



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**ESTUDIO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA HECHA  
DE BAMBÚ CAÑA GUADUA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**AUTOR:**

**SHARON DENNISEE FERNÁNDEZ JARA**

**DIRECTOR:**

**VLADIMIR CARRASCO CASTRO**

**CUENCA – ECUADOR**

**SEPTIEMBRE 2018**

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a Dios por bríndame la sabiduría y capacidad para culminar mi carrera, y superar cualquier obstáculo que se me presentaba.

A mis padres Sandra y Guido porque han sido incondicionales en cada momento, siempre supieron apoyarme a pesar de las adversidades, son una guía en mi vida y siempre será mi ejemplo para salir adelante.

A mi esposo Guido porque desde que empezó nuestro camino siempre supo darme fuerzas y me alentó para seguir adelante y terminar mi carrera, me apoyo en cada paso del camino, a pesar de llantos, malas noches y horas de estudio siempre estuvo a mi lado.

A mis hermanos Sofía y Christian que estuvieron apoyándome en cada paso, me dieron fuerza y aliento para mantener firme en mi objetivo.

A mi hija Antonella Victoria, quien es el motivo principal por el cual siempre seguí adelante y lo hago todos los días, que, a pesar del cansancio, de no dormir por sus malas noches, sabía que tenía que acabar mi carrera para ella, para demostrarle que siempre se puede salir adelante no importa los obstáculos. Siempre va a ser mi mayor alegría, y el motivo de que cumpla todos mis logros.

## **Agradecimiento**

Agradezco en primer lugar a Dios por siempre guiarme y mantenerme por el camino correcto hasta lograr al fin cumplir mi meta. Agradezco también a mis padres por su apoyo y sus consejos a lo largo de mi carrera, a mi esposo que siempre supo cómo apoyarme y alentarme para sacar fuerzas y seguir, a mi hija que siempre me inspira para llegar más lejos y a mis amigos que siempre formaron una gran parte de mi vida en la universidad y la hicieron increíble todos estos años.

Agradezco a mi director de tesis el Ing. Vladimir Carrasco porque todos los conocimientos transmitidos, por su apoyo, por brindarme su tiempo y ayuda cuando lo necesitaba a lo largo del camino para lograr este trabajo de titulación.

Agradezco a todos mis maestros por siempre todos los conocimientos entregados y un agradecimiento especial al Ing. José Vázquez por transmitir sus conocimientos y brindarme su apoyo y tiempo a lo largo de este proceso de titulación.

## Índice de Contenido

Dedicatoria .....	II
Agradecimiento .....	III
Índice de Imágenes.....	VI
Índice de Tablas .....	VI
Resumen.....	VII
Abstract .....	VIII
Introducción .....	9
Justificación.....	9
Objetivos .....	10
Objetivo General.....	10
Objetivo Específico.....	10
Capítulo 1. Marco Teórico: .....	10
1.1 Historia y origen.....	10
1.1.1 Uso del bambú: .....	11
1.2 El origen. ....	12
1.3 Especies que hay en todo el mundo de bambú.....	13
1.3.1 Phyllostachys viridis: .....	14
1.3.2 Phyllostachys Nigra: .....	14
1.3.3 Diferentes especies usadas en la construcción.....	15
1.3.4 Guadua Angustifolia.....	16
1.4 El bambú en Ecuador. ....	17
1.5 El Bambú en la construcción.....	19
1.6 Propiedades físicas y mecánicas de la guadua.....	19
1.6.1 Peso específico.....	20

1.6.2 Tensión paralela a la fibra .....	21
1.6.3 Compresión paralela a la fibra .....	21
1.6.4 Flexión .....	22
1.6.5 Cortante .....	22
1.6.6 Compresión perpendicular a la fibra .....	23
1.6.7 Coeficiente de Poisson .....	23
1.6.8 Módulo de elasticidad.....	23
1.7 Características de la caña guadua.....	24
1.8 El buen uso del bambú.....	26
1.8.1 Corte del bambú .....	26
1.8.2 Curado del bambú.....	27
Capítulo 2. Analizar los planos .....	28
2.2 Comprobación de los resultados del bambú. ....	39
2.3 Viga de hormigón armado .....	40
Capítulo 3. Análisis económico. ....	43
3.1 Análisis económico de un metro cuadrado de construcción de una vivienda de bambú .....	43
3.2 Análisis económico de un metro cuadrado de construcción de una vivienda tradicional. ....	44
3.3 Conclusión de los resultados.....	45
3.4 Recomendaciones .....	47
Bibliografía .....	49

## Índice de Imágenes

Figura 1.1. Obra con bambú.....	12
Figura 1.2. Casa hecha con bambú.....	12
Figura 1.3. Bosque de bambú.....	13
Figura 1.4. Phyllostachys vidris .....	14
Figura 1.5. Bosque negro de bambú .....	15
Figura 1.6. Pieza de caña guadua .....	17
Figura 1.7. Bambú caña guadua.....	17
Figura 1.8. Partes del bambú.....	25
Figura 2.1. Detalle de columnas.....	30
Figura 2.2. Construcción de columna en obra.....	30
Figura 2.3. Separación entre bambú y fundición de losa .....	32
Figura 2.4. Fundición de losa.....	33
Figura 2.5. Resultado de la losa terminada. ....	33
Figura 2.6. Colocación de caña como vigas y viguetas. ....	35
Figura 2.7. Unión boca de pez .....	36
Figura 2.8. Unión en cruz.....	36
Figura 2.9. Unión varilla roscada.....	37
Figura 2.10. Obra en construcción .....	37
Figura 2.11. Obra terminada, vista lateral de los departamentos. ....	38
Figura 2.12. Obra mixta terminada. ....	38
Figura 3.1. Corte de una losa de bambú y hormigón .....	44
Figura 3.2. Corte de una losa de vigas de hormigón.....	45

## Índice de Tablas

Tabla 1.1 Géneros de bambú utilizados en la construcción.....	15
Tabla 2.1. Resultado de valores resiste el bambú. ....	39
Tabla 3.1. Precio unitario por m2 de losa de bambú.....	44
Tabla 3.2. Precio unitario por m2 de losa de hormigón armado .....	45
Tabla 3.3. Tasa de energía para la producción de materiales de construcción (ECO-COSTO) .....	47

**Resumen**

**ESTUDIO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA HECHA DE  
BAMBÚ CAÑA GUADUA**

**Resumen**

El presente trabajo de investigación es un proyecto que a más de ser innovador, presenta una nueva alternativa para la construcción, en el cual se analiza dos estructuras ya construidas mediante la utilización del programa CYPECAD; de las cuales se tienen los diseños y planos que contienen detalles importantes como: tamaño de zapatas, sección de vigas, área de construcción, entre otras características; para comprobar que las solicitaciones de diseño cumplieron con el requerimiento estructural. Por otra parte se realiza el análisis económico del método constructivo de bambú, y se lo compara con un sistema de construcción tradicional en hormigón armado.

Palabras claves: Caña guadua, construcción, bambú, método constructivo.



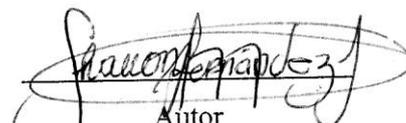
---

Ing. Vladimir Carrasco  
Directo de Tesis



---

Ing. José Vázquez  
Directo de Carrera



---

Autor

**Abstract**

**STRUCTURAL STUDY OF A HOUSE MADE OF GUADUA  
BAMBOO CANE**

**Abstract**

This research work was a project that, besides from being innovative, presented a new alternative for construction. Two previously constructed structures were analyzed using the CYPECAD program. The houses designs and plans were available with important details such as size of footings, section of beams and construction area, among other features. This study sought to verify that the design requests complied with the structural requirement. The economic analysis of the construction method in bamboo was carried out and compared to a traditional construction system in reinforced concrete.

Keywords: Guadua cane, construction, bamboo, construction method



Translated by  
Ing. Paul Arpi

Fernández Jara Sharon Dennisee

Trabajo de Titulación

Ing. Vladimir Carrasco Castro.

## **Estudio estructural de una vivienda hecha del bambú caña guadua.**

### **Introducción**

El problema a resolver es buscar materiales alternos para la construcción que sean ecológicos, y a la vez más económicos y accesibles, para estos se utilizara como objeto de estudio el bambú, específicamente aquella especie denominada caña guadua o *Guadua Angustifolia Kunth*. En relación a esto existen varios estudios en los cuales se han realizado ensayos de laboratorio que aportan resultados relacionados con las propiedades del material. A sí mismo en este trabajo, se hablará del correcto tratamiento que se debe tener con el material para su adecuado uso en la estructura y de la calidad del material a usar.

Para esto se realizará el análisis de estructuras conformadas por este material utilizadas en una vivienda y departamentos ya construidos ubicados en el sector de la Universidad del Azuay. Edificaciones que serán analizadas para demostrar que las estructuras son estructuralmente resistente y a su vez más económica.

### **Justificación**

Buscar un material alternativo con mejores características ecológicas que cumpla con la calidad requerida para la construcción; pues, aunque en la antigüedad el bambú era un material muy utilizado para la construcción, con el avance tecnológico se ha dejado de lado el mismo, por lo que es necesario demostrar que es un material que cumple con los requerimientos necesarios y es valioso para su utilización en el área de la construcción.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar una vivienda hecha de bambú caña guadua, ubicada en la ciudad de Cuenca; en la calle las garzas entre las palomas y autopista s/n, sector Universidad del Azuay. Esta vivienda tiene un tiempo de construcción de aproximadamente 4 años y en su mayoría está conformada por una aleación de acero y caña guadua. La vivienda consta de 3 pisos, tiene tres dormitorios, sala, comedor y cocina. En gran parte las paredes son de vidrio y algunas paredes son ecológicas, es decir, tiene una sección de tierra para colocar flores. En la parte lateral se construyeron dos departamentos con el mismo método de construcción.

### **Objetivo específico**

- Modelar una vivienda ecológica hecha de bambú, para determinar si la edificación cumple con los requerimientos estructurales.
- Analizar costo de la vivienda.

## **Capítulo 1. Marco teórico**

### **1.1 Historia y origen**

“Bambusoideae es el nombre de una subfamilia de plantas, que pertenecen a la familia de las gramíneas o poaceae; una de las familias botánicas más extensas e importantes para el hombre. Si el culmo es leñoso se le da el nombre de bambú; la tribu arundinarieae es conocida como “los bambús leñosos de clima templado”, la tribu bambuseae contiene “los bambús leñosos de clima tropical”, y Olyreae es la tribu de “culmos herbáceos”.” (Morán Ubidia A. J., Alternativas Tecnológicas Sustentables para la Construcción, 2009).

Hay una diversa cantidad y especies de bambú, pudiendo estos ser muy pequeñas, de menos de 1m de largo y con tallos de medio centímetro de diámetros; o de enormes proporciones como 25 metros de largo y con tallos de 30 cm de diámetro. (Rúgolo, 2016).

Su distribución territorial es amplia, se encuentra de manera natural en la mayoría de los continentes, pero principalmente en la parte tropical o subtropical de Asia, África y América, desde el nivel del mar hasta una altura de 4600 m. El bambú ha jugado un papel importante en el desarrollo de ciertas culturas con las que ha convivido; debido a su adaptabilidad, es un constituyente importante en la flora natural de regiones tropicales, subtropicales y templadas. Según informes existen bosques de bambú en 33 países, que cubren un área total de 31.5 millones de hectáreas, lo cual representa un 0.79% de la superficie total de bosques en el mundo. (Ecuador, 2017)

### **1.1.1 Uso del bambú**

El bambú tiene diferentes usos, desde sus semillas y raíces jóvenes que son utilizadas como alimento, sus hojas que conforman un excelente forraje para el ganado, y sus tallos, los que por su diversidad de tamaños, son empleados en usos tales como: tuberías, madera de construcción, estructura para puentes, así como para la confección de tela, papel, cuerdas y tejidos; es decir, tiene una cantidad de usos amplísima. (EcuRed, 2018) (Morán Ubidia J. A., 2015)

Los bambúes tienen registrados alrededor de 1500 usos documentados, tales como: material de construcción en bruto, adornos, sillas paredes de plywood, suelos parquet, farmacéuticos, juguetes e instrumentos musicales. La razón para tantos usos es que es una especie que tiene gran versatilidad, ligereza, flexibilidad, resistencia, dureza, resistencia a terremotos, rápido crecimiento, adaptabilidad climática, belleza visual y fácil manejo. A más de estos usos, se ha usado como material de construcción de bajo costo, el mismo que cumple con requerimientos ambientales y con el International Building Code (IBC), por lo que la guadua es considerada el acero vegetal del futuro. (Ecuador, 2017) (EcuRed, 2018).



*Figura 1.1. Obra con bambú*

Fuente: Obrasweb.mx



*Figura 1.2. Casa hecha con bambú*

Fuente: Bambuguaduacolombia.blogspot.com

## **1.2 El origen**

Es de origen indio, tiene un tronco leñoso y forma de caña. La literatura botánica da información muy variada sobre la cantidad de familias y especies del bambú; Lübke, 1976, señala que hay 500, la American Bamboo Society unas 470 de las cuales 400 son cultivadas en Estados Unidos. (Morán Ubidia J. A., 2001)

El bambú, es quizá, la planta herbácea más fácil de cultivar y de crecimiento rápido que existe actualmente en el planeta Tierra. Existe principalmente en Asia donde se

forman hermosos boques de bambú, y fueron estos, los bambúes, una de las primeras plantas en aparecer en el planeta. (Sanchez, 2014)



*Figura 1.3. Bosque de bambú*

Fuente: National geographic

### **1.3 Especies que hay en todo el mundo de bambú**

El bambú tiene una gran presencia en la mayoría de bosques y selvas, comprenden 1439 especies diferentes en el mundo; tan solo en China, se ha reportado alrededor de 500 especies nativas incluyendo 116 géneros. Latino América es el lugar con mayor diversidad y número de especies, desde México hasta Chile, existen 435 especies nativas, tiene el 39% de las especies y un 31% de los géneros existentes en el mundo. Es importante destacar que existen muchas otras especies que se llaman Especies Exóticas, que casi siempre son introducidas, en Estados Unidos se cultivan alrededor de 300 especies exóticas provenientes de Asia o América. (Londoño, 2001)

Algunas especies:

### 1.3.1 *Phyllostachys viridis*

Se caracteriza por su gran altura, puede llegar a medir hasta 15 metros de longitud y su diámetro en la base puede ser mayor a los 25 centímetros, tiene un carácter bastante expansivo debido a que las raíces se expanden a lo largo de la superficie. Durante la primavera suelen aparecer los primeros brotes que llegan a alcanzar hasta 15 cm en la primera semana, usualmente se lo cosecha, se quita la parte exterior y se quedan con el corazón, para posteriormente ingerirlo normalmente. Esta especie goza de la peculiaridad de ser curvada en S en varios casos.



*Figura 1.4. Phyllostachys viridis*

Fuente: [www.bambuparque.org](http://www.bambuparque.org)

### 1.3.2 *Phyllostachys Nigra*

Esta es una variedad conocida como bambú negro, caracterizada por su color. La corteza se va haciendo de color negro a medida que el bambú madura alrededor de los 3 o 4 años, cuando comienza el cambio de color del verde al negro; su grosor no es grande, por lo que es utilizado mayormente para fines decorativos, una característica de esta especie es que su interior es suave y sus nudos son blandos. (Rúgolo, 2016).



*Figura 1.5. Bosque negro de bambú*

Fuente: terranostra.blogspot.com

### 1.3.3 Diferentes especies usadas en la construcción

Como se muestra en la tabla a continuación, hay varios tipos de bambú que son utilizados en la industria de la construcción. El principal género utilizado en las zonas Asiáticas es el *Dendrocalamus*, en este género la especie que más predomina es: *Dendrocalamus giganteus*, esta es la especie más grande que hay en el mundo, pues tiene diámetros superiores a 30 cm, y un crecimiento muy rápido llegando a crecer 30 cm por día hasta alcanzar holgadamente los 30 metros de altura. (Martínez García, 2015)

*Tabla 1.1 Géneros de bambú utilizados en la construcción*

<b>Género</b>	<b>Altura(m)</b>	<b>Diámetro(cm)</b>	<b>Origen</b>
Bambusa	6 a 30	3 a 18	China, India, Birmania y Taiwán.
Chusquea	4 a 6	2 a 4	Chile y Argentina.
Dendrocalamus	20 a 35	20 a 30	India, Birmania, Sri Lanka y Taiwán.
Gigantochia	10 a 16	8 a 15	Malasia, Indnoesia y Filipinas.
Guadua	10 a 30	5 a 15	Colombia, Ecuador, México, Bolivia y Panamá.
Phyllostachys	5 a 22	2 a 17	China y Japón.

Fuente: (Martínez García, 2015)

### 1.3.4 *Guadua angustifolia*

Esta variedad se identificó como perteneciente a las Bambusas hasta el año 1822, pero luego el botánico alemán Karl S. Kunth determinó que constituía un género por sí sola y la identificó como *Guadua*; es este el género más importante en América por ser endémico de este continente, formado por unas 30 especies. (Colombia, 2011)

La *Guadua Angustifolia* es la más importante del continente debido a sus propiedades físico – mecánicas; como hemos visto anteriormente se tiene varias especies para construir, pero en este lado del Pacífico la *Guadua* es la más utilizada. Se encuentra en estado natural desde Ecuador a Venezuela y entre los 0 a 2000 metros sobre el nivel del mar, su desarrollo óptimo se alcanza entre los 500 a 1500 metros de altura, con temperaturas de 17° a 26°, precipitaciones de 1200 a 2500 mm/año, humedad relativa de 80 – 90% y suelos con fertilidad moderada y buen drenaje; características encontradas en la región central de los Andes. (Londoño, 2001) (Beniparrell, 2015)

Tiene su hábitat en la selva tropical húmeda a orillas de las riveras propias de la selva sudeste de Venezuela, se extiende por las selvas de las Guayanas, Brasil, Ecuador, Colombia, Perú, Surinam y desde San Ángel de México por América Central hasta Panamá. (Beniparrell, 2015)

La *Guadua* no incrementa su diámetro con el paso del tiempo, sino que nace con un diámetro determinado según el tipo de suelo y las condiciones climáticas, estos diámetros pueden ser de 22 – 25 cm aunque lo habitual es que se sitúen entre 8 y 13 cm; durante los primeros 6 meses de vida, este árbol crece de manera rápida, llegando a crecer hasta 15 cm diarios y llegar a una altura de 20 a 30 metros, luego de lo cual la planta se vuelve dañina para el ambiente. (Martínez García, 2015)

Tras 4 años de crecimiento se considera al tallo maduro para usarlo como material estructural, si el corte se realiza de manera correcta, comienza un mecanismo de transferencia rizomática de energía y un nuevo culmo comienza a crecer. Por lo que una explotación regular estimula su regeneración natural. (NEC, 2017)



*Figura 1.7. Bambú caña guadua*

Fuente: Tamarindoorganico.org



*Figura 1.6. Pieza de caña guadua*

#### **1.4 El bambú en Ecuador**

“El bambú forma gran parte de la humanidad, en el Ecuador se ha usado como parte del patrimonio material (viviendas antiguas), e inmaterial (conocimientos ancestrales), aporta de manera muy significativa a la economía rural y genera divisas por los procesos industriales y comerciales de una cantidad importante de productos y subproductos que se exportan. Es la materia prima principal para más de 300.000 viviendas de tipo social en especial en la costa del Ecuador; por la parte ambiental ayuda a la protección de cuencas hidrográficas, protección del suelo y la biodiversidad, captura de CO<sub>2</sub>, influyen en el microclima local y embellece el paisaje”. (Ecuador, 2017)

En Ecuador el bambú que más destacada es la caña guadua, por sus excepcionales características físico- mecánicas, también llamada *Guadua Angustifolia*; en 1820 el botánico Kunth constituyó este género utilizando el vocablo “guadua” con el que los indígenas de Colombia y Ecuador se referían a este bambú. (Inbar, 2015).

En la actualidad, tomando en cuenta los bajos recursos y la alta necesidad de viviendas, se ha considerado este elemento por ser accesible y económico, habiéndose introducido aquí en Ecuador durante la construcción de las viviendas de

la Corporación Hogar de Cristo en Guayaquil con el objetivo de hacer viviendas sociales, de bajo precio, duraderas y de fácil construcción. (Morán Ubidia A. J., Alternativas Tecnológicas Sustentables para la Construcción, 2009).

La casa de caña es considerada, para barrios populares las familias de este sector la consideran como la primera solución para la falta de vivienda pero casi siempre aspiran construirla con bloque. Las casas que entregan la Corporación Hogar de Cristo está diseñada para que los moradores cierren de a poco con ladrillo o bloque la planta baja obteniendo de esta manera una vivienda mixta. (Guayaquil, 2010)

En Ecuador no hay una cantidad exacta de la superficie de bambúes existente en este territorio, pero se estima en aproximadamente 10000 hectáreas, de las cuales 5000 fueron plantadas y son de las especies guadua angustifolia y dendrocalamus asper. Son especies de usos múltiples, pueden tener usos forestales madereros y no madereros, así como servicios eco sistémicos. (Ecuador, 2017)

“El proyecto de la Red Internacional del Bambú, y Ratán (INBAR por sus siglas en inglés) financiados por el banco mundial, han construido diversas estructuras. Dos refugios dos aulas escolares y cinco casas. INBAR y la corporación hogar de Cristo, socios en el desarrollo del proyecto han creado cuatro prototipos de viviendas en zonas periféricas de Guayaquil; estas viviendas alzadas a un metro sobre el nivel del suelo, resistente tanto inundaciones niveles de humedad bajo, y además cuenta con el beneficio de temperaturas estables”. (Mundial, 2013).

“La Norma Ecuatoriana de la Construcción en Guadua fue aprobada el 18 de agosto del 2016 por el comité ejecutivo de la NEC. Los argumentos de la reglamentación se expusieron ante autoridades del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda” (MIDUVI) y el Servicio Ecuatoriano de Normalización”. (Comercio, 2016)

La propuesta fue impulsada por un grupo de bambuceros, constructores y universidades que conformaron un comité técnico para presentar el documento final. Luego del terremoto del 16 de abril del 2016 en Santo Domingo de los Tsáchilas se afectaron un 40% de las viviendas en la zona rural, después de la puesta en vigencia de la norma se presentaron talleres teórico – prácticos tanto en Santo Domingo como

en Manabí, para que se conozcan las técnicas para la construcción con dicho material. El prefecto Mariano Zambrano dijo: “Por ellos, la decisión del gobierno provincial de Manabí de construir viviendas con este “acero” vegetal en la zona rural. Es una alternativa fusionar con una fabricación de láminas de acero galvanizado que se pueden usar en la cubierta o techo de las casas.”, ya se tiene una fábrica para producir láminas de acero galvanizado, para construir las viviendas perdidas en el terremoto. (Comercio, 2016)

### **1.5 El bambú en la construcción**

La vivienda, en todas las culturas a lo largo de la historia de la humanidad, es la primera preocupación del grupo familiar, el hombre en el medio en el que habita recoge los elementos que le ofrece la naturaleza y con ellos forja sus viviendas. El uso del bambú, más allá de requerir esfuerzo físico, requirió esfuerzo mental. Mas al pasar los años, producto de la colonización, se perdieron costumbres y se cambió la forma de construcción utilizando concreto y acero, con lo que se dejó de lado al bambú y se consideró como un material símbolo de pobreza y miseria. Por lo general la casa construida con caña va montada sobre patas que facilitan el trabajo de construcción, pues no necesita cimientos macizos ni pilares de concreto. (Morán Ubidia J. A., 2001)

### **1.6 Propiedades físicas y mecánicas de la guadua**

El bambú es tan resistente y flexible que se lo llama acero vegetal, su relación resistencia/peso le da una mayor importancia. Al hablar de flexibilidad, esta le da una característica soportante al sismo, es decir que se puede resistir los esfuerzos que presenta un sismo, tiene buena resistencia al corte paralelo, y, en cuanto a su forma de tubo con refuerzos transversales rígidos que conforman los tramos de la caña, le confiere una gran resistencia a la tracción y compresión. Ahora bien, al contrario de sus buenas propiedades, el bambú no es muy duradero, por ello hay que tener en cuenta la calidad y cuidado que necesita este material. Una buena manera de conseguir el bambú es cortarlo en la madrugada puesto que es cuando toda la sábila baja, se corta la caña en luna menguante; nunca creciente y si vive junto al mar cuando la marea esta baja. Por lo que al momento de cortarlo cuando se encuentre

seco, se previene a los insectos; aunque hay que tener un cuidado especial con la lluvia, la humedad y el calor excesivo. Su resistencia hacia huracanes es baja, más en consideración de la ubicación geográfica del Ecuador, la preocupación respecto a este tema no es un aspecto relevante. (Arquiografico, 2016) (Chuquimarca, 2015) (Bustos Criollo, 2017).

La caña guadua es una especie semejante a los maderables, mas, sus propiedades mecánicas son completamente diferentes a estos, esto quiere decir que sus componentes químicos son similares, pero varían en su anatomía, morfología, proceso de crecimiento e incluso las propiedades de la caña guadua superan las propiedades de la madera, debido a que su composición está formada por varias células de diversos tamaños, formas y funciones; y por cilindros con algunos entrenudos separados por los nudos, los cuales juegan un papel muy importante como pararrayos de grieta axial evitando que el cilindro se parta y rigidizando la caña. (Mendoza Castro & Rosales Salcedo , 2014).

La densidad del bambú varía de 500 a 800 kg/m<sup>3</sup>, considerándose el último valor para el cálculo del peso propio de la estructura, presenta una excelente resistencia, especialmente a la tensión y se ha demostrado que el pico de aumento de la fuerza se produce alrededor de los 3 – 4 años y posteriormente disminuye, por lo que se considera que este es su tiempo de madurez con respecto a la densidad y fuerza. (Cobos Fischer & León Rodriguez, 2007).

Las propiedades del bambú han sido extraídas de una tesis realizada en el año 2014 por los autores: José Andrés Mendoza Castro y José Napoleón Rosales Salcedo, de la Universidad de Cuenca, con título: “Uso de la caña guadua en la vivienda modular”, y son aquellas que se detallan a continuación:

### **1.6.1 Peso específico**

Varia con la humedad, para cañas secadas al aire (18% de humedad), oscila entre 700 y 850 **kg/m<sup>3</sup>**, dependiendo de si se tiene en cuenta solo la pared. (Martínez García, 2015).

### 1.6.2 Tensión paralela a la fibra

“La resistencia que presente la caña guadua es significativamente alta, siendo mayor en su pared externa justificada por su constitución física y química. La primera, debido a que la red de fibras se encuentra en mayor proporción y la segunda dado por el contenido de sílice, lignina y cutina. La ausencia de nudos es un factor que confiere mayor resistencia puesto que se evita la discontinuidad de las fibras.”

$$\text{Tensión} = 183.54 \text{ kg/cm}^2$$

“Nota: se ha considerado un factor de seguridad (Fs) de 2.00, un factor de duración de carga (FDC) de 1.50 y un factor de reducción por diferencia entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura (FC) de 0.50.” (Mendoza Castro & Rosales Salcedo , 2014)

### 1.6.3 Compresión paralela a la fibra

“Con respecto a esta propiedad la guadua presenta una menor resistencia que a la tensión, comportamiento que se debe a la ausencia de los radios medulares y cambium que caracteriza los tejidos presentes en la madera. La guadua tiene un tejido constituido por fibras longitudinales que manifiestan separación en el momento de aplicación de la fuerza asociada con la presencia de los nudos o perforaciones. Formaciones compuestas reflejan un aumento en la resistencia. En el diseño se consideran las diferentes fallas que pueden presentarse con longitudes de guadua (columnas) variables.”

$$\text{Compresión paralela} = 142.76 \text{ kg/cm}^2$$

“Nota: Se ha considerado en el valor presente un Fs de 1.50 y un FDC de 1.20 que se encuentra en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.” (Mendoza Castro & Rosales Salcedo , 2014).

### 1.6.4 Flexión

“Las fallas por flexión se desarrollan en la zona de los nudos cuando se presenta tensión paralela a la fibra. Al inhibir el desarrollo de las fallas por compresión perpendicular a la fibra en apoyos o puntos de carga a las cuales la guadua posee poca resistencia; pueden obtenerse las fallas por flexión, caracterizada por una deformación oval. Para este tipo de falla, existen algunos mecanismos que están orientados a evitar la ruptura de la guadua mediante: la utilización de dispositivos circulares a aplicar las cargas y puntos de apoyo, ubicación de las cargas concentradas y reacciones en puntos estratégicos como nudos o en zonas que posean refuerzos para tales efectos, el relleno de celdas con mortero en los puntos de aplicación de cargas concentradas.”

$$\text{Flexión} = 152.95 \text{ kg/cm}^2$$

“Nota: Se ha considerado en el valor presente un  $F_s$  de 2.00 y un FDC de 1.50”.  
(Mendoza Castro & Rosales Salcedo , 2014)

### 1.6.5 Cortante

“Especialmente para la construcción de uniones en guadua es importante considerar la resistencia a cortante. La influencia de la distancia de la superficie de cortante decrece con el aumento de la longitud de la superficie cortante. En una pared de espesor de 10 mm la resistencia a cortante es aproximadamente 11% menor que un tallo con espesor de 6 mm; esto podría explicarse por la distribución de las fibras de alta resistencia por toda la superficie de la sección transversal.”

$$\text{Cortante} = 12.24 \text{ kg/cm}^2$$

“Nota: Se ha considerado en el valor presente un  $F_s$  de 1.80, un FDC de 1.10 y un factor de reducción por diferencia entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de aplicación de las cargas en la estructura (FC) de 0.60.” (Mendoza Castro & Rosales Salcedo , 2014)

### 1.6.6 Compresión perpendicular a la fibra

“La resistencia que presenta la guadua a esta propiedad es relativamente baja comparada con la compresión paralela a la fibra, debido a la ausencia del material en el centro de la caña, lo que permite que sea susceptible al aplastamiento. Es por esta carencia de masa que la tolerancia a este esfuerzo es similar al del corte.”

$$\text{Compresión perpendicular} = 14.28 \text{ kg/cm}^2$$

“Se ha considerado en el valor presente un  $F_s$  de 1.80 y un FDC de 1.20. La resistencia a la compresión paralela está calculados entrenudos rellenos con mortero de cemento. La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entre nudos rellenos de mortero de cemento.” (Mendoza Castro & Rosales Salcedo , 2014)

### 1.6.7 Coeficiente de Poisson

“Se determinó un valor promedio de la relación de Poisson de 0.36 para las partes de inferior y media, de 0.33 para la parte superior y 0.35 en general para el culmo. Ghavami y Marinho reportaron un valor promedio de”: (Luna, Lozano, & Takeuchi, 2013)

$$\text{Coeficiente de Poisson} = 0.34$$

### 1.6.8 Módulo de elasticidad

“Con respecto al módulo de resistencia se puede observar una ventaja en el uso de tubos delgados con relación a su sección transversal. La acumulación de fibras de alta resistencia en las partes externas de la pared de la guadua también trabaja positivamente a favor de los módulos elásticos como lo hace para las resistencias a tensión y flexión. Como los módulos de la madera sólida, los de la guadua decrecen entre 5 a 10 % con el aumento de los esfuerzos. La alta elasticidad de la guadua, lo hace un material potencial para ser usado en áreas con alto riesgo sísmico.” (Mendoza Castro & Rosales Salcedo , 2014)

A continuación se establece el módulo de elasticidad en función de la NSR – 10:

$$\text{Modulo Promedio } E_{05} = 122365.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Modulo Percentil 5 } E_{0.05} = 76478.72 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Modulo mínimo } E_{min} = 40788.65 \text{ kg/cm}^2$$

“Para el análisis de elementos estructurales se debe utilizar  $E_{05}$ , como módulo de elasticidad del material. El  $E_{min}$  se debe utilizar para calcular los coeficientes de estabilidad de viga y de columna. El  $E_{0.05}$  se debe utilizar para calcular las deflexiones cuando las condiciones de servicio sean críticas o requieren nivel de seguridad superior al promedio. En todo caso, la exponencial del módulo de elasticidad indicado dependerá del criterio del ingeniero calculista.” (NEC, 2017)

Lo importante es el punto de ruptura de la guadua, sometida a un esfuerzo de flexión, lo cual no es totalmente un fracaso. Debido a sus fuertes fibras, el bambú se agrieta sin falla a flexión, a diferencia de la madera que se rompe. Esta calidad del bambú da la oportunidad de reparar o reemplazar partes deterioradas de la casa. La elasticidad de la caña es mejor que la de la madera para las viviendas resistentes a los sismos, cómo se ha demostrado en el caso de varias casas pequeñas.” (Mendoza Castro & Rosales Salcedo , 2014)

### 1.7 Características de la caña guadua

Este bambú se distingue de las demás especies por sus tallos robustos y espinosos, por bandas de pelos blancos en la zona de los nudos y por sus hojas de forma triangular. (Luna, Lozano, & Takeuchi, 2013)

En relación a su sección, no incrementa su diámetro a lo largo del tiempo, sino que ya nace con un diámetro predeterminado; el máximo conocido para este es 25 cm y un promedio de 9 a 15 cm, aunque puede variar a lo largo de toda su altura en un valor de 5mm/m. (Ecuador, 2017)

Durante los primeros seis meses, el bambú crece hasta 15 a 20 cm por día, hasta alcanzar una altura de 20 a 30 m, luego de 4 a 6 años de crecimiento, se le considera

con la madurez adecuada para usarlo en la construcción. Tiene una forma de tubo, ligeramente cónico, se presume una composición del bambú como: 10% de brotes, un 30% de tallos jóvenes y un 60% de caña ya madura, con una densidad de 3000 a 8000 culmos por hectárea, la productividad estimada para un bosque de guadua esta entre 1200 y 1400 tallos por hectárea/año, en la cual hay una relación inversa entre densidad y diámetro promedio. (Beniparrell, 2015) (Luna, Lozano, & Takeuchi, 2013)

Se divide en tres partes al tallo, y la que se utiliza es la parte intermedia o llamada también basas, son esbeltos y ligeros con relación a su resistencia, mantienen bien el diámetro exterior y son muy fibrosos por lo que son las piezas más usadas en la construcción, se usa en la fabricación de vigas y cercas compuestas; por otra parte, tenemos la parte inferior o cepas las cuales presentan un gran espesor de paredes, entrenudos cortos y una elevada resistencia a la compresión, son útiles para la construcción de columnas; la parte superior, llamada sobrebasa, tiene paredes finas pero mantiene un alto contenido en fibra, se usa para fabricar viguetas y rastreles. (Beniparrell, 2015) (Aspiazu, 2012) (Chuquimarca, 2015).

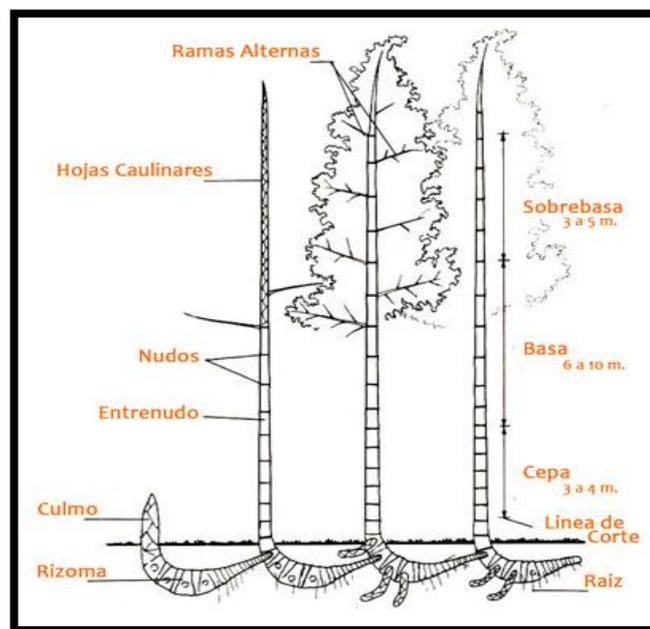


Figura 1.8. Partes del bambú

Fuente: bambusa.es

## Área neta

El área de la sección transversal constituida por un solo culmo, será calculada con la fórmula tomadas de la NEC (NEC, 2017):

$$\text{Ecuación 1: } A = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - (D_e - 2 t)^2) \quad (\text{Ecu 1})$$

Dónde: área neta de la sección transversal de la guadua, cm<sup>2</sup>.

De: Diámetro exterior de la guadua, cm.

t: Espesor de la pared de la guadua, cm.

En el proceso de construcción de la estructura se deben respetar los parámetros de diseño, en especial los referentes al diámetro exterior y el espesor mínimo de pared, los elementos utilizados en obra deben tener mínimo las mismas medidas del diseño en su parte superior. (NEC, 2017)

## 1.8 El buen uso del bambú

### 1.8.1 Corte del bambú

Para cortar la caña se recomienda hacer en luna menguante, nunca en creciente. Dicen que es para que no se apolille, según la gente que ya tiene experiencia. Por otra parte los técnicos expertos afirman que la caña para construir es una “caña hecha”, es decir, que debe tener 4 o más años que tiene un color verde opaco. La caña tierna, entre 1 y 3 años, tiene un color verde brillante. El uso de una caña no madura puede ocasionar rajaduras, fisuras y hasta colapso de la estructura. (Guayaquil, 2010)

Para el corte del bambú las estaciones adecuadas para recolección son el otoño o el invierno; el corte se realiza al ras del primer nudo inferior con el fin de evitar que se acumule agua en el tocón, se aconseja no cortar la caña por encima de los 30 cm del suelo ni usar una sierra para cortar porque impide que la raíz se pudra, evitando el crecimiento de nuevo brotes. La mejor herramienta es el machete, para acelerar la putrefacción de la raíz de la caña cortada, lo ideal es quebrar el muñón de la misma con un corte en cruz, y así puede penetrar el agua pluvial más directamente. Después

del corte, se procede al apeo o tumbado del culmo, para evitar que se rompa, reviente o se fisure cuando se caiga. Para construir con bambú se debe utilizar una caña madura, que haya sido preservada y bien secada, debido a su mayor resistencia y menor contenido de humedad. (Ubidia, 2015) (NEC, 2017)

Para construir columnas o paredes de bambú hay que empotrar directamente en el concreto o en el suelo para evitar su deterioro; debido a que la caña tiene una gran capacidad para absorber la humedad, hay que proteger a la caña de la lluvia, la humedad produce hongos como en cualquier otro material; y de los rayos solares directos, que blanquean y deterioran las cañas, protegiéndolo de ambos construyendo aleros lo suficientemente amplios. Cuando se aplica un peso localizado en los entrenudos estos se aplastan pudiendo deteriorar toda la estructura, para evitar esto se debe colocar las cargas en los nudos y/o rellenar la caña con concreto. (NEC, 2017)

El bambú en la construcción nunca debe estar con contacto directo con el suelo debe estar por lo menos a 50 cm de este, debe estar encima de una losa de hormigón, o empotrado en el concreto, porque las propiedades del suelo pueden dañar la composición de la caña y hacerle fallar; sería conveniente proteger a la estructura de bambú con aleros o que esté dentro de la vivienda para evitar que les dé directamente el sol o la lluvia. (Morán Ubidia A. J., Alternativas Tecnológicas Sustentables para la Construcción, 2009)

### **1.8.2 Curado del bambú**

El curado del bambú sirve para preservar la caña del ataque de insectos, hongos y otros enemigos. La misma se puede hacer de dos maneras distintas:

La caña borracha: “se realiza durante el corte este método se llama “avinagrado” y consiste en dejar la caña recién cortada, sin quitarles las hojas, sobre una piedra o algo que la separe del suelo, apoyado en las cañas vecinas. Se deja ahí durante 3 semanas, tiempo en el que pierde humedad, almidón y azúcares. En este proceso, cambia de verde a naranja y huele a alcohol. Esta es la “caña borracha”.” (Guayaquil, 2010)

Con bórax: “hay una forma química de curar caña y consiste en ahogarlas en agua mezclada con bórax y ácido bórico, productos de fácil adquisición, bajo costo y seguridad para las personas que lo hacen. A 100 litros de agua, se le agregan 2 ½ kilos de bórax y 2 ½ kilos de ácido bórico. Estos productos no son tóxicos pero si hay que evitar el contacto directo con los ojos.” (Guayaquil, 2010)

“Para hacerlo se cava una zanja en el suelo del largo de las cañas. Se recubre la zanja con un plástico grueso para retener el líquido y se meten las cañas, a las que previamente hay que perforarles los tabiques interiores. Allí se las tiene mínimo 3 días. La caña picada puede estar 24 horas. Hecho esto, se las saca y se las envuelve en plástico por una semana para que penetre bien el químico, luego de lo cual se les deja al aire libre, aisladas del suelo, para el secado final.” (Guayaquil, 2010)

Las uniones se deben realizar siempre con pernos de acero o con tacos de madera dura, pero no se debe usar clavo o puntillas, y si la unión es permanente nunca usar cuerdas, sogas vegetales o sintéticas, o alambres; los aceros de fijación de los elementos de bambú deben ser mínimo de 10 mm, y, si llevan pernos, las cañas deben ser rellenas con morteros de hormigón. Para pernos de 10 y 12 milímetros se debe usar un anillo entre la tuerca y la caña. (Morán Ubidia A. J., Tecnología de las Edificaciones con Bambú, 2007)

“El recubrimiento de la caña expuesta al sol que hace que se torne blanca y se deteriore, se debe recubrir con arena-cemento o una mezcla de materiales orgánicos con tierra (quincha).” (Poppens & Ubidia, 2009)

## **Capítulo 2. Analizar los planos**

### **2.1 Descripción general de la construcción de la vivienda**

Se modelaron dos estructuras que usan componentes de bambú, las mismas que están ubicadas en la ciudad de Cuenca, por el sector Universidad del Azuay, en las calles las Garzas y las Palomas.

Para ambas construcciones se tiene un tipo de suelo B que tiene un rigidez mediana apta para la construcción, como se encuentra en la ciudad de Cuenca, según la NEC, capítulo: peligro sísmico, la zona sísmica es Sierra, Esmeraldas y Galápagos; se usa una  $z= 0.5$ , con un método de análisis dinámico y la importancia de la obra se considera en otra pues tiene solo un uso de vivienda.

La vivienda tiene un área de 377 metros cuadrados, la cual consta de cuatro pisos: el sótano tiene una altura de 2.60 metros, la planta baja tiene un desnivel de N-0.54 y comienza lo demás en el nivel N+0.00, la planta alta tiene una altura de 2.88 metros y terraza. La vivienda es construida en gran parte de acero, pero tiene una aleación con bambú, específicamente caña guadua.

Las vigas que se usaron en esta estructura son vigas de acero I descolgadas de 20 x 30 cm. y las vigas de borde I de 200 mm, las columnas son de hormigón armado de 30 x 30 cm que nacen de zapatas que tienen dos tamaños: de 80 X80, y de 100 X 100, estos tenemos a dos niveles, los primeros en el nivel N-3.56 y en el nivel N-0.54, y, para el bambú se usaron bambúes de diámetros entre 12 y 15 cm, pero siempre mayores a 12 cm.

Los departamentos están constituidos en su mayoría por bambú, tienen un área de 230.08 metros cuadrados, desde las columnas que nacen de un plinto de hormigón armado, un sobre cimientado de hormigón ciclópeo de piedra mediana y entre nudos rellenos de mortero, que soporta cuatro columnas de bambú, a más del plinto para unir las cañas se usaron piezas de madera clavadas a la caña para darle apoyo a la estructura; además, en las partes laterales se usaron dos cañas y en la parte de la grada se usaron tres cañas para brindar mayor seguridad, el mismo consta de un sótano y dos pisos; y en cada piso hay dos departamentos, la vivienda es arriostrada por ambos lados.

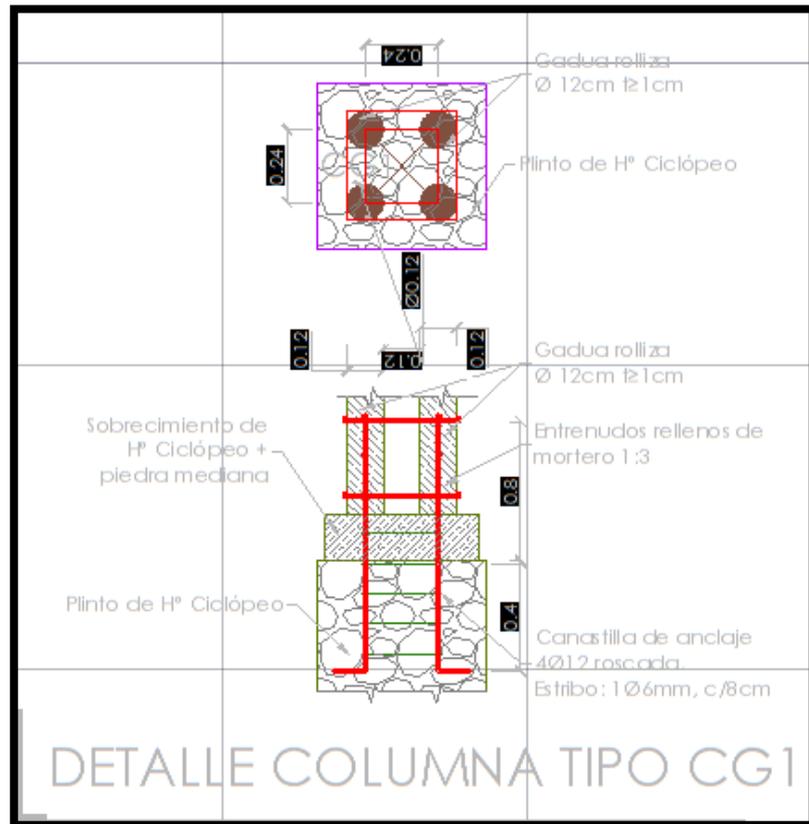


Figura 2.1. Detalle de columnas

Fuente: Arq. Valeria Bustos



Figura 2.2. Construcción de columna en obra.

Fuente: Arq. Valeria Bustos.

Para los cálculos se usaron formulas indicadas en la NEC para sacar el área, y para las propiedades que requiere el programa se sacaron de tesis y libros dedicados a trabajar con este material, los datos tales como los diámetros fueron obtenidos en campo, pues como se tienen los planos se presentan el tamaño usado que se usaron se presentan a continuación:

Diámetro: 15cm

Área neta

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 1: } A &= \frac{\pi}{4} (15^2 - (15 - 2 * 2.5)^2) && \text{(Ecu 1)} \\ A &= 98,1748 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Área cortante

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 2: } \frac{A_{neta}}{1.20} &&& \text{(Ecu 2)} \\ A \text{ cortante} &= 81,8123 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Inercia

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 3: } \frac{\pi}{2} (R_{ext}^4 - R_{int}^4) &&& \text{(Ecu 3)} \\ \text{Inercia: } &3988.35 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Inercia a torsión

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 4: } \frac{Inercia}{0.5952} &&& \text{(Ecu 4)} \\ \text{Inercia a Torsión: } &6700.8569 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Peso Específico: 775 **kg/m<sup>3</sup>**

Módulo de Elasticidad = 76478.72 **kg/cm<sup>2</sup>**

Coefficiente de Poisson = 0.34

Coefficiente de Dilatación = 0.0000415

Tanto para los departamentos como para la vivienda, se utilizó una losa de hormigón maciza para los entresijos la misma es colocada sobre una pieza de caña picada, para trabajar en el programa se utilizan las normas NEC y en esta nos especifica que la losa mínima debe ser de 8cm. pero en realidad la estructura tiene una losa de 6 cm de hormigón de  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ , con malla electrosoldada R84, 1 varilla de 4 mm de diámetro cada 15 cm.



*Figura 2.3. Separación entre bambú y fundición de losa*

Fuente: Arq. Valeria Bustos



*Figura 2.4. Fundición de losa*

Fuente: Arq. Valeria Bustos



*Figura 2.5. Resultado de la losa terminada.*

Fuente: Arq. Valeria Bustos

La caña picada tiene una gran variedad de aplicaciones en la construcción tales como: cielos rasos, pisos, paredes, encofrado y pequeños puentes. La caña picada se hace con guaduas maduras, pero frescas. Este es un trabajo manual que se realiza con hacha y bastante experiencia, para su uso hay que quitarle la tripa, esto es la parte blanca interna, por donde entran los hongos y polillas. Solo se deja el material fibroso, se realiza un corto en la mitad de la caña que queda con una longitud de 40 cm más o menos, la misma se tritura y se procede al armado. (Guayaquil, 2010) (Bustos Criollo, 2017)

Las cargas con las que se van a trabajar van a ser las mismas en ambas estructuras y tomadas de la NEC, carga viva o también llamada sobrecarga de uso es de  $2 \text{ kn/m}^2$ , para cargas permanentes  $2 \text{ kn/m}^2$  en las cuales se incluye: muros, paredes y mampostería; y para el peso propio de  $2 \text{ kn/m}^2$ , que son las viguetas de caña guadua utilizada para los entresijos de las viviendas y la losa de hormigón maciza de 6 cm.

Las uniones son diferentes para las dos modulaciones, en el caso de la estructura mixta, es decir la casa, el bambú no tiene un papel importante pues son viguetas para los entresijos, su unión con las vigas es simplemente apoyada. Por otra parte, la losa de hormigón es fundida de manera independiente, es decir que no son un solo elemento el bambú con el hormigón.



*Figura 2.6. Colocación de caña como vigas y viguetas.*

Fuente: Arq. Valeria Bustos

Para los departamentos, en este caso como la estructura en si está conformada por caña las uniones se presentan de diferente manera, tenemos varios tipos de uniones; la primera llamada boca de pez es la primera unión que se usaba desde el inicio del bambú en la construcción; la segunda es una unión con pernos, para los pernos los huecos se deben hacer con un taladro rápido para no causar mucho impacto, esta unión se utiliza para unir el extremo de una caña rolliza a otra perpendicular, realizando en la pieza vertical un corte transversal a 2 o 3 cm del nudo inmediato inferior. (Morán Ubidia A. J., Tecnología de las Edificaciones con Bambú, 2007) (Uribe & Revelo, 2004)



*Figura 2.7. Unión boca de pez*

Fuente: Arq. Valeria Bustos

### **Unión en cruz**

Se realiza con dos piezas de bambú donde la una es de menor diámetro que la otra, en esta también se usa pernos y relleno de mortero para dar mayor seguridad.



*Figura 2.8. Unión en cruz*

Fuente: Arq. Valeria Bustos

### **Unión varilla roscada**

Se unen cuatro elementos con pernos, y además se cruzan entre la mitad de ellos en forma perpendicular otros elementos de bambú.



*Figura 2.9. Unión varilla roscada*

Fuente: Arq. Valeria Bustos



*Figura 2.10. Obra en construcción*

Fuente: Arq. Valeria Bustos



*Figura 2.11. Obra terminada, vista lateral de los departamentos.*

Fuente: Arq. Valeria Bustos



*Figura 2.12. Obra mixta terminada.*

Fuente: Arq. Valeria Bustos

Estos resultados se tomaron en una vigueta que tiene una luz de 4.61 metros de longitud y en la mitad para soporte tiene una viga de acero de cajón de 20cm.

*Tabla 2.1. Resultado de valores resiste el bambú.*

Descripción	Valor que resiste	Valor calculado	Valor máximo resistente
Diseño a flexión	7541313.85 N*mm	7.52 N/mm <sup>2</sup>	15 N/mm <sup>2</sup>
Diseño a cortante	5187.72 N	1.16 Mpa	1.24 Mpa
Diseño a aplastamiento	1394.96 N	0.341 Mpa	1.26 Mpa

## 2.2 Comprobación de los resultados del bambú

Las formulas usadas a continuación se tomaron de la tesis con título: Construcción de tableros y péndolas en puentes colgantes peatonales con bambú como material local, y con autor es: Ing. Jorge Antenor Martínez Fernández. (Martínez Fernández, 2015)

Diseño a flexión

$$S = \frac{\pi(5De^4 - 4De^2(De-2t)^2 - (De-2t)^4)}{32De} \quad (\text{Ecu 5})$$

Longitud de viga 4.61

M= 7541313.85 N

De= 150 mm

t= 20 mm

S= 100200.78 mm<sup>3</sup>

fb=  $\frac{M}{S} = 7.52 \text{ N/mm}^2$

Fb= 15 N/ mm<sup>2</sup>

Momento actuante sobre el elemento

Diámetro exterior de la guadua

Espesor de la pared de la guadua

Módulo de Sección

Esfuerzo admisible a flexión

Esfuerzo admisible modificado a flexión

Si cumple  $Fb \geq fb$

Fuente de las formulas: (Martínez Fernández, 2015)

Diseño a cortante

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left( \frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F_v \quad (\text{Ecu 6})$$

V= 5187.72 N

Cortante actuante sobre la sección

De= 150 mm

t= 20 mm

f<sub>v</sub>= 1.16 Mpa

Esfuerzo admisible a cortante paralelo a la fibra

F<sub>v</sub>= 1.24 Mpa

Esfuerzo admisible modificado a cortante  
paralelo a la fibra

Si cumple.

Fuente de las formulas: (Martínez Fernández, 2015)

Diseño al aplastamiento

$$f_p = \frac{3 * R * D_e}{2 * t^2 * L} \quad (\text{Ecu 7})$$

R=1349.96 N

De= 150 mm

t= 25 mm

f<sub>p</sub>= 0.341 Mpa

F<sub>p</sub>= 1.26 Mpa

Si cumple.

Fuente de las formulas: (Martínez Fernández, 2015)

### 2.3 Viga de hormigón armado

Las formulas usadas a continuación se tomaron de un documento con titulo: Guia practica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. (NEC, 2017)

$$f'c = 240 \text{ kg/cm}^2 = 23.54 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 412.08 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$h = 0.15 \text{ m} \quad d = 0.11 \text{ m}$$

$$b = 0.15 \text{ m}$$

$$M = 6841.36 \text{ N}$$

Momento actuante sobre el elemento

$$k = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot b \cdot d}{f_y} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$k = \frac{0.85 \cdot 23.54 \cdot 0.11 \cdot 0.15}{412.08} = 0.0008011$$

$$A_s = k \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M \cdot u}{\phi \cdot k \cdot d \cdot f_y}}\right) \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$A_s = 0.0008011 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 6841.36}{0.9 \cdot 0.0008011 \cdot 0.11 \cdot 412.08 \times 10^6}}\right) = 0.00019034$$

$$A_s = 1.90 \text{ cm}^2$$

$$P = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$P = \frac{1.9}{11 \cdot 15} = 0.0115$$

Comprobación de acero mínimo

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1.4}{f_y} \cdot b \cdot d = \frac{1.4}{412.08} \cdot 0.11 \cdot 0.15 = 0.40 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \cdot f_y} \cdot b \cdot d = \frac{\sqrt{23.54}}{4 \cdot 412.08} \cdot 0.11 \cdot 0.15 = 0.35 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$A_s \geq A_{s \text{ min}}$$

$$P_b = 0.85 \cdot \beta \cdot \frac{f'c}{f_y} \cdot \frac{0.003}{\frac{f_y}{E_s} + 0.003} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$Pb = 0.85 * 0.85 * \frac{23.54}{412.08} * \frac{0.003}{\frac{412.08}{200055.66} + 0.003} = 0.0245$$

$$P_{max} = 0.5 * P_b = 0.0122 \quad (\text{Ecu 14})$$

$$P_{bmax} \geq P$$

$$0.0122 \geq 0.0115 \quad \text{Si cumple}$$

Diseño a corte

$$\text{Área Mayor} = 1.90 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área Menor} = 1.55 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{A_s * \alpha * f_y}{0.85 * f'c * b} \quad (\text{Ecu 15})$$

$$a = \frac{1.90 * 1.25 * 412.08}{0.85 * 23.54 * 15} = 3.26 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{1.55 * 1.25 * 412.08}{0.85 * 23.54 * 15} = 2.66 \text{ cm}^2$$

$$M_p = \frac{1.25 * A_s * f_y * (d - \frac{a}{2})}{1.02 * 10^6} \quad (\text{Ecu 16})$$

$$M_{p1} = \frac{1.25 * 1.90 * 412.08 * (11 - \frac{3.26}{2})}{1.02 * 10^6} = 1.36 \text{ t * m}$$

$$M_{p2} = \frac{1.25 * 1.55 * 412.08 * (11 - \frac{2.66}{2})}{1.02 * 10^6} = 1.11 \text{ t * m}$$

$$V_p = \frac{M_{p1} + M_{p2}}{\text{longitud}} \quad (\text{Ecu 17})$$

$$V_p = \frac{1.36 + 1.11}{2.30} = 1.074 \text{ t}$$

$$V_p = 1.08 \text{ t}$$

$$V_p \geq 0.5 V_\mu \quad (\text{Ecu 18})$$

$$1.08 \geq 0.5 * 1.08 = 0.54$$

$$V_c = 0$$

$$V_\mu = 1.08 \text{ t}$$

$$A_v = \frac{\frac{V_\mu}{\phi} - 0}{f_y * d} \quad (\text{Ecu 19})$$

$$A_v = \frac{\frac{10591.18 \text{ N}}{0.75} - 0}{412.08 * 10^6 * 0.11} = 0.000311 \text{ m}^2 = 3.11 \text{ cm}^2$$

Área longitudinal:  $1.90 \text{ cm}^2$

4  $\phi$  8 mm

Área transversal:  $3.11 \text{ cm}^2$

4  $\phi$  10 mm con una @ 10 cm en el 1/3 de la luz, y @ 15 cm en el resto.

### Capítulo 3. Análisis económico

#### 3.1 Análisis económico de un metro cuadrado de construcción de una vivienda de bambú

El análisis económico de la vivienda se realiza con el costo de la vivienda y el área de construcción, el área de construcción es de 377 metros cuadrados. El costo por metro cuadrado es de aproximadamente: \$650 a \$700 con acabados incluidos.

El análisis se va realizar en una losa de 1 m<sup>2</sup> de área, pero se toma una losa de la vivienda que tiene de largo 4.60 y 5 m de ancho.

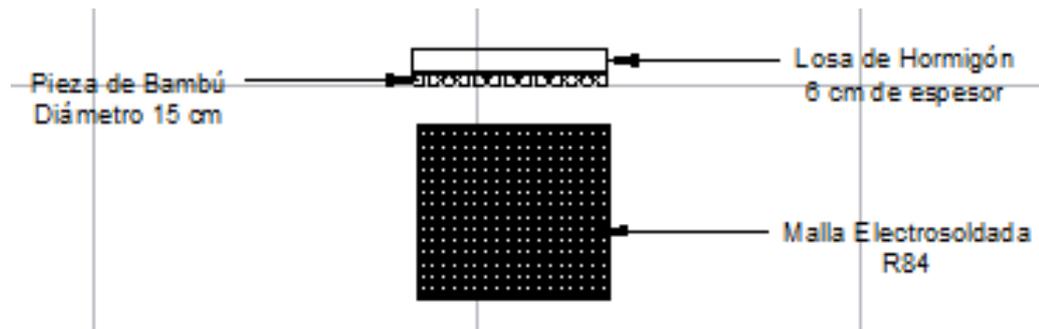


Figura 3.1. Corte de una losa de bambú y hormigón

Fuente: Autor

Tabla 3.1. Precio unitario por m<sup>2</sup> de losa de bambú

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Bambú	Unidad	0.56	6.00	3.36
Caña para encofrado	m <sup>3</sup>	0.62	6.60	4.07
Losas de hormigón de 6cm	m <sup>3</sup>	0.063	150	9.45
Malla electrosoldada de R84	m <sup>2</sup>	1.10	4.00	4.40
		Total		21.28

Fuente: Autor

### 3.2 Análisis económico de un metro cuadrado de construcción de una vivienda tradicional

El análisis se va realizar en una losa de 1 m<sup>2</sup> de área, pero se toma una losa de la vivienda que tiene de largo 4.60 y 5 m de ancho.

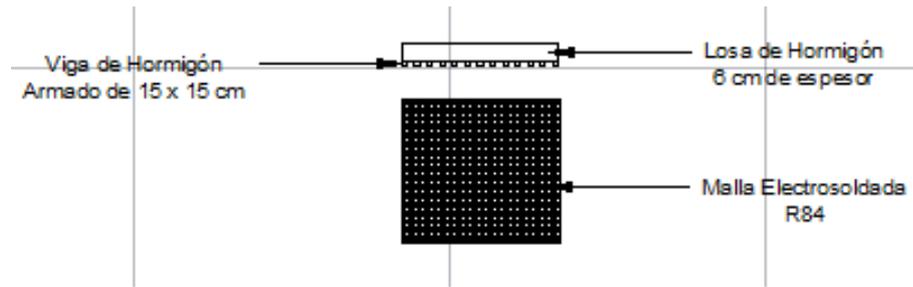


Figura 3.2. Corte de una losa de vigas de hormigón

Fuente: Autor

Tabla 3.2. Precio unitario por m<sup>2</sup> de losa de hormigón armado

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Hormigón armado	Unidad	0.56		
Hormigón	m <sup>3</sup>	0.0127	200	2.55
Acero de refuerzo φ8mm	Kg	1.12	5.12	5.74
Acero de refuerzo φ10mm	Kg	1.12	8.00	8.96
Losa de hormigón de 6cm	m <sup>3</sup>	0.063	150	9.45
Malla electrosoldada de R84	m <sup>2</sup>	1.10	4.00	4.40
		Total		31.10

Fuente: Autor

### 3.3 Conclusión de los resultados

El bambú es un material 100% ecológico y sustentable por su rapidez de renovación natural. A su vez está clasificado como una madera semidura a dura.

Para la construcción con bambú no se requieren de herramientas especiales y permite el uso de mano de obra no calificado, pero siempre y cuando tengan a su cargo alguien que les guíe con los conocimientos necesarios y les enseñe estas nuevas técnicas de construcción.

El uso del bambú será limitado hasta que los esfuerzos al aplastamiento lo admitan, pues se caracteriza por sus valores bajos.

Notamos que el bambú está limitado por el diseño a cortante, pues esta característica es la que resulta estar muy cerca al límite, entonces hay que tomar consideraciones cuando se diseñe para estos esfuerzos.

Es apto para construcciones sismo resistentes, debido a sus propiedades como su rigidez y elasticidad que evitan su ruptura al curvarse.

En base a las tablas anteriormente presentadas, podemos notar que se hizo una comparación entre el precio por metro cuadrado de una losa con viguetas de bambú y de acero, respectivamente. De acuerdo a los resultados, nos damos cuenta que el bambú tiene un precio muy por debajo que el acero, y si esto lo hacemos macro, es decir, en toda la vivienda; el precio de construcción de una vivienda de bambú es mucho menor que una con materiales convencionales tales como el hormigón armado.

Si se construye con bambú se tiene una vivienda digna, elegante y bonita a la vista pero con precios menores de construcción y que a la vez es eco amigable, es decir, amigable con el ambiente.

“Los materiales de la construcción convencionales en su proceso de fabricación, significan 7TM de CO<sub>2</sub> por cada m<sup>2</sup> de construcción y es causante del 50% de la emisión de gases que causan el efecto invernadero, la mayor densidad de: hormigón, acero, bloques, ladrillos etc. aumentan la conductividad térmica y por lo tanto la pérdida de confort en climas calidos-humedos, mientras que el uso de bambú reduce esta cifra, este recurso al ser explotados y transformados de manera adecuada, posean las condiciones de calidad y eficiencia, y un menor daño al ambiente.”

(Morán Ubidia A. J., Alternativas Tecnológicas Sustentables para la Construcción, 2009)

*Tabla 3.3. Tasa de energía para la producción de materiales de construcción (ECO-COSTO)*

Material	Unidad	Valor
Bambú	MJ / m <sup>3</sup> por N/mm <sup>2</sup>	30
Madera	MJ / m <sup>3</sup> por N/mm <sup>2</sup>	80
Hormigón	MJ / m <sup>3</sup> por N/mm <sup>2</sup>	240
Acero	MJ / m <sup>3</sup> por N/mm <sup>2</sup>	1500

Fuente: Prof. Jules Janssen, Eindhoven University (NL)

En conclusión de esta tesis, construir con bambú tiene muchos beneficios, primero que tiene un costo mucho menor de construcción sus precios son bajos debido a que son materiales naturales que tenemos aquí en Ecuador. Segundo que es una vivienda que no daña el ambiente, pues si produce contaminación pero es casi nula comparada con la que producen los materiales convencionales.

Finalmente, podemos cambiar la idea de que construir con bambú es solo para viviendas sociales, es decir, para gente de bajos recursos; en esta tesis se presta una vivienda elegante, resistente y liviana, con un modelo arquitectónico muy bonito que nos ayuda a cambiar esa idea, esta vivienda está en la ciudad y se aprecia aún más bonita que las casas laterales que son solo hechas con materiales convencionales, le da un toque especial a la casa; lo cual la hace única, económica y a su vez amigable con el ambiente.

### **3.4 Recomendaciones**

Se recomienda hacer un ensayo de laboratorio con una pieza de bambú, para encontrar una manera de mejorar su resistencia al cortante y al aplastamiento.

Para la construcción resulta rápida y sencilla la conformación de vigas y columnas principales, pero con un entrenamiento de la mano de obra, especialmente en las uniones de los elementos de caña guadua y la fijación entre ellas.

En las uniones siempre se deben rellenar con motero con una varilla o perno, y para el espacio del perno hay que taladrar para no causar mayor impacto en la pieza de bambú, con lo que se logra transmitir las cargas desde el mortero a las paredes de la guadua por medio de los pernos en los nudos.

Hasta el momento es común el uso de caña guadua en la construcción, aunque se usan en viviendas para personas de bajos recurso, pero podemos cambiar esa mentalidad pues hemos visto anteriormente los resultados que podemos obtener si se hacen los cálculos adecuados se pueden hacer obras maravillosas y estéticamente admirables en caña.

## Bibliografía

- Arquigrafico*. (Octubre de 2016). Obtenido de <https://arquigrafico.com/el-bambu-en-la-construccion/>
- Aspiazu, C. N. (2012). *DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA DURABILIDAD DE TABLEROS DERIVADOS DEL BAMBU (GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH), MEDIANTE PRUEBAS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADOS*. Guayaquil: Univerisdad de Guayaquil.
- Beniparrell, N. y. (Diciembre de 2015). *Bambusa*. Obtenido de <http://bambusa.es/>
- Bustos Criollo, N. V. (Julio de 2017). *Arquitectura*. (S. Fernandez, Entrevistador)
- Chuquimarca, L. F. (2015). *DISEÑO DE UN MODELO DE VIVIENDA ECOLÓGICA CON BAMBÚ PARA LA ZONA RURAL DE YANTZAZA*. Loja, Ecuador.
- Cobos Fischer, J. A., & León Rodriguez, X. A. (2007). *PROPIEDADES FÍSICAS-MECÁNICAS DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH Y APLICACION AL DISEÑO DE BATERIAS SANITARIAS DEL IASA II*. Sangolqui.
- Colombia, U. N. (2011). *Metodología de Diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles*. Bogota: Asociación Colombiana de Facultad de Ingeniería .
- Comercio, E. (2016). *El Comercio*. Obtenido de [www.elcomercio.com](http://www.elcomercio.com)
- Ecuador, B. (2017). *Bambú Ecuador*. Obtenido de <https://bambu.com.ec>
- EcuRed. (8 de Agosto de 2018). *EcuRed Conocimiento con todos y para todos*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Bambú>
- Guayaquil, M. d. (2010). Construir con caña guadua. *Municipalidad de Guayaquil*, pág. 40.
- Inbar. (2015). *Bambu Ecuador*. Obtenido de Taxonomía, Ecología y Silvicultura del Bambú (con énfasis en Guadua Angustifolia): <https://bambu.com.ec>
- Londoño, X. (2001). *Botánica taxonómica de los bambúes de América*. Venezuela: Seminario Internacional de Bambú.
- Luna, P., Lozano, J., & Takeuchi, C. (2013). Determinación experimental de valores característicos de resistencia para Guadua angustifolia. *Scielo*, 40.
- Martínez Fernández, J. A. (2015). *Construcción de tableros y péndolas en puentes colgantes peatonales con bambú como material local*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Martínez García, S. (2015). *Bambú como material estructural: Generalidades, aplicaciones y modelación de una estructura tipo*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Mendoza Castro, J. A., & Rosales Salcedo , J. N. (2014). *Uso de la caña guadua en la vivienda modular*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5218>

- Morán Ubidia, A. J. (2007). Tecnología de las Edificaciones con Bambú. *Alternativas constructivas para viviendas de interes social*, (pág. 87). Ecuador.
- Morán Ubidia, A. J. (2009). Alternativas Tecnologicas Sustentables para la Construccíon., (pág. 32). Quito.
- Morán Ubidia, J. A. (2001). *Usos tradicionales y actuales del bambú en América con énfasis en Ecuador y Colombia* Usos tradicionales y actuales del bambú en América con énfasis en Ecuador y Colombia. Quito, Ecuador: Edtoral Politecnica Nacional.
- Morán Ubidia, J. A. (2015). USOS DEL BAMBÚ EN EL MUNDO CON ÉNFASIS EN AMÉRICA. *USOS DEL BAMBÚ EN EL MUNDO CON ÉNFASIS EN AMÉRICA* (pág. 35). INBAR – Red Internacional del Bambú y Ratan.
- Mundial, B. (2013). *Banco Mundial BIRF-AIF*. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/01/23/ecuador-innovates-with-bamboo-houses-for-the-poor>
- NEC, N. E. (2017). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*.
- Poppens, R., & Ubidia, J. M. (2009). *Vivir con Guadua, Manual de Construcción*. Quito, Ecuador : Red Internacional de Bambú y Ratán.
- Rúgolo, Z. E. (2016). *Bambúes Leñosos nativos y exóticos de la Argentina*. Argentina.
- Sanchez, M. (5 de Abril de 2014). *Jardineria On*. Obtenido de <https://www.jardineriaon.com/el-bambu-una-planta-primitiva-muy-decorativa.html>
- Ubidia, J. M. (2015). *Construir con Bambú, Caña de Guayaquil, Manual de Construcción*. Guayaquil: Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR.
- Uribe, E., & Revelo, M. (2004). ENTALLADURAS, EMPALMES Y UNIONES DE PIEZAS DE BAMBÚ EN LA CONSTRUCCIÓN. 35.