad Nacional de Colombia.

<https://guaduabambucolombia.files.wordpress.com/2016/02/manual-de-construccion-con-bambu.pdf>

Hidalgo, O. (2003). *Bamboo the gift of the gods*. (Numero de edición). Editorial

Jyoti, A., Kumar, A. (2009). *Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India.*

[https://www.researchgate.net/publication/236001000\\_Above\\_ground\\_standing\\_biomass\\_and\\_carbon\\_storage\\_in\\_village\\_bamboos\\_in\\_North\\_East\\_India](https://www.researchgate.net/publication/236001000_Above_ground_standing_biomass_and_carbon_storage_in_village_bamboos_in_North_East_India)

Morán, J. (2018). *Manual de Construcción con Bambú. INBAR.*

[https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/construir\\_con\\_bambu\\_peru.pdf](https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/construir_con_bambu_peru.pdf)

Monografías. (s. f.). *Estructura No Convencionales*. <https://www.monografias.com/docs/Estructura-No-Convencionales-F3YVHE3YMZ#:~:text=Una%20estructura%20no%20convencional%20es,morfol%C3%B3gica%20impuestas%20por%20la%20ingenier%C3%ADa>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de construcción sísmo resistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. [http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10\\_Titulo\\_G.pdf](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_G.pdf)

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de China. (1995). Comparación de dos métodos de prueba para las propiedades físicas y mecánicas del bambú. [https://www.researchgate.net/publication/216245219\\_Comparison\\_of\\_Two\\_Standards\\_for\\_Evaluating\\_Physical\\_and\\_Mechanical\\_Properties\\_of\\_Bamboo\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/216245219_Comparison_of_Two_Standards_for_Evaluating_Physical_and_Mechanical_Properties_of_Bamboo_Materials)

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento de Peru. (2012). Reglamento Nacional de Edificaciones Sección 3. Código de Diseño E. 100. <https://docplayer.es/15123221-Norma-tecnica-e-100-bambu.html>

Morales, D. Kleinn, C. (2006). *An inventory of Guadua (Guadua angustifolia) bamboo in the Coffee Region of Colombia.1. 1-9. DOI 10.1007/s10342-006-0129-3*.



[https://www.researchgate.net/publication/225713725\\_An\\_inventory\\_of\\_Guadua\\_Guadua\\_angustifolia\\_bamboo\\_in\\_the\\_Coffee\\_Region\\_of\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/225713725_An_inventory_of_Guadua_Guadua_angustifolia_bamboo_in_the_Coffee_Region_of_Colombia)

Moreno, J. Cendales, M. (2018). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth originaria de armenia Quindío*. [Tesis de Grado]. Universidad Católica de Colombia. Repositorio de Universidad Católica.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23924/1/Determici%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20f%C3%ADsicas%20y%20mec%C3%A1nicas%20de%20la%20Guadua%20Angustifolia%20Kunth.pdf>

Montoya, J. (2008). Evaluación de métodos para la preservación de la guadua angustifolia Kunth.

Scientia et technica, 14, 443 – 447. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903878.pdf>

Norma oficial mexicana n-008. (1996). *procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos*.

<http://siga.jalisco.gob.mx/assets/documentos/normatividad/nom008semarnat1996.htm#:~:text=NORMA%20OFICIAL%20MEXICANA%20NOM%2D008%2DSEMARNAT%2D1996%2C%20QUE,24%20de%20junio%20de%201996>

Norma sismo resistente NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo*

*Resistente NSR – 10*. (Tomo 2).

<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Normac. (2015). Análisis de casos de estudio para el diseño estructural de edificaciones de guadua angustifolia Kunth diseñadas de acuerdo con los requerimientos de la NSR-10.

<https://nocmat.lasaweb.org/>

Ordóñez, V. (1999). *Perspectivas del bambú para la construcción en México. Madera y Bosques.*

[10.21829/myb.1999.511350](https://doi.org/10.21829/myb.1999.511350).

[https://www.researchgate.net/publication/237037624\\_Perspectivas\\_del\\_bambu\\_para\\_la\\_construccion\\_en\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/237037624_Perspectivas_del_bambu_para_la_construccion_en_Mexico)

Palacios, D. (2009) *Desarrollo de un sistema de construcción a partir de estructuras en guadua*. [Tesis de proyecto de grado, Universidad EAFIT]. Repositorio universidad EAFIT

<https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/4265>

Pinzón, L. (2017). *Instrucción e implementación unión lashin join eye bolt andry widyowyjatnoko en reticulados* [Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio institucional.

<https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/4032>

Silva, H. Comoglio, S. Terán, A. Méndez, J. Sabaté, M. *Estructuras de bambú en la arquitectura moderna*. (1997). Revista de Edificación.

[https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/17305/1/RE\\_Vol%2026\\_10.pdf](https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/17305/1/RE_Vol%2026_10.pdf)

Soler, P. (2017). *Uso del bambú en la arquitectura contemporánea*. Universidad Politécnica de Valencia.

<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106203/SOLER%20-%20CSA-F0111%20Uso%20del%20bamb%C3%BA%20en%20la%20arquitectura%20contempor%C3%A1nea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Schlaich, M. Dombrowski, M. Osman; J. Merz, P. (2021). *Comportamiento estructural transversal de láminas tipo viga doblemente curvadas [contenido a tratar]*. Conferencia internacional sobre estructuras espaciales. En: Guildford, Reino Unido.

Tripadvisor. (s.f.) [https://www.tripadvisor.co/Attraction\\_Review-g6940266-d2318011-Reviews-or35-Green\\_School\\_Tours-Abiansema\\_Bali.html](https://www.tripadvisor.co/Attraction_Review-g6940266-d2318011-Reviews-or35-Green_School_Tours-Abiansema_Bali.html)

Villate, M. (2008). *Estructuras no convencionales en arquitectura*. Universidad Nacional de Colombia.

<https://elibro-net.bibliodigital.ugc.edu.co/es/lc/ugc/titulos/128930>

Widyowijatnoko, A. (2012). *Traditional and innovative joints in bamboo construction*.

<https://www.yumpu.com/en/document/view/10759716/traditional-and-innovative-joints-in-bamboo->

Xiaobin, J. Guitao, F. (2021). *Construcción paramétrica y aplicación compuesta de estructuras de bambú*.

*Investigación sobre el bambú*. 41(1), 64-72.

<http://www.bamboojbr.com/en/article/id/d998c3e7-3f84-49f9-8812-a6b201958eb7>

Yiping, L. Yanxia, L. Buckingham, K. Henley, G. Guomo, Z. (2010). *Bamboo and climate change mitigation*.

Red internacional del bambú y el rátan

[INBAR]. [https://www.researchgate.net/publication/267392447\\_Bamboo\\_and\\_Climate\\_Change\\_Mitigation](https://www.researchgate.net/publication/267392447_Bamboo_and_Climate_Change_Mitigation)

Zea, E. Habert, G. Correal, J. Archilla, F. Echeverry, S. Trujillo, D. (2018). *Industrial or Traditional Bamboo*

*Construction? Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Bamboo-Based Buildings.*

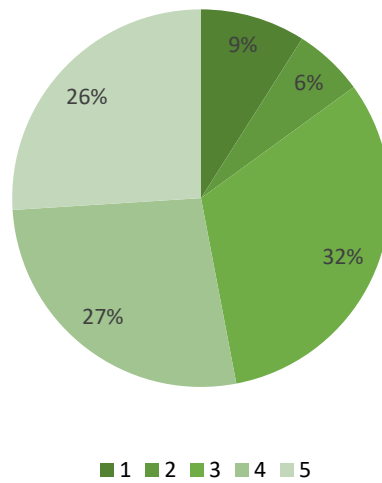
[Industrial or traditional bamboo construction? Comparative life cycle assessment \(LCA\) of bamboo-based buildings.](#)

[https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=y5bbHwcAAAJ&citation\\_for\\_view=y5bbHwcAAAJ:kc\\_bZDykSQC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=y5bbHwcAAAJ&citation_for_view=y5bbHwcAAAJ:kc_bZDykSQC)

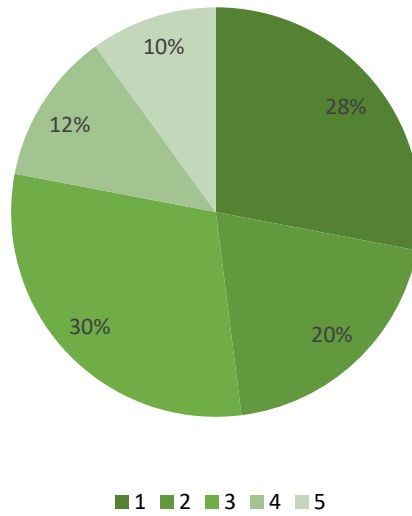
**Anexos****Anexo 1**

La realización de la encuesta fue respondida por estudiantes de arquitectura de la Universidad La Gran Colombia, donde el tamaño de la muestra fue de 100 personas.

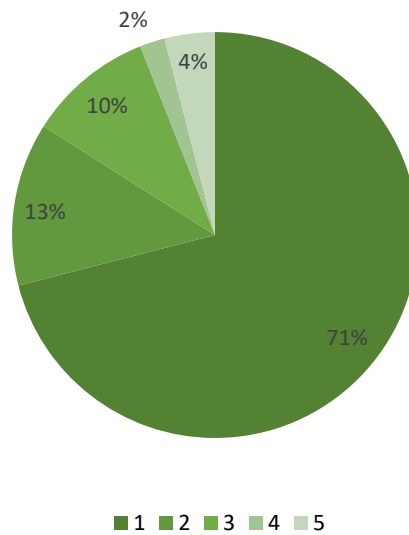
¿Conoce usted el bambú como material de construcción?



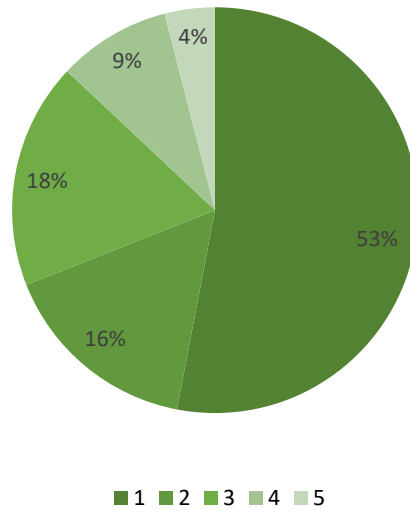
¿Ha recibido información acerca del bambú, como sus propiedades físico-mecánicas, patologías, tratamiento, uniones, transmisión de cargas?



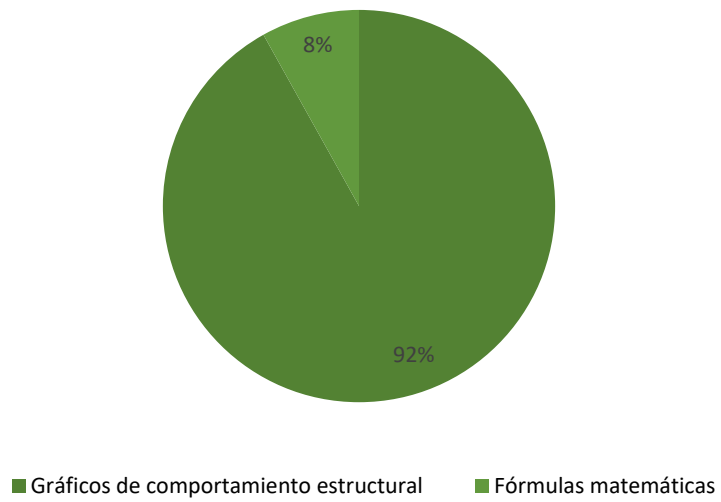
¿Ha utilizado el bambú en sus proyectos de diseño?



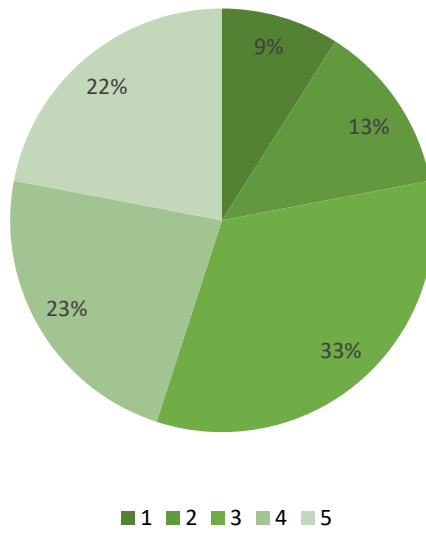
¿Conoce algún tipo de manual para el empleo del bambú?



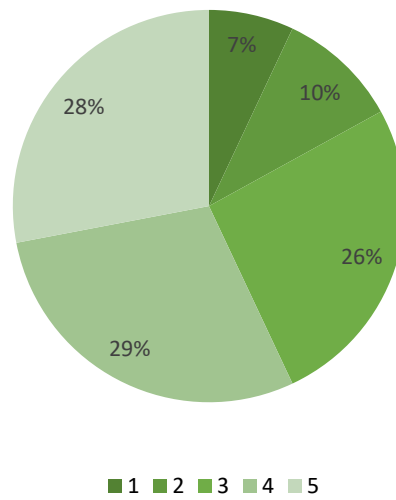
¿En su proceso de aprendizaje entiende más un sistema constructivo por medio de?



¿Conoce las ventajas del bambú como material ecológico?

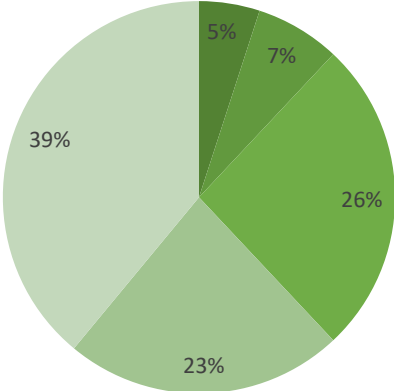


¿Implementaría el bambú en sus proyectos profesionales como material estructural?





¿Considera que mediante la implementación del bambú se puede reemplazar por materiales tradicionales?



■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5