

Estudio y análisis de las características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural en construcciones, contribuyendo a su mayor uso en la ciudad región

Cesar Augusto García Marín
2018

Universidad Santo Tomás
Vicerrectoría de Universidad Abierta y a Distancia
Facultad de Ciencias y Tecnologías
Construcción en Arquitectura e Ingeniería

Estudio y análisis de las características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural en construcciones, contribuyendo a su mayor uso en la ciudad región

Cesar Augusto García Marín.
Julio 2017

Trabajo Realizado Para el espacio académico de Proyecto Profesional
Arq. Rodrigo Avendaño Colmenares

Universidad Santo Tomás
Vicerrectoría de Universidad Abierta Y A Distancia
Facultad De Ciencias y Tecnologías
Construcción En Arquitectura E Ingeniería

CONTENIDO

1. Introducción	8
2. Área Problemática	10
2.1 Análisis y formulación del problema:	10
2.1.1. Formulación del interrogante mayor de la investigación:	10
3. Objetivos	11
3.1 General	11
3.2 Específicos	11
4. Justificación	12
5. Estado Del Arte	13
5.1. Relación de investigaciones anteriores o asociadas	13
6. Marco Teórico	15
6.1. Homologación Estructural del Pabellón Zeri, Manizales.	15
6.2. Algunas Definiciones	16
7. Desarrollo Del Proceso Investigativo.....	21
7.1 Cronograma con las etapas de investigación:	21
7.2 Instrumentos de investigación.	21
7.3 Determinación de la muestra y recolección de información	23
7.4 Análisis de información.	24
7.5 Conclusiones Investigativas.....	33
7.6 Identificación de estudios relacionados con el uso, características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural.....	33
7.7 Lectura y análisis de información seleccionada.	35
7.7.1 Uso de la guadua desde el punto de vista de la sismo-resistencia	35
7.7.2 Clasificación de los sistemas constructivos en guadua	38
7.7.3 Normalización de sistemas de protección y de especificaciones técnicas de obra en construcciones con guadua	38
7.8 Las Uniones y los Amarres.....	38
7.9 Principales aspectos del trabajo de Lamus, Plazas & Luna. (2003)	43
7.9.1 Metodología	44
7.9.2. Resultados de la investigación de Lamus, Plazas & Luna.	47
7.9.3 Conclusiones trabajo de Lamus, Plazas & Luna.....	54

7.10 Identificación de los aspectos más relevantes del análisis que permiten determinar las características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural en construcciones, como mecanismo para lograr un mayor uso y posicionamiento en la ciudad región (Manizales, Caldas).	55
8. Conclusiones Generales	56
9. Nuevos Interrogantes.....	58
10. Bibliografía.....	60
11. Anexos	61
11.1 Anexo 1. Comportamiento Estructural De La Guadua Angustifolia. Uniones En Guadua	61
11.2 Anexo 2. ¿Se Deben Realizar Algunos Ensayos Para Verificar El Comportamiento De La Guadua, A Compresión Paralelo A La Fibra, En Uniones Y En Nudos?	71

Lista de Tablas

	Pag.
Tabla 1. Cronograma desarrollo del proyecto	21
Tabla 2. Módulo de Elasticidad en solicitaciones externas en bambú	36
Tabla 3. Resistencia a tracción, compresión y flexión del bambú y otras Maderas	36
Tabla 4. Resistencia a tracción, compresión y flexión de otras maderas	37

Lista de Imágenes

	Pag.
Imagen 1. Uniones con pasantes	39
Imagen 2. Uniones de Encaje.	40
Imagen 3. Empalmes de Piezas Horizontales	41
Imagen 4. Soportes de Vigas Horizontales	41
Imagen 5. Soportes de Vigas Horizontales Viga de cuatro elementos	42
Imagen 6. Otras Uniones	43
Imagen 7. Tabla 1 investigación de Lamus et.al. (2003)	44
Imagen 8. Tabla 2 investigación de Lamus et.al. (2003)	45
Imagen 9. Figura 1 investigación de Lamus et.al. (2003)	46
Imagen 10. Figuras 2 ^a , 2b, 2d investigación de Lamus et.al. (2003)	47
Imagen 11. Figura 3 investigación de Lamus et.al. (2003)	48
Imagen 12. Figura 4 investigación de Lamus et.al. (2003)	49
Imagen 13. Figura 5 investigación de Lamus et.al. (2003)	50
Imagen 14. Figura 6 investigación de Lamus et.al. (2003)	51
Imagen 15. Figura 7 investigación de Lamus et.al. (2003)	52
Imagen 16. Figura 8 investigación de Lamus et.al. (2003)	53
Imagen 17. Figura 8 investigación de Lamus et.al. (2003)	53

Lista de Gráficos

	Pag.
Gráfico 1. Conocimiento de la guadua como material de construcción.	25
Gráfico 2: Uso secundario de la guadua.	25
Gráfico 3. Principal uso de la guadua	26
Gráfico 4: Conocimiento de la guadua tratada y de larga duración.	27
Gráfico 5: consecución de la guadua tratada en la región.	27
Gráfico 6. Utilización de la guadua tratada	28
Gráfico 7. Cambio de materiales por la guadua tratada	28
Gráfico 8. Ofrecimiento de capacitación	29
Gráfico 9. Fuente de ofrecimiento de capacitación	29
Gráfico 10. Percepción hacia la existencia de un mercado para la guadua Tratada.	30
Gráfico 11. Ofrecimiento de trabajos con guadua tratada.	31
Gráfico 12. Beneficios de la guadua en la construcción.	31
Gráfico 13. Desventajas del uso de la guadua en la construcción.	32

1. Introducción

La guadua (*Angustifolia Kunth*), es el bambú endémico de América y se considera como nativo de Colombia, Venezuela y Ecuador. De esta planta existen más de 480 especies conocidas, crece en todos los continentes menos en Europa, en América existen aproximadamente 20 especies, en Colombia, aunque existen varias, la más utilizada es la *angustifolia*, clasificada por el botánico alemán sigismund kunth en 1822 y que desde entonces se denomina *angustifolia kunth*.

Algunas de las características principales de este bambú gigante con espinas, son tallos erectos con alturas hasta de 25 metros y diámetros entre 10 y 25 cm, sus paredes tienen hasta de 2 cms de espesor. Es una especie vegetal de muy rápido desarrollo; puede crecer en promedio 10 cm diarios; esto hace una gran diferencia con los árboles maderables que requieren muchos años para su aprovechamiento y uso en la industria de la construcción. Perteneció a la familia de las (gramíneas), la denominada subfamilia Bambusoideae, de donde proviene la denominada "Bambusa *Angustifolia Kunth*" o guadua.

La guadua es resistente y elástica, con un agradable aspecto, muy usada en todo tipo de construcciones, como: apoyos de diversa índole, en casas y cercas, en vigas, se divide para hacer canoas y abrevaderos, en puentes colgantes, en fin, en donde el hombre necesite de sus características resistencia, flexibilidad y confiabilidad.

En Colombia la guadua ha tenido un uso constructivo ancestral, puesto que los pueblos precolombinos la usaron ampliamente, posteriormente en el período comprendido entre la conquista y la edad moderna consolidó su uso, pero fue en la denominada colonización antioqueña a mediados del siglo diecinueve, que se utilizó de manera masiva para la vivienda y prueba de ello es el legado que aún se conserva en el antiguo caldas y parte de Antioquia.

Se ha adaptado su cultivo en la zona central del país, se encuentra en el eje cafetero, Antioquia, cauca, Tolima y parte del valle del cauca. Estudios calculan entre 50.000 y 60.0000 Ha., la mayor parte en guaduales naturales y sólo son aprovechadas menos de la mitad de estas hectáreas.

En Colombia, se estima una producción anual de 30 millones de metros lineales de guadua, que en su mayoría son utilizados en construcción como material auxiliar. No se tienen cifras de cuánto es utilizado en elaboración de viviendas, muebles y/o artesanías, dado que es un mercado de carácter informal con escasa regulación. Se sabe que el autoconsumo por parte de los productores es muy amplio, ya que para hacer el aprovechamiento hasta 20m³ no es necesario solicitar un permiso, se debe informar a

la CAR (Corporación autónoma Regional) correspondiente, aunque esto muchas veces no se haga.

En la actualidad existen diferentes entidades dedicadas al estudio de la guadua desde los diferentes aspectos: el ambiental como bosque, el económico para su aprovechamiento y desarrollo como cultivo, y todas las características de su desarrollo industrial y manufacturero.

A pesar de los avances y estudios investigativos acerca de las diferentes posibilidades y usos constructivos de la guadua, es muy baja la transferencia que se ha realizado de estos conocimientos y prácticas en proyectos constructivos. Se continúa considerando la guadua como un material auxiliar en la industria de la construcción.

La guadua presenta como su máximo referente constructivo en la actualidad al arquitecto Manizalita Simón Vélez, de gran trayectoria nacional e internacional, quien se ha preocupado por el rescate de las técnicas ancestrales y su mezcla con los nuevos desarrollos en diseño y resistencia, es de destacar su técnica de uniones empernadas.

Pese a lo anterior se presenta el reto de profundizar en el uso de la guadua en estructuras, para lo cual se hace necesaria la revisión y análisis de información derivada de procesos de investigación y pruebas de laboratorio realizadas por diversos actores regionales y nacionales, que permitan en el mediano y largo plazo realizar una adecuada transferencia tecnológica, especialmente en la ciudad- región (Manizales-Caldas).

2. Área Problemática

2.1 Análisis y formulación del problema:

2.1.1. Formulación del interrogante mayor de la investigación:

¿Es posible lograr un mayor uso de la guadua como elemento estructural en diversas construcciones de la ciudad región Manizales – Caldas? con base en la recopilación, estudio y análisis de investigaciones y pruebas de laboratorio realizadas por distintos actores regionales y nacionales, y consultando las fuentes primarias de dichas cadenas productivas

3. Objetivos

3.1 General

Estudiar y analizar las características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural en construcciones, como mecanismo para lograr un mayor uso y posicionamiento en la ciudad región (Manizales-Caldas).

3.2 Específicos

- Conocer el uso actual de la guadua en los diversos procesos constructivos en la ciudad de Manizales.
- Realizar la búsqueda, estudio y análisis de fuentes secundarias relacionadas con las características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural.
- Identificar los aspectos más relevantes resultantes del proceso anterior, que puedan ser utilizados como argumento que posibiliten aumentar el uso de la guadua en la ciudad- región.

4. Justificación

La presión mundial por el uso de recursos renovables hace que la industria de la construcción vea la guadua como un elemento constructivo, una opción de rápido crecimiento y fácil manejo, que, cultivado en forma sistemática, con requerimientos tecnológicos y económicos bajos, en poco tiempo puede conformar plantaciones forestales grandes y renovables rápidamente. Su composición orgánica y morfológica, por ser liviana flexible, resistente, cilíndrica, la ubican como una especie forestal muy útil, capaz, incluso, de suplir la madera.

Se considera necesario y relevante que los conocimientos y hallazgos obtenidos a través de procesos de investigación en alguno de los procesos de cultivo, transformación y tratamiento de la guadua, sobre los procedimientos a utilizar para mejorar las prácticas y los productos, se difundan para que lleguen al máximo número de actores del sector. Un mayor conocimiento se traduce en un mayor uso y apropiación de la guadua como elemento constructivo, pero de manera muy especial como elemento estructural.

La guadua ha sido utilizada exitosamente en construcciones modernas e innovadoras, diseñadas por expertos nacionales e internacionales. Esta valiosa capacidad de crear valor a través del uso de este material debería ser ampliamente difundida entre los profesionales vinculados al sector, dando a conocer adicionalmente beneficios económicos y técnicos tales como la elasticidad, estabilidad y resistencia, entre otros, en su uso estructural.

5. Estado Del Arte

5.1. Relación de investigaciones anteriores o asociadas

- a. ICA - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Características y estructura de la cadena de la Guadua en Colombia. Autor: Diana Espinosa. Documento de trabajo No. 35. Bogotá, enero 2004. Este estudio se centra en varios aspectos de las cadenas productivas, primero a nivel mundial sobre demanda y producción y luego a nivel interno sobre cultivo y comercialización además explora en varios de los usos industriales que se le pueden dar a la guadua.
- b. Fundación para el Desarrollo del Quindío. Caracterización del mercado para la industrialización de la guadua y tecnologías disponibles para industrialización de la Guadua. En: Proyecto para el montaje de una planta procesadora de Guadua para la elaboración de pisos, paneles y molduras en el Departamento del Quindío. Capítulo 2 y Anexo 3, respectivamente. Realizado por PROEXPORT.
- c. Held, Christian y Manzano, Iván. Análisis del Sistema de Producción a consumo. Informe Final. Proyecto: Investigaciones sobre el manejo y Análisis comparativo de estudios sobre la guadua 4 mercadeo sostenible del Bambú en Colombia y Costa Rica. Informe preliminar sobre los resultados del análisis de la cadena de la guadua. Universidad de Friburgo - Universidad Tecnológica de Pereira. Septiembre 2002. Este es un estudio comparativo de otras investigaciones del mercado de la guadua en Colombia, con el objetivo de identificar vacíos y necesidades en cuanto al análisis y si es necesario aplicar más estudios o entrevistas a los actores que intervienen en la cadena.
- d. Stam, Jörg. Proyecto latas y laminados de guadua. Informe final. Proyecto U.T.P.-GTZ. Pereira, marzo 2002. Este es un estudio de análisis y como tal compara el hecho del poco desarrollo industrial de la guadua y se basa en el hecho de que este es casi nulo por que persiste en la sub utilización de la guadua en postes para cercas y formaletas de construcción.
- e. USAID – Fundación Chemonics – Tecniforest. Proyecto CAD. Industrialización sostenible de la Guadua. Autor: Francisco Castaño. Buga, Valle del Cauca, diciembre de 2001. Este es un informe muy completo de consultoría par industrialización de la guadua y dentro de él analiza el autor los diferentes tópicos, desde las cadenas

productivas, las tendencias de consumo, los modelos de producción, para tratar de encadenarlos a un proyecto de producción industrial.

- f. Proexport. Estudio de mercado. Exportación de pisos en guadua a la Unión. Europea. Bogotá, 2001. Ha servido de base para estudios anteriormente citados.
- g. Corporación Autónoma Regional de Caldas – Cámara de Comercio de Manizales. Micro clúster de la Guadua. Manizales, 2002. Es un esfuerzo mancomunado de, Corpocaldas, Cámara de Comercio de Manizales, Carder, CRQ, y las fuerzas vivas de esta región para reconocer nuestros recursos naturales dentro del desarrollo regional, con el propósito de innovar y competir, de posicionar la región para generar empleo sostenible y amigable con el medio ambiente.

6. Marco Teórico

Ya que el punto central de este trabajo es el uso de guadua como material estructural conviene citar trabajos como el de Simón Vélez en el pabellón Zeri, pero visto desde la comprobación académica, que permitan dar soporte a tal aseveración. Son tan también relevantes los trabajos expuestos por este arquitecto en cuanto a las articulaciones y uniones estructurales, hechas para la Universidad del Rosario, Bogotá, 2011, y sobre los mismos aspectos las investigaciones de Lamus, plazas & Luna, para la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Allí aparte de este tema se aborda la relación guadua concreto con pruebas de laboratorio y análisis documental como también lo afirma la Revista Eco Habitar.

Si bien el uso es el foco de este trabajo, en la mayoría de los casos este se ve afectado por aspectos como la comercialización que son aclarados por estudios como el del Análisis comparativo de estudios sobre la guadua, Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. El tema posee múltiples aristas, se ha tratado de construir este trabajo explorando algunas de las que más representan sus postulados.

Definitivamente el bambú representa una alternativa viable, económica y ecológica, el construir implica la educación como materia prima; de nada servirá invertir miles de millones de pesos si nuestra gente no tiene conciencia ecológica. Es necesario, por no decir imperioso, promover un cambio profundo de actitud, buscando que el país, y sus gobernantes, entiendan la necesidad de conservar el ambiente. Hay en la guadua un gran potencial para la solución de muchos problemas, en especial el de la vivienda y ello sin pasar por alto (especialmente con el bambú): alimentación, producción de etanol – alcohol- celulosa-fabricación del papel- carbón, usos medicinales, bosques protectores, “sumidero” de carbono, control de erosión, paisajístico y mucho más, se encuentra entonces en ésta, un recurso poco explotado y poco conocido en el medio de manera técnica y masiva.¹

6.1. Homologación Estructural del Pabellón Zeri, Manizales.

El profesor Klaus Steffens, director del Instituto Experimental en la Universidad de Bremen desde 1980, ha realizado evaluaciones experimentales de carga de peso y

¹ Revista Eco Habitar. México

seguridad en la reconstrucción del edificio Reichstag en Berlín entre otros, diseñó y realizó pruebas de carga para determinar la capacidad portante de dicho pabellón. Luego de realizadas estas pruebas en Manizales, el profesor Steffens emitió un informe que sirvió como sustento ante las autoridades alemanas para la obtención de la licencia de construcción para el pabellón en Expo-Hannover 2000. Este estudio fue complementado con el cálculo estructural realizado por el profesor Joseph Lindemann, estudio que requirió los resultados de las pruebas de tracción-compresión y flexión realizadas por él en Alemania. Así, la guadua pasó todas las pruebas y quedó homologada como material de construcción en uno de los países más estrictos en cuanto a normas de construcción.²

Como material de construcción, la guadua tiene tres mercados diferenciados: como material de construcción que puede reemplazar la madera, como material de construcción de viviendas de interés social y para construcción de obras de infraestructura donde prima el diseño arquitectónico, puentes, casas, entre otros usos.

Con respecto a su utilización en obras de infraestructura de diseño, se debe hacer énfasis en las preferencias y exigencias de los constructores, arquitectos e ingenieros, y sus implicaciones en los costos de procesamiento.³

A continuación, se presentan algunas definiciones y aspectos relevantes que tienen relación directa con la investigación y cuya aplicación necesariamente será abordada en la etapa de estudio y análisis acerca del uso de la guadua como elemento estructural en construcciones.

6.2. Algunas Definiciones

- Ingeniería: “Es el arte de planificar el aprovechamiento de los recursos naturales, así como de proyectar, construir y operar los sistemas y las máquinas necesarias para llevar el plan a su término.”
“Arte que trata sobre la aplicación de los materiales y de las fuerzas de los materiales. Instinto creador, flexible, independiente, logran objetivos, aprovecha cualquier hecho o teoría de la ciencia con tal de que contribuya a su arte.”⁴

² VILLEGAS, S. Disponible en www.villegaseditores.com/loslibros/95881560500/9.html.

³ Análisis comparativo de estudios sobre la guadua, Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt.

⁴ WILSON, E. (productor del programa SAP2000) en su Libro Three dimensional static and dynamic analysis of structures

- Estructura: “Entidad física de carácter unitario, concebida como una organización de cuerpos dispuestos en el espacio de modo que el concepto del todo domina la relación entre las partes”.⁵ Según esta definición se concluye que una estructura es un ensamblaje de elementos que mantiene su forma y su unidad. Sus objetivos son: resistir cargas resultantes de su uso y de su peso propio y darle forma a un cuerpo, obra civil o máquina. Ejemplos de estructuras son: puentes, torres, edificios, estadios, techos, barcos, aviones, maquinarias, presas y hasta el cuerpo humano.
- Sistema Estructural: Es un ensamblaje de miembros o elementos independientes para conformar un cuerpo único y cuyo objetivo es darle solución (cargas y forma) a un problema civil determinado. La manera de ensamblaje y el tipo de miembro ensamblado definen el comportamiento final de la estructura y constituyen diferentes sistemas estructurales. En algunos casos los elementos no se distinguen como individuales, sino que la estructura constituye en sí un sistema continuo como es el caso de domos, losas continuas o macizas y muros, y se analizan siguiendo los conceptos y principios básicos de la mecánica.⁶

La estructura en la construcción desempeña un papel muy importante, ya que es el esqueleto que la sostiene y gracias a él se puede levantar y mantenerse en pie.

Otra razón por la cual la estructura es sumamente importante es porque es determinante en la organización de todos los espacios, existen varias ventajas y desventajas sobre la elección de la estructura y conforme los años han pasado esta ha ido evolucionando hasta nuestros días teniendo los métodos más modernos para lograr cosas realmente increíbles que el hombre nunca imaginó crear.

Pero en este proceso de búsqueda el hombre ha mirado en su entorno materiales que permitan cumplir con condiciones cada vez más exigentes, desde el punto de vista de la resistencia y la idoneidad ecológica con que deben realizarse las obras actualmente. Por ello el redescubrimiento de la guadua como material estructural cobra relevancia en nuestros días.

Se conoce como elemento estructural a las diferentes partes en que se puede dividir una estructura atendiendo a su diseño. El trazo de estos elementos se lleva a cabo siguiendo los principios de la resistencia de materiales y de la ingeniería estructural. Cada uno de los elementos estructurales poseen nombres que los identifican. Ahora bien, estos elementos se pueden clasificar siguiendo los tres criterios principales, que son:

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

- **Dimensionalidad del elemento**, según puedan ser modelizados como elementos unidimensionales (vigas, arcos, pilares,..), bidimensionales (placas, láminas, membranas) o tridimensionales.
- **Forma geométrica y/o posición**, la forma geométrica concreta afecta a los detalles del modelo estructural usado, así si la pieza es recta como una viga o curva como un arco, el modelo debe incorporar estas diferencias, también la posición u orientación afecta al tipo de estado tensional que tenga el elemento.
- **Estado tensional y/o solicitaciones predominantes**, los tipos de esfuerzos predominantes pueden ser tracción (membranas y cables), compresión (pilares), flexión (vigas, arcos, placas, láminas) o torsión (ejes de transmisión, etc.).

Los elementos estructurales fundamentales son:

1. Las vigas de directriz recta, que trabajan fundamentalmente a flexión
2. Las columnas, que trabajan fundamentalmente a compresión.

Es importante no perder de vista la importancia que tienen otros dos elementos:

- La cimentación
- El terreno, ya que si fallan por algún motivo no se consigue el objetivo final de una estructura que es fundamentalmente: traspasar las cargas de la construcción, de la que forma parte, al terreno.

Una tipología de viga muy frecuente es:

- La viga continua, consta de unos apoyos intermedios.
Los espacios entre pilares los denominamos vanos, que pueden ser:
Extremos.
Intermedios.
Central.

Los arcos: elementos estructurales que sirven para salvar los vanos, frecuentemente son de eje recto, pero también pueden serlo de eje curvo.

Una tipología característica es el arco de tres articulaciones.

Para las denominaciones de las estructuras se utilizan determinados aspectos significativos, como, por ejemplo:

La forma fundamental, por ejemplo: arco

Los apoyos, por ejemplo: empotramiento, articulación fija, ...

El tipo de nudos, por ejemplo: rígido, articulado.

Para una mejor visión de todo lo relacionado con la parte estructural de la guadua es pertinente acudir a la **Norma colombiana de construcciones sismo resistentes NSR-10 en su título G 12.3**, donde se establecen los parámetros a seguir para construir estructuralmente con guadua en Colombia:

G.12.3.1 — REQUISITOS DE CALIDAD PARA GUADUA ESTRUCTURAL —

La guadua rolliza utilizada como elemento de soporte estructural en forma de columna, viga, vigueta, pie derecho, entramados, entrepisos etc., debe cumplir con los siguientes requisitos:

- (a) La guadua debe ser de la especie *Guadua angustifolia* Kunth. El presente capítulo no contempla la posibilidad de utilizar otras especies de bambúes como elemento estructural.
- (b) La edad de cosecha para guadua estructural debe estar entre los 4 y los 6 años.
- (c) El contenido de humedad de la guadua debe corresponder con el contenido de humedad de equilibrio del lugar. Cuando las edificaciones se construyan con guadua en estado verde se deben tener en cuenta todas las precauciones posibles para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño.
- (d) La guadua estructural debe tener una buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. Además, se deben aplicar todos los recursos para protegerla mediante el diseño del contacto con la humedad, la radiación solar, los insectos y los hongos.

G.12.3.2 — CLASIFICACIÓN VISUAL POR DEFECTOS

G.12.3.2.1 — Las piezas de guadua estructural no pueden presentar una deformación inicial del eje mayor al 0.33% de la longitud del elemento. Esta deformación se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana y observar si existe separación entre la superficie de apoyo y la pieza.

G.12.4.2.2 — Las piezas de guadua estructural no deben presentar una conicidad superior al 1.0%

G.12.3.2.3 — Las piezas de guadua estructural no pueden presentar fisuras perimetrales en los nudos ni fisuras longitudinales a lo largo del eje neutro del elemento. En caso de tener elementos con fisuras, estas deben estar ubicadas en la fibra externa superior o en la fibra externa inferior.

G.12.3.2.4 — Piezas de guadua con agrietamientos superiores o iguales al 20% de la longitud del culmo no serán consideradas como aptas para uso estructural.

G.12.3.2.5 — Las piezas de guadua estructural no deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos antes de ser utilizadas.

G.12.3.2.6 — No se aceptan guaduas que presenten algún grado de pudrición.

G.12.3.2.7 — Todo proceso de preservación y secado de piezas de guadua rolliza debe seguir lo estipulado en la norma NTC 5301.

G.12.3.4 — CLASIFICACIÓN MECÁNICA — La clasificación mecánica de la guadua se ha realizado según lo estipulado en la norma NTC 5525, en relación con su capacidad a resistir cargas de compresión paralela, corte paralelo, flexión y tracción, así como, en su módulo de elasticidad. Las propiedades de la guadua se relacionan en la tabla G.12.7-1 y G.12.7-2

G.12.3.4.1 — Para calcular el peso propio de la estructura se recomienda usar una masa específica 800 kg/m³ para la guadua angustifolia kunth. Esta masa específica también se puede calcular siguiendo los procedimientos de la norma NTC 5525. Véase B.3.2.

7. Desarrollo Del Proceso Investigativo.

7.1 Cronograma con las etapas de investigación:

Duración en semanas febrero-abril 2016

Tabla 1. Cronograma desarrollo del proyecto.

ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Diseño del instrumento recolección de información (encuesta)	x											
Determinación de la muestra y recolección de información.		x	x	x								
Análisis y Conclusiones.				x	x							
Identificación de estudios relacionados con el uso, características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural.						x	x					
Lectura y análisis de información seleccionada.								x	x	x		
Identificación de los aspectos más relevantes del análisis.										x	x	
Informe Final												x

Fuente: elaboración propia.

7.2 Instrumentos de investigación.

El principal instrumento de investigación a utilizar será la encuesta, con cuestionario de preguntas cerradas, para tratar de evitar el desbordamiento del tema. Para esta técnica de recolección de información se considerarán las siguientes características:

Preguntas cerradas que eviten el exceso de variables, sencillas de fácil comprensión, claras que no presenten dudas, que no exijan un mayor esfuerzo del encuestado y que no le quiten mucho tiempo. De esta manera se elaboró el siguiente cuestionario:

ENCUESTA SOBRE EL USO CONSTRUCTIVO DE LA GUADUA

Estimado Profesional de la construcción, la siguiente encuesta tiene como objetivo conocer su percepción sobre el uso de la guadua en procesos constructivos.

Agradezco leer detenidamente y contestar las siguientes preguntas, marcando con equis (x) la opción que considere en cada pregunta.

1. **¿Conoce usted la guadua como material de construcción?**

SI _____ NO _____

2. **La ha utilizado como material secundario en:**

Soporte _____ Formaleta _____ Relleno _____ Otro _____

¿Cuál? _____

3. **Ha utilizado la guadua como material principal en:**

Vigas y Columnas _____ Techos _____ Acabados _____ Otro _____

¿Cuál? _____

4. **¿Conoce la guadua tratada y de larga duración?**

SI _____ NO _____

5. **¿Consigue la guadua tratada y de larga duración en la región?**

SI _____ NO _____

6. **¿Trabajaría con este tipo de material?**

SI _____ NO _____

7. **¿Cambiaría algunos materiales para utilizar este?**

SI _____ NO _____

8. **¿Le han ofrecido capacitación sobre este material?**

SI _____ NO _____

9. **¿Quién?**

UNIVERSIDAD _____ PROVEEDORES _____ GREMIO _____

OTRO _____

*Cuando se habla de gremio es la asociación, sindicato o similar en el cual está vinculado y le haya brindado capacitación de este tipo.

10. ¿Considera usted que existe mercado para este tipo de trabajos?

SI _____ NO _____

11. ¿Le han ofrecido trabajos con este material?

SI _____ NO _____

12. Señale en orden de importancia los beneficios de la guadua en la construcción (siendo 1 el de mayor importancia)

Durabilidad _____ Resistencia _____

Peso _____ Flexibilidad _____

Economía _____ Belleza _____

Otros _____

13. Señale en orden de importancia las desventajas que identifica en el uso de la guadua en la construcción (siendo 1 la más importante)

Vulnerabilidad a las plagas _____

Poca resistencia a la compresión _____

Vulnerabilidad a la humedad _____

Desigualdad en el material _____

Otro _____

7.3 Determinación de la muestra y recolección de información

La encuesta se aplicó a una muestra representativa de los actores de la cadena constructiva en la ciudad de Manizales, mayores de edad, que, en concepto del investigador, pueden tomar las decisiones a la hora de la utilización o no del material. Para ello se tomaron datos de la universidad nacional de Manizales, quien en un informe acerca de los graduados de esa universidad en ingeniería civil y arquitectura de los últimos diez años, se identifica un promedio de 80 a 100 egresados año; hay que tener

en cuenta otras personas que intervienen en esta cadena como son los comerciantes y maestros calificados.

Si la población es finita, es decir se conoce el total de la población, y se desea determinar cuántos elementos forman la muestra, es pertinente utilizar la siguiente fórmula:

Fórmula estadística que permite determinar una muestra representativa del total de los actores que intervienen en el proceso.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde: N= Total de la población

Z α = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 5%= 0.05)

q = 1- p (en este caso 1 – 0.05 = 0.95)

d = precisión (usamos el 5%)

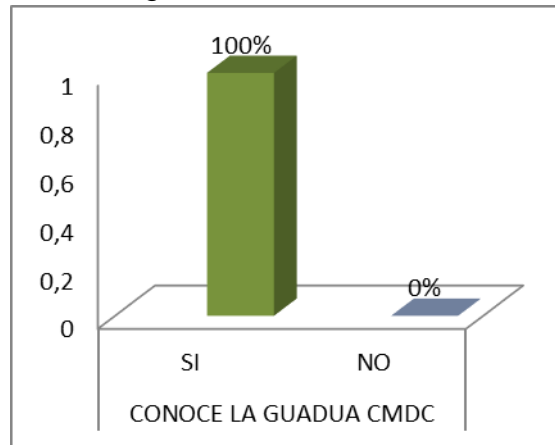
$$n = \frac{1000 \times 1.96 \times 0.05 \times 0.95}{0.05 \times (1000 - 1) + 1.96 \times 0.05 \times 0.95} = 277$$

7.4 Análisis de información.

Análisis de datos: Una vez se recolecta la información del trabajo de campo se procede a agruparla mediante la tabulación de todos los resultados, así se elabora información útil y a la mano para la toma de decisiones.

1. ¿Conoce usted la guadua como material de construcción?

Gráfico 1. Conocimiento de la guadua como material de construcción.



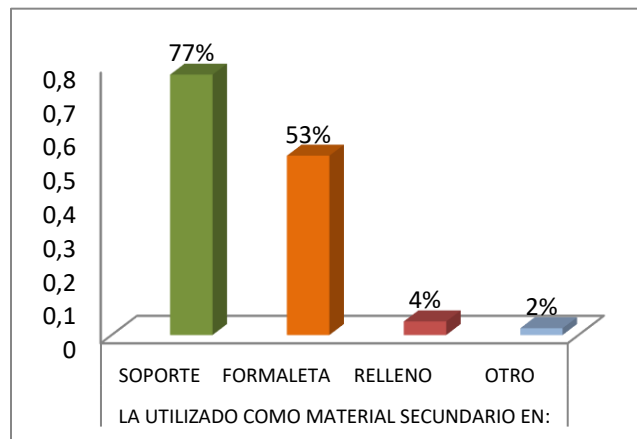
Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 100% respondió que sí; por lo tanto, esto demuestra que el total de la población conoce este material.

***Más que su opinión sobre la guadua, la pregunta busca el conocimiento sobre su uso.**

2. La ha utilizado como material secundario en:

Gráfico 2: Uso secundario de la guadua.

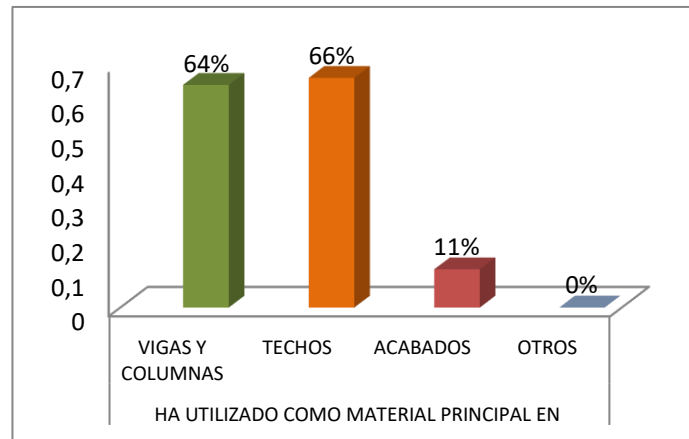


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 77% como soporte, el 53% como formaleta, el 4% como relleno, se identifica que el material es conocido y utilizado por la mayoría de las personas como material secundario.

3. Ha utilizado la guadua como material principal en:

Gráfico 3. Principal uso de la guadua.



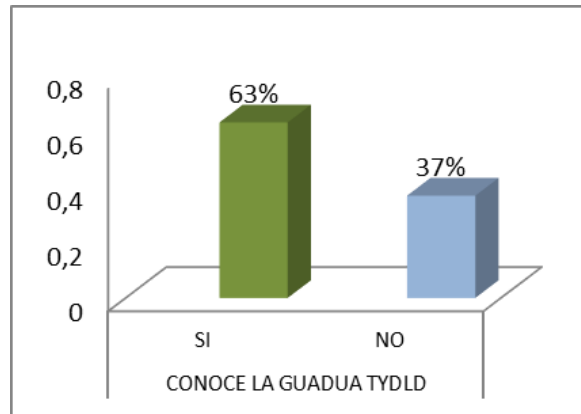
Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 64% en vigas y columnas, el 66% en techos y el 11% en acabados; se evidencia su uso generalizado para los techos y en menor medida para vigas y columnas, pero un uso casi marginal para acabado, lo cual demuestra la poca implementación de las nuevas técnicas y procesos de conservación y belleza de la guadua.

* Los porcentajes que muestra el diagrama se corresponden con el número de respuestas a las diferentes variables, porque no todos los encuestados respondieron de la misma forma a cada una de ellas.

4. ¿Conoce la guadua tratada y de larga duración en la región?

Gráfico 4: Conocimiento de la guadua tratada y de larga duración.

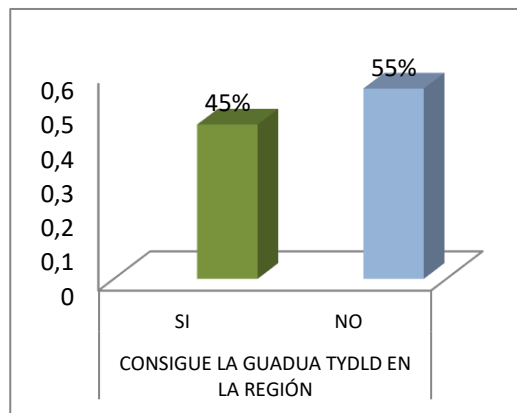


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 63% dijo sí, el 37% dijo no; un número significativo de la población conoce las bondades del material procesado.

5. ¿Consigue la guadua tratada y de larga duración en esta región?

Gráfico 5: consecución de la guadua tratada en la región.

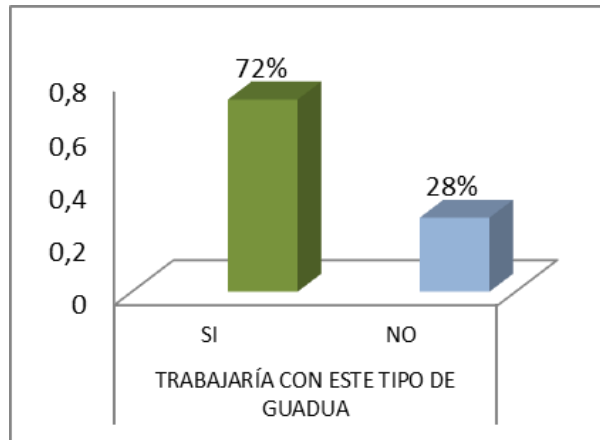


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 45% dijo sí, el 55% dijo no; aquí se evidencia una gran falencia en el sistema comercial, pues al no existir disponibilidad en el mercado en las condiciones adecuadas, el material solo se consigue y usa de la manera tradicional.

6. ¿Trabajaría con este tipo de material?

Gráfico 6. Utilización de la guadua tratada

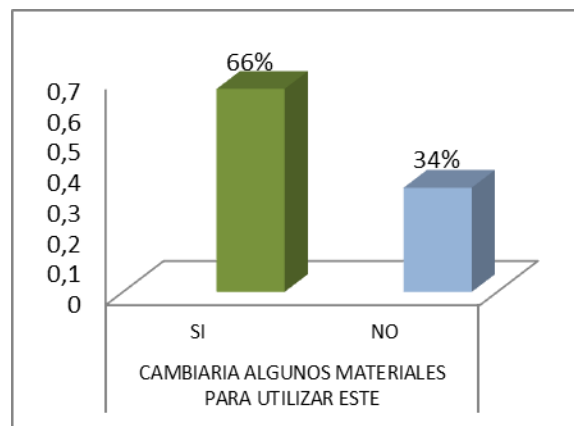


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 72% opinó afirmativamente, el 28% de forma negativa; se encuentra la disposición, la receptividad de las personas a trabajar con el material optimizado.

7. ¿Cambiaría algunos materiales para utilizar este?

Gráfico 7. Cambio de materiales por la guadua tratada

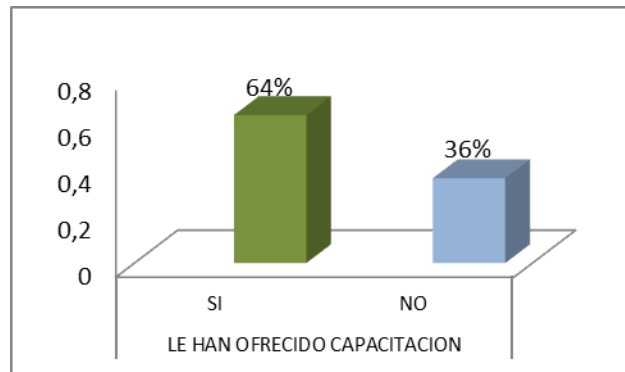


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

Respondieron afirmativamente el 66%, en tanto que el 34% de forma negativa; se identifican posibilidades de ingresar al mercado un producto que compita y esté a la altura de otros acabados.

8. ¿Le han ofrecido capacitación sobre este material?

Gráfico 8. Ofrecimiento de capacitación

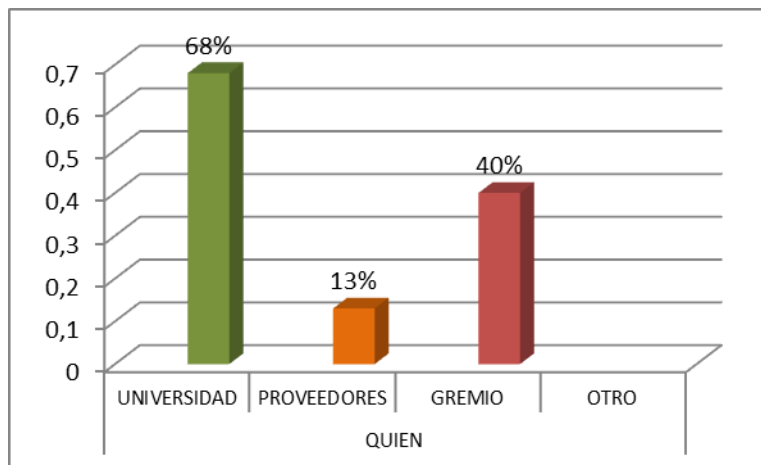


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 64% dijeron que sí, el 36% contrariamente dijeron no; se observa aquí una gran similitud en las cifras entre los que utilizarían el material y los que han recibido capacitación al respecto, lo cual claramente muestra una relación directa entre el conocimiento del mismo y su utilización.

9. ¿Quién le ha ofrecido esta capacitación?

Gráfico 9. Fuente de ofrecimiento de capacitación



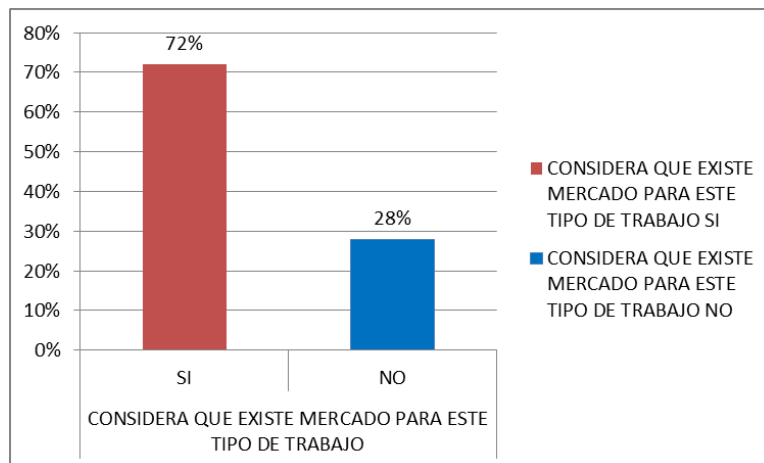
Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 68% manifiesto que la universidad, el 40% respondieron que el gremio y el 13% los proveedores; aquí también se halla otro cuello de botella porque el conocimiento no puede descargarse sobre las universidades y los gremios, debe haber un esfuerzo mancomunado entre los diferentes actores de esta cadena productiva si se quiere llegar a unos niveles de calidad que demuestren una excelencia de producto.

*Cuando se habla de gremio se refiere al sindicato asociación o similares que le haya brindado capacitación al respecto.

10. ¿Considera usted que si existe mercado para este tipo de trabajos?

Gráfico 10. Percepción hacia la existencia de un mercado para la guadua tratada

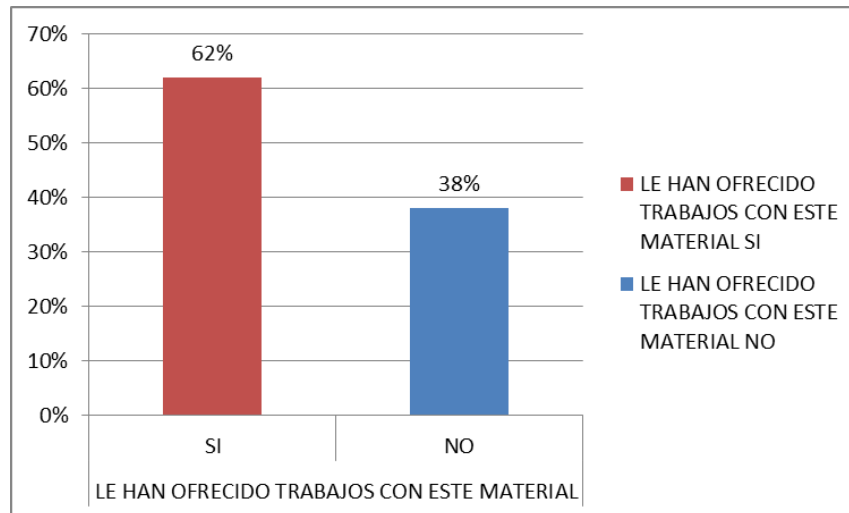


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 72% respondieron afirmativamente, en tanto que el 28% de manera negativa; estas son las personas que están más informadas sobre hacia donde se mueve el mercado y suministran datos acerca de que si hay posibilidades para el producto.

11. ¿Le han ofrecido trabajos con este material?

Gráfico 11. Ofrecimiento de trabajos con guadua tratada.

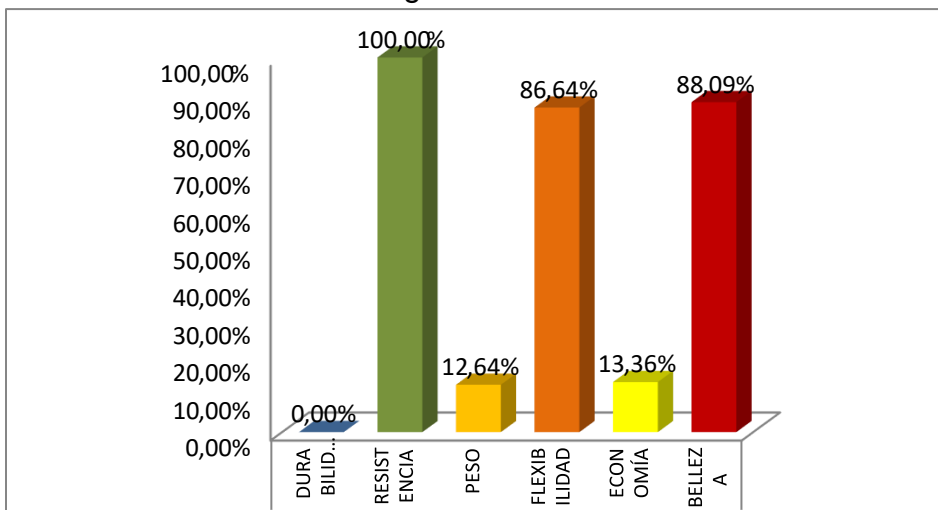


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

El 62% respondieron sí, el 38% dijeron no; existen posibilidades reales de expandir el uso y de modificar la manera de pensar y trabajar con la guadua.

12. Señale el orden de importancia los beneficios de la guadua en la construcción (siendo el 1 el de mayor importancia):

Gráfico 12. Beneficios de la guadua en la construcción

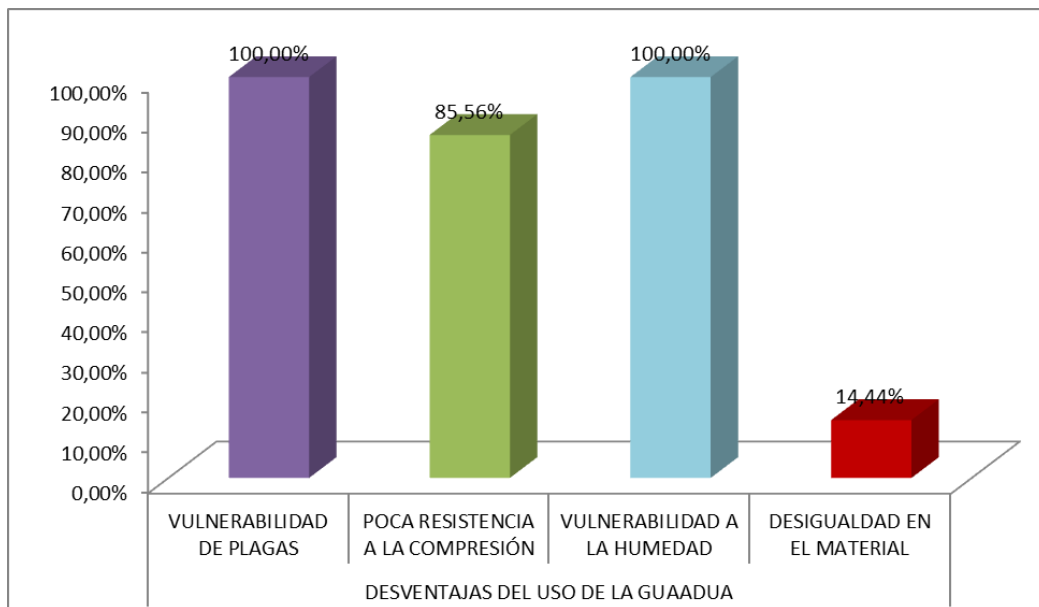


Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

Los encuestados calificaron con importancia alta (calificaciones de 1-2 y 3) factores como resistencia con 100%, belleza con 88% y flexibilidad con 87%. Consideraron no tan importantes factores como economía, peso y durabilidad.

13. Señale en orden de importancia las desventajas que identifica en el uso de la guadua en la construcción (siendo 1 la más importante):

Gráfico 13. Desventajas del uso de la guadua en la construcción.



Fuente: Elaboración propia, datos de investigación.

Las principales desventajas identificadas por los encuestados, calificadas como altas (1-2 y 3) son vulnerabilidad a las plagas, vulnerabilidad a la humedad y poca resistencia a la compresión.

7.5 Conclusiones Investigativas.

- a. A pesar de la existencia de amplia literatura sobre la guadua, su cultivo y transformación, es evidente que la cultura de su uso y aprovechamiento aún es baja en la ciudad.

***Cuando se habla de uso se refiere a la actualidad, porque para nosotros es claro y en el trabajo se hace referencia al gran legado histórico que poseemos en este material.**

- b. A pesar de los grandes esfuerzos que desde diferentes entidades se han realizado todavía no se logra una transferencia del conocimiento apropiada al común de las personas.
- c. Existen vacíos que es necesario llenar para que el producto despegue, como son el desarrollo de investigaciones aplicadas que logren disminuir factores como la vulnerabilidad a plagas y a la humedad. Aquí cumplen un papel fundamental las Universidades.

*Existe un trabajo muy importante desde diversos sectores como la utilización de hidrófugos, insecticidas e inmunizantes; por eso este anteproyecto recalca la importancia de la utilización de la guadua tratada, pues es una forma de estandarizar su uso y prolongar su duración, en cuanto al efecto bien conocido en los casetones de guadua también es conocida su temporalidad pues ejerce en efecto inmunizante durante un tiempo pero después recae ante algunas causadas por hongos Xilófagos, hongos cromógenos y mohos.

- d. Hay que realizar un trabajo muy grande de socialización para cambiar la mentalidad de quienes hoy trabajan con la guadua y la consideran un producto de segundo nivel.
- e. Existe la oferta, existe la demanda, existe el personal capacitado para trabajar con el material y tenemos la capacidad formativa de grandes centros educativos, es decir se cuentan con los elementos necesarios para alcanzar un nivel mayor de uso y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural en construcciones.

7.6 Identificación de estudios relacionados con el uso, características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural.

Navas (2011). Aplicaciones estructurales de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth): Proyecto de estructura modular multifuncional en Colombia. Proyecto Fin de Carrera /

Trabajo Fin de Grado. Universidad politécnica de Madrid, Escuela superior de ingenieros, página 105, cálculo de una cercha según normatividad colombiana.

Esta fuente analiza las propiedades físicas y mecánicas de la guadua y la posibilidad de realizar con ella estructuras modulares que sirvan de base para desarrollos industriales.

Prieto (2004). Optimización de unión en guadua ante sollicitación de fuerza sísmica. Trabajo de grado, Universidad industrial de Santander.

Es un trabajo que analiza las posibilidades de construcción de vivienda en guadua desde el punto de vista estructural, trata de buscar respuestas para optimizar los tipos de unión y el comportamiento de las mismas ante sollicitaciones sísmicas.

Garzón (1996). Optimización de estructuras en guadua. Trabajo estructural de uniones a tracción. Universidad nacional de Colombia.pg 120.

La fallecida arquitecta Jenny Garzón hace un trabajo de grado que destaca la importancia de las uniones a tracción, para ello elabora modelos a escala real para comprobar sus capacidades, tanto la unión como sus pasadores.

Vélez (2011). Monografía de análisis de autores. Universidad nacional de rosario, facultad de ciencias exactas, ingeniería y agrimensura, escuela de ingeniería civil, Cátedra de diseño arquitectónico.

La parte a destacar de este estudio es el análisis de los tipos de uniones; con pernos, con platinas, uniones mecánicas guadua concreto, y por supuesto su aplicabilidad.

Vélez: "SIMBOLO Y BUSQUEDA DE LO PRIMITIVO".

La exploración y reconocimientos del material y las técnicas ancestrales para posibilitar sus nuevos desarrollos.

Lamus, Plazas & Luna (2003), universidad distrital francisco José de Caldas.

Comprobaciones científico-académicas de la resistencia mecánica a tensión y cizalladura de las conexiones en guadua.

Todo este análisis bibliográfico se relaciona directamente con el anteproyecto porque se puede tener a la mano diversas fuentes que enriquecen el conocimiento de la guadua, desde su cultivo y desarrollo, hasta sus características físico-mecánicas incluyendo los avances en uniones y además las posibilidades de desarrollo a nivel industrial.

7.7 Lectura y análisis de información seleccionada.

Como resultado de la lectura y análisis de documentos identificados en el punto anterior, resultantes de investigaciones realizadas por expertos del país, a continuación, se presentan los aspectos más relevantes que permiten determinar que es posible dar uso y aplicación de la guadua como elemento estructural en construcciones.

7.7.1 Uso de la guadua desde el punto de vista de la sismo-resistencia

El Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes expedido por medio del Decreto-Ley 1400 de 1984 fue un primer intento de normatización del diseño y construcción de estructuras en el medio nacional y estuvo vigente durante 14 años, fue el resultado de la reflexión propia a raíz del terremoto de Popayán. Después, fue aprobada por el Congreso de la República la Ley 400 de 1997, al amparo de la cual se expidieron los Reglamentos de Construcción Sismo Resistente NSR-98 (1998), que substituyó al Código de 1984, y la actualización expedida en el 2010 como Reglamento NSR-10, hoy vigente.

Es de aclarar que la actualización y la rigidización de las normas de construcción, tuvo un impulso importante debido al terremoto en el eje cafetero de 1999. El tema principal de esta disertación se hará alrededor de la **Angustifolia Kunt.**

Propiedades Físico-Mecánicas Una característica de todo producto de la naturaleza es su variabilidad; la guadua como tal es buen ejemplo de ello. No existen dos pedazos de guadua iguales, aun siendo parte del mismo tallo o caña. Se presentan condiciones del ambiente como son el suelo y el clima que afectan la tasa de crecimiento, así como la estructura, la forma y las propiedades de resistencia. Se pueden mencionar otros ejemplos que son fuentes de variación en las propiedades de la guadua como la presencia o ausencia de luz y las labores silvoculturales en el gradual como la poda de ramas. Se puede concluir entonces, que la guadua es un material bastante heterogéneo en su constitución interna, producto del medio ambiente donde se desarrolle. En el diseño de una construcción el arquitecto o ingeniero debe garantizar seguridad, calidad, economía y durabilidad, aplicando su conocimiento científico y tecnológico. En el campo de la construcción, el comportamiento de los elementos estructurales tiene una fuerte relación frente a los diferentes esfuerzos a que se ven sometidos.

Tabla 2. Módulo de Elasticidad en solicitaciones externas en bambú

Unidades en Kg/cm ²	Módulo de elasticidad a tracción	Módulo de elasticidad a compresión	Módulo de elasticidad a flexión
MATERIAL			
GUADUA	190.000	184.000	179.000
OTRAS MADERAS	90.000-180.000	96.000-169.000	108.000-128.000

Fuente NSR-10.

En el caso del bambú, las propiedades mecánicas como la resistencia a tracción, flexión y compresión, son determinadas por sus características anatómicas o físicas; grosor, longitud, edad, que son muy diversas y no corresponden a valores absolutos o comparables con otras muestras, ya que las condiciones varían notablemente. Estos gráficos corresponden sólo a un esquema comparativo general ya que casi siempre, para un mismo material sus resistencias pueden variar.

Tabla 3. Resistencia a tracción, compresión y flexión del bambú y otras maderas.

Unidades en Kg/cm ²	Resistencia a tracción	Resistencia a compresión		Resistencia a flexión
		Perpendicular a la fibra	Paralelo a la fibra	
MATERIAL				
GUADUA	430	560	650	740
ALISO	108	68	357	460
ARBOLOCO	500-1500	132	405	390
OTRAS MADERAS	1000	50-144	400	500-720

Fuente NSR-10

Tabla 4. Resistencia a tracción, compresión y flexión de otras maderas.

Clases de madera	Resistencia a la Tracción en Kg/cm ²	Resistencia a la Presión en Kg/cm ²	Resistencia a la Flexión en Kg/cm ²	Resistencia a la Cortadura en Kg/cm ²
<i>Bálsamo</i>	125	120	150	15
<i>Guayacán</i>	120	110	140	12
<i>Sapan</i>	104	50	87	10
<i>Maquí</i>	90	60	35	11
<i>Abarco</i>	90	85	100	12
<i>Roble</i>	90	60	10	11
<i>Ciprés</i>	60	50	60	10
<i>Chingalé</i>	55	40	60	8

Fuente: Las maderas en Colombia 328

Debido a la composición natural la guadua presenta diversos espesores por ello para calcular su cortante se trabaja con valores promedio, se acude entonces a los resultados obtenidos por el laboratorio de estructuras de la universidad de Quindío que entrega los siguientes resultados:

El esfuerzo admisible de cortante obtenido para la guadua fue de 3,6188N/mm² estando este por encima del valor admisible establecido en la norma sismo resistente NSR-10.

El arquitecto Simón Vélez hace un interesante avance por medio de sus planteamientos para normatización y homogenización del uso de la guadua en la construcción, además de los aportes en cuanto al sistema de uniones pernadas.

***La variedad y análisis de las diferentes uniones se hace en este texto más adelante.**

Se pretende llegar a establecer estándares de materia prima para sistemas constructivos en guadua rolliza y laminada, mediante la selección y clasificación de la guadua como material de construcción. Teniendo en cuenta aspectos claves de homogeneidad, tales como edad, tipo de especie, características físicas (capacidad, longitud, diámetro, etc.). Este proceso se puede iniciar desde el proceso silvocultural de la guadua, en el momento de siembra de la plántula. Lo anterior con el objetivo de lograr así la “sistematización y estandarización” del material.

Sistematización de uniones mecánicas en una construcción típica de guadua Se refiere a la “sistematización y/o estandarización” de uniones en guadua, logradas a partir del diseño y construcción de varios tipos de uniones del(los) sistema(s) seleccionado(s), en particular de las uniones principales:

- Viga-columna
- Cumbreira-cubierta
- Voladizo-esquina⁷.

Una vez obtenidas dichas uniones, se pretende conocer la capacidad estructural de estas, a los esfuerzos a que están sometidos en una construcción, esfuerzos atracción, compresión y flexión.

7.7.2 Clasificación de los sistemas constructivos en guadua

Se refiere a la clasificación de los sistemas constructivos en guadua. Teniendo en cuenta existen dos tipos de sistemas, uno de tipo simple y otro de tipo mixto, de tipo simple donde solo se utilice guadua como material estructural y de acabado; de tipo mixto, por ejemplo, una estructura con columnas de hormigón y estructura de guadua en cubierta.

7.7.3 Normalización de sistemas de protección y de especificaciones técnicas de obra en construcciones con guadua

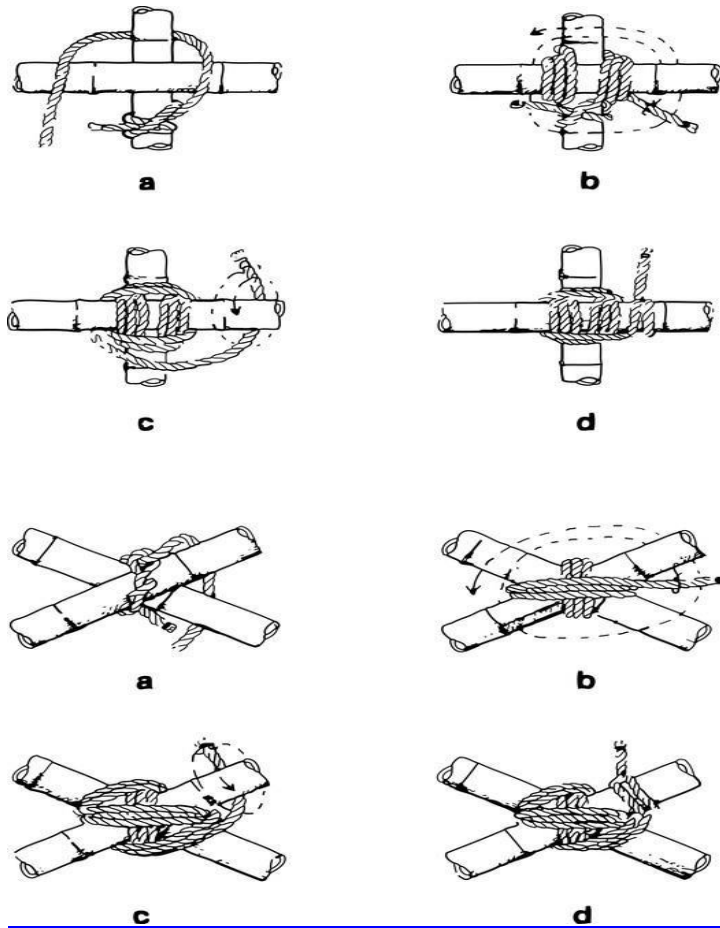
Se refiere a la sistematización de las especificaciones técnicas de obra para cualquier construcción de guadua. Especificaciones de carácter preventivo, correctivo y de mantenimiento de este tipo de construcciones. Teniendo en cuenta factores como protección por diseño, mantenimiento y recomendaciones generales.

7.8 Las Uniones y los Amarres

Las uniones estructurales en guadua deben ser hechas adecuadamente pues allí radica gran parte de la estabilidad de la obra. A través del paso del tiempo y de las diferentes culturas que han utilizado la guadua, también se han desarrollado diversidad de uniones, las primitivas que se hicieron con fibras vegetales o cuerdas, las que utilizan clavos de acero, las uniones pasantes con almas de madera, uniones de encaje o encastre, y la diversidad de uniones con pasadores o terminales metálicos.

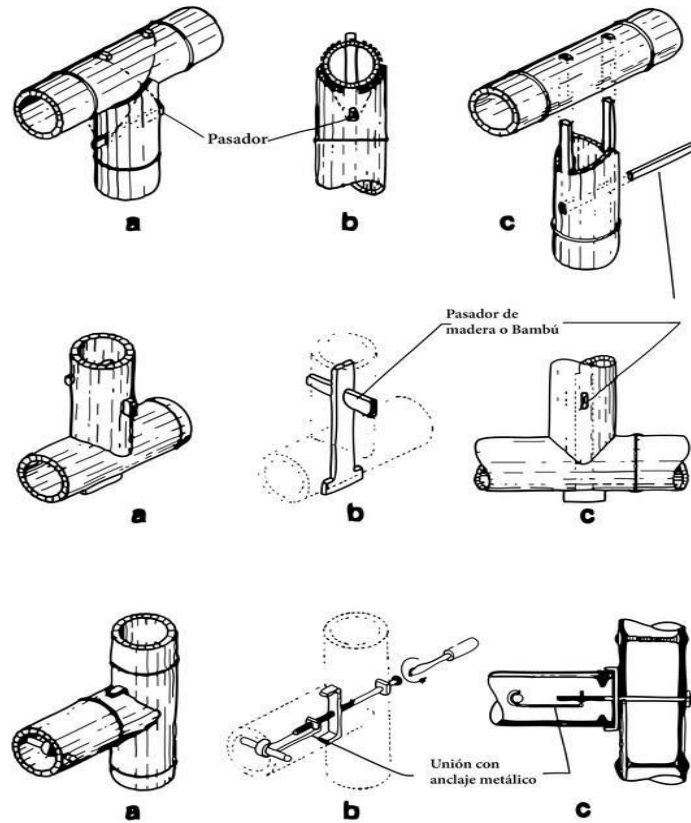
⁷ GARZÓN, J. Tesis sobre uniones en guadua 1996

Imagen 1. Uniones con pasantes: Unión con clavijas, anclaje de madera o anclaje metálico.



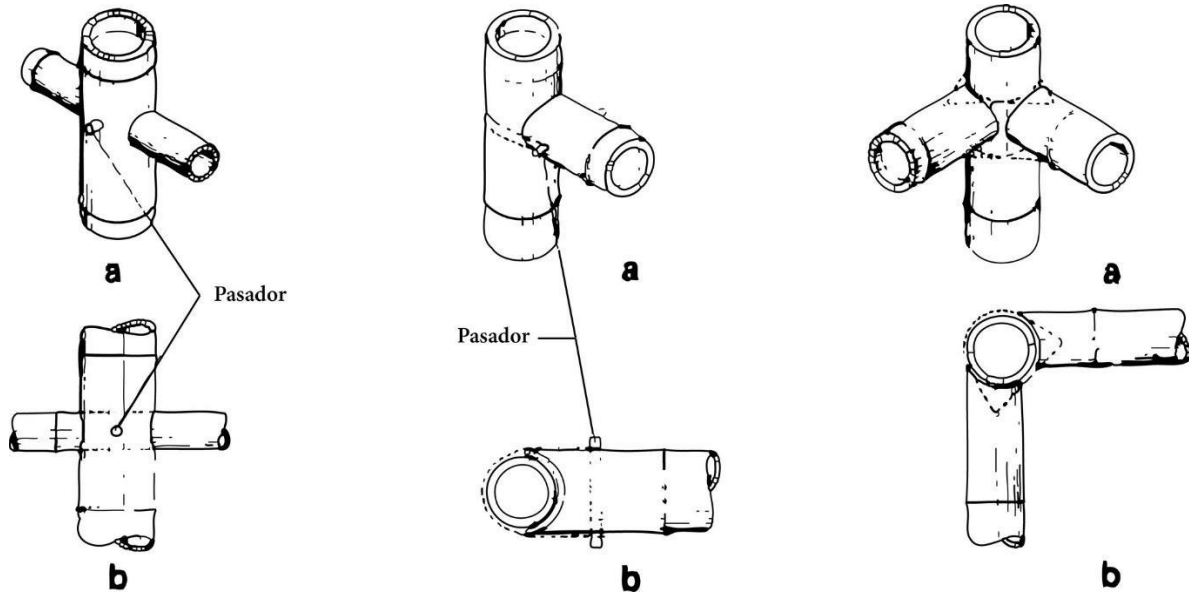
Fuente <http://www.archdaily.co/co/02-345367/en-detalle-las-uniones-en-bambu>.

Imagen 2. Uniones de Encaje Unión en Cruz con pasador, unión lateral con pasador y clavijas y unión de esquina.



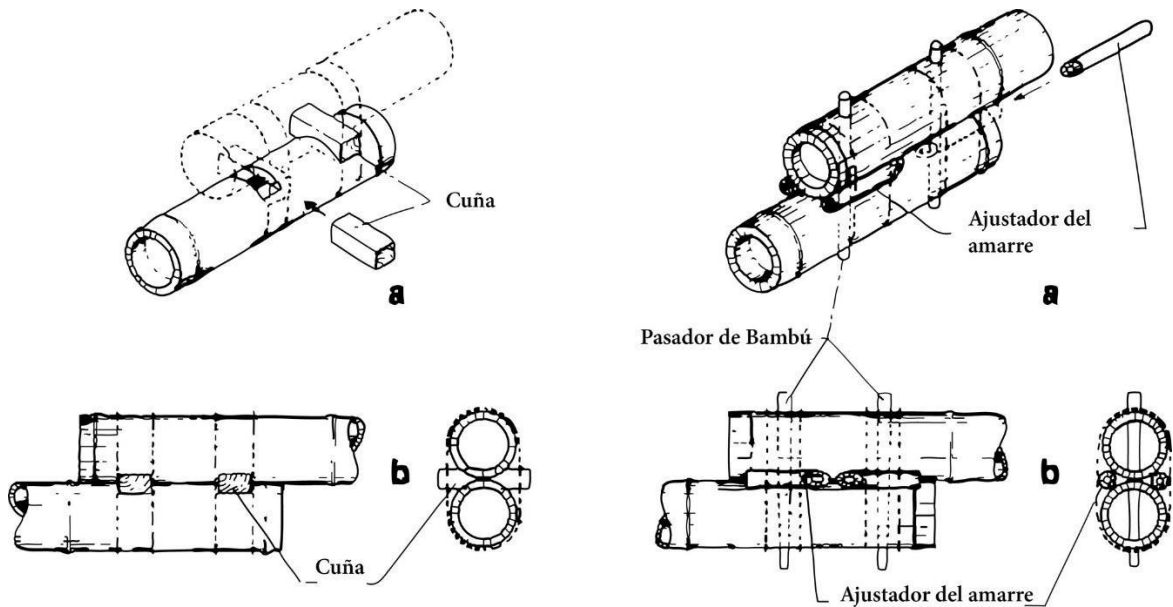
Fuente.<http://www.archdaily.co/co/02-345367/en-detalle-las-uniones-en-bambu>>.

Imagen 3. Empalmes de Piezas Horizontales. Unión con doble cuña de madera y unión con pasadores y ajustadores del amarre



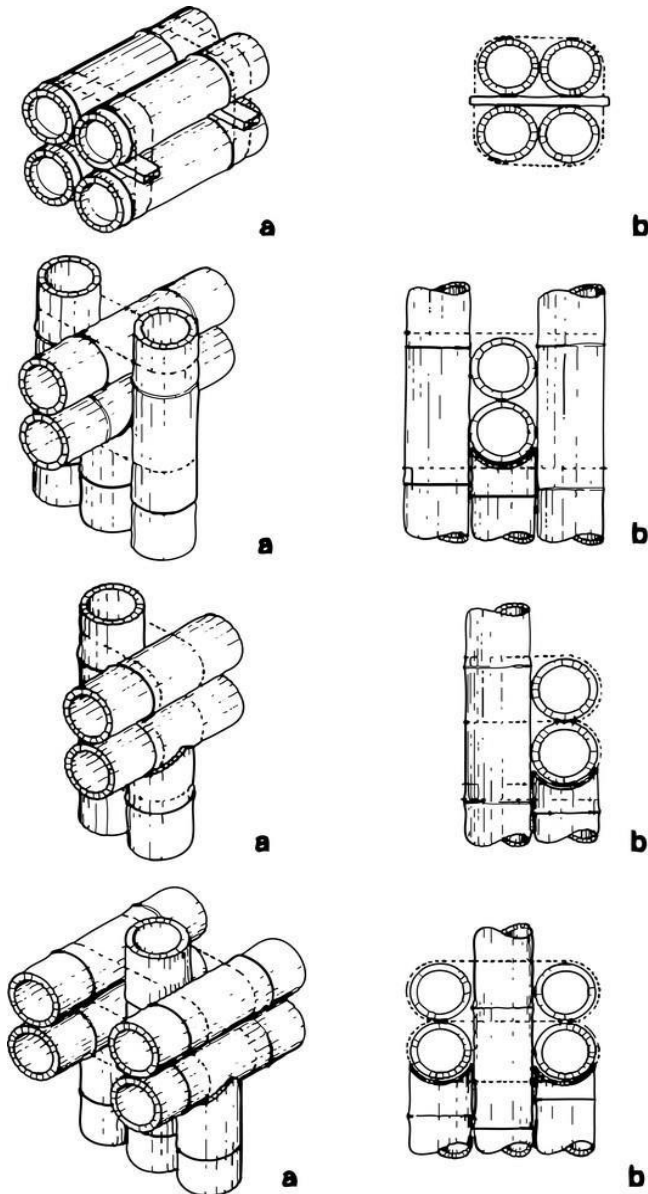
Fuente <http://www.archdaily.co/co/02-345367/en-detalle-las-uniones-en-bambu>.

Imagen 4. Soportes de Vigas Horizontales. Viga de cuatro elementos, doble viga Central, doble viga lateral, vigas dobles laterales.



Fuente <http://www.archdaily.co/co/02-345367/en-detalle-las-uniones-en-bambu>.

Imagen 5. Soportes de Vigas Horizontales Viga de cuatro elementos, doble viga Central, doble viga lateral, vigas dobles laterales.



Fuente <http://www.archdaily.co/co/02-345367/en-detalle-las-uniones-en-bambu>.

La existencia de un revoque de mortero de buenas especificaciones en las caras exteriores es la primera garantía de durabilidad de las construcciones.

Existen diversas maneras para preservar la guadua, desde métodos de corte teniendo en cuenta las fases de la luna, la inmersión en sustancias como el ácido bórico, las técnicas orientales de curado por medio de vapor, métodos modernos como la presión, la inmersión en insecticidas y fungicidas aprovechando la capacidad conductora de líquidos de las fibras de la guadua; la decisión del tipo de preservación que se quiere va muy de la mano con los costos de la misma.

Tradicionalmente lo más común es unir dos guaduas de una manera muy manual; con cuerdas, con pasador o formando una caja que se le llama "boca de pescado". Es también muy utilizada la unión con zuncho que consiste en juntar dos guaduas rodearlas con una lámina metálica o zuncho y clavar una sobre la otra. Lo que hace que este tipo de uniones sean muy atractivas es que no se necesita mucha capacitación o destreza para hacerlas, son económicas y prácticas.

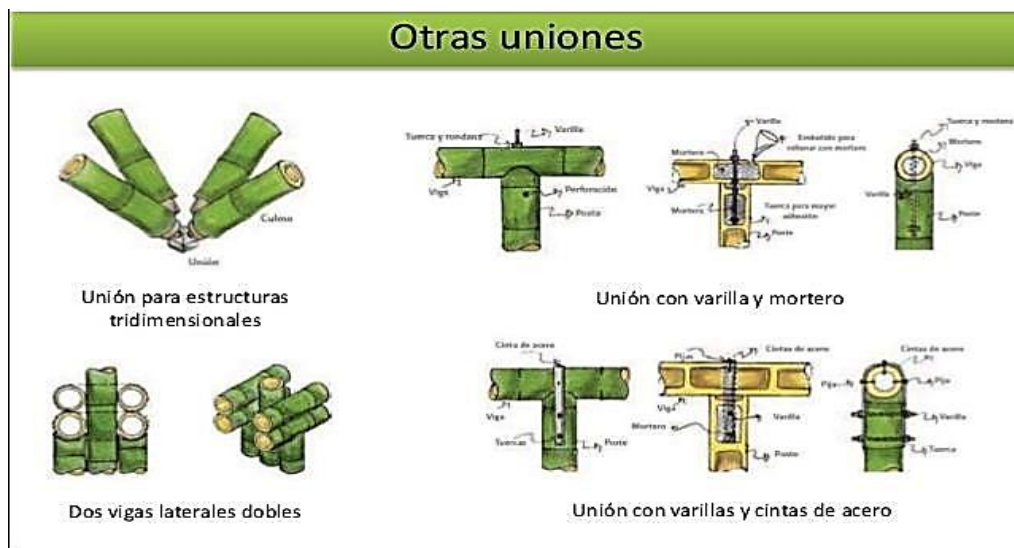
En la actualidad y desde el terremoto del eje cafetero el país se ha preocupado por el desarrollo de nuevas técnicas en esta materia, se encuentran trabajos sobresalientes como los de Simón Vélez, Jorg Stam, que han incentivado el proceso investigativo en muchas de las universidades de Colombia, para traer los frutos del título G de la norma NSR-10

Según se ha investigado y coincidiendo con el criterio de varios autores, la unión más eficiente parece ser la de utilizar pasadores que transmitan la fuerza a un elemento de acero al interior de la guadua.

7.9 Principales aspectos del trabajo de Lamus, Plazas & Luna. (2003)

A continuación, se cita un estudio realizado por los investigadores; Fabián Augusto Lamus Báez, Mayra Alejandra Plazas Bernal, Patricia Luna Tamayo, para la Universidad Distrital Francisco José de caldas, Bogotá. Se cita este estudio no con el ánimo de copiar o apropiarse de la producción intelectual de estas personas sino por el contrario por creer que es un aporte muy valioso en el estudio de la guadua, por ello se cita completo.

Imagen 6. Otras Uniones



Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

Algunos estudios sobre conexiones nos dan luces al respecto: Por ejemplo, el realizado por Lamus, Plazas & Luna (2003)

En una conexión emperrada de estructuras que usan *Guadua angustifolia* como material principal de soporte, la resistencia a la cizalladura doble paralela a la fibra puede verse influenciada por una amplia lista de parámetros, entre ellos la resistencia al aplastamiento, la resistencia al corte paralelo a la fibra de la pared del canuto y el área de contacto entre los elementos que conforman la conexión. Por otra parte, se estudia la influencia del diámetro del perno y el espesor de la pared del culmo en la resistencia de la conexión. Los ensayos fueron realizados sobre especímenes de guadua rolliza con diámetros variables entre los siete y catorce centímetros en los que se emplearon pernos de 3/8, 1/2 y 3/4". La guadua ensayada provenía de las cercanías de Armenia en Colombia. Se encontró que la resistencia a la cizalladura paralela a la fibra es proporcionada en gran medida por la resistencia de la guadua a la compresión paralela a la fibra.

En una primera etapa de caracterización se realizaron ensayos de compresión y cortante paralelo a la fibra con base en el procedimiento establecido en la norma NTC5525 (Icontec, 2007), siendo determinado el contenido de humedad para todas las muestras en el momento de la falla. En la tabla 1 se presentan los resultados para la resistencia a compresión paralela a la fibra, la resistencia a cortante paralelo a la fibra y el contenido de humedad. Por otra parte, para la conexión se usaron pernos de varilla roscada elaborada con acero SAE1020, usando diámetros de 3/8, 1/2 y 3/4".

Imagen 7. Tabla 1 investigación de Lamus et.al. (2003)

Tabla 1. Resultados de los ensayos de caracterización de la *Guadua angustifolia*

Propiedad	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Est.
Resistencia a la compresión paralela [MPa]	33,62	53,84	44,18	7,26
Resistencia al corte paralelo [MPa]	3,39	9,75	6,99	2,14
Contenido de humedad [%]	6,98	20,69	9,92	2,74

Fuente: Lamuz. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

7.9.1 Metodología

Para determinar la resistencia de la conexión emperrada a cizalladura doble se realizaron ensayos (Plazas, 2013) sobre 120 especímenes agrupados en cuatro rangos de diámetro, de acuerdo con la tabla 2.

Imagen 8. Tabla 2 investigación de Lamuz et.al. (2003)

Tabla 2. Distribución de especímenes por intervalos de diámetros

Intervalo	Diámetro promedio mm		Cantidad	Porcentaje
	Mínimo	Máximo		%
1	70	100	30	25
2	100	110	30	25
3	110	130	30	25
4	130	150	30	25
TOTAL			120	100

Fuente: Lamuz. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

La forma de los especímenes de las conexiones consistía en un canuto cerrado con sus dos nudos adyacentes y con una extensión longitudinal adicional entre 20 y 50 mm en ambos sentidos, como se ilustra en la figura 1. A una distancia L_S igual a 150 mm medida desde el extremo superior del culmo se realizó una perforación perpendicular a su eje, de manera que se pudiera colocar un perno atravesando las dos paredes. Durante la medición de los especímenes se registró tanto la longitud entre nudos L_N como la distancia L_{NP} entre el agujero del perno y el nudo comprimido (figura 1a) y (b)).

Imagen 9. Figura 1 investigación de Lamus et.al. (2003)

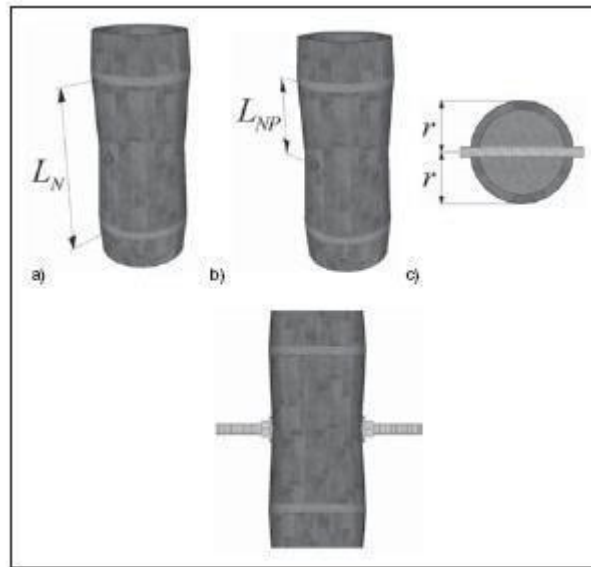


Figura 1. Espécimen de conexión ensayado a cizalladura doble. (a) Longitud entre nudos, (b) Distancia del perno al nudo, (c) Forma de la probeta

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

Para cada rango de diámetro del culmo se ensayaron 10 probetas de conexiones elaboradas para cada uno de los tres diámetros de perno seleccionados (3/8, 1/2 y 3/4"). Las perforaciones se realizaron con una holgura de 1/16", de acuerdo con lo especificado en el reglamento NSR-10.

Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de La Salle, usando una máquina universal servo controlada, en la que se implementó un montaje diseñado para el proyecto (figura 2c). Para apoyar los extremos de las varillas se usaron pletinas con una perforación ajustada al diámetro de cada perno (figura 2 b) y d). La varilla se fijó al culmo de guadua empleando a cada lado un conjunto de una tuerca y dos arandelas: la primera de Neolite con un espesor de 4 mm y la segunda metálica (figura 2a). Finalmente, se usaron tuercas y arandelas para fijar la probeta al montaje ((figura 2b) y d)).

Imagen 10. Figuras 2^a, 2b, 2d investigación de Lamus et.al. (2003)

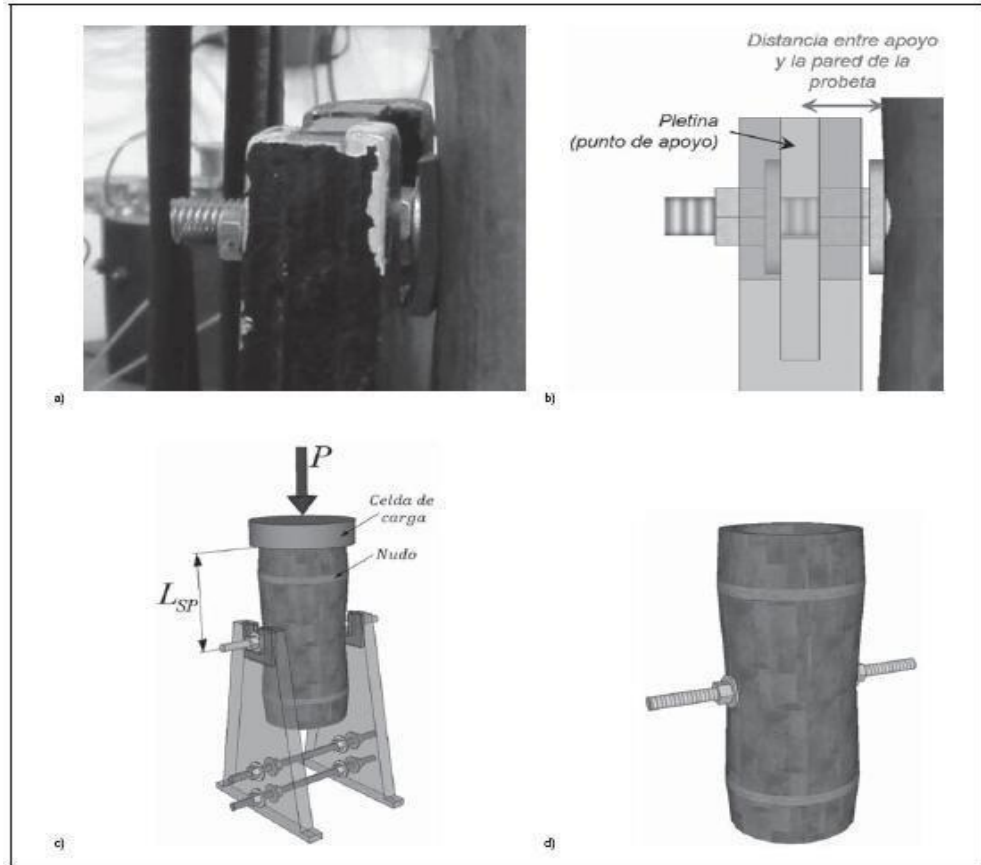


Figura 2. Montaje empleado para el ensayo de cizalladura doble producida por carga paralela al culmo. a) Detalle del apoyo, b) Esquema del apoyo, c) Esquema del montaje, d) Esquema de la probeta

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

El control del ensayo se hizo por deformación y se usó una velocidad de 1,5 mm/min. Luego de que se presentara la falla en la conexión, se continuó con el ensayo hasta alcanzar un desplazamiento total de 25 mm, o hasta que la conexión perdiera el 50% de la carga pico.

7.9.2. Resultados de la investigación de Lamus, Plazas & Luna.

Para establecer la influencia del diámetro del perno y el espesor de la pared en la resistencia a cizalladura doble, para cada espécimen se calculó el esfuerzo promedio actuante a compresión a_c aplicado por el perno sobre la pared de la guadua, usando la ecuación (1).

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c} \quad (1)$$

La carga máxima P obtenida en cada ensayo se relaciona con el área a compresión A_c , calculada usando la ecuación (2), como la proyección longitudinal de la zona de contacto entre el perno y la pared del culmo. En este caso, se considera que la transferencia de carga se realiza solo en la dirección paralela al culmo, tal como se ilustra en la figura 3.

$$A_c = 2 t d_p \quad (2)$$

Imagen 11. Figura 3 investigación de Lamus et.al. (2003)

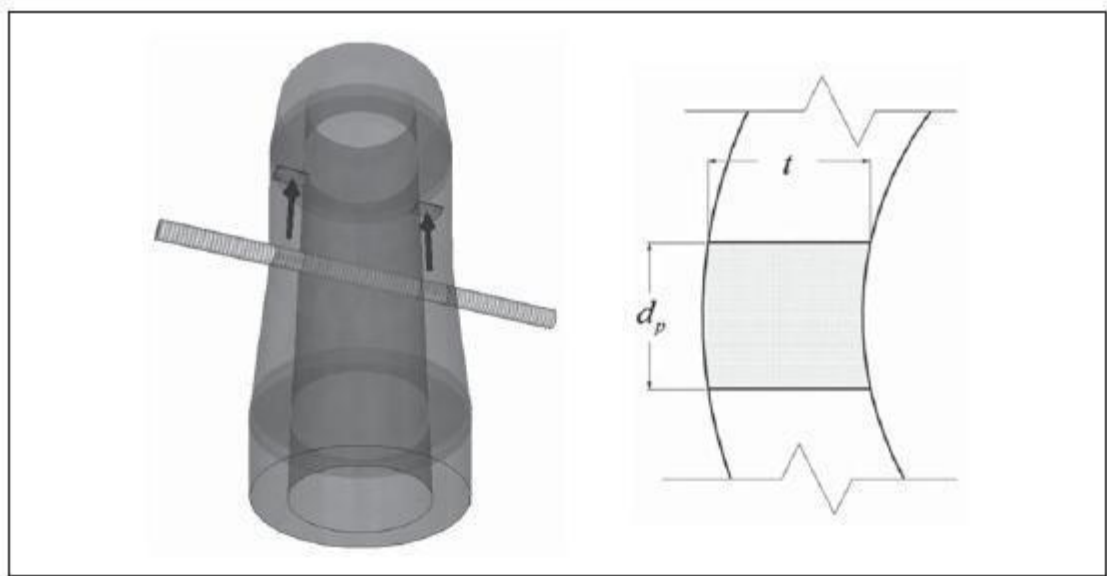


Figura 3. Proyección de la zona de contacto entre el perno y la pared del culmo para el cálculo de la fuerza de compresión

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

Donde t es el espesor promedio de la pared del culmo y d_p es el diámetro del perno.

En la figura 4 se presentan los valores de carga máxima en función del área a compresión para todos los especímenes. Se han trazado las líneas de tendencia para los tres grupos de diámetros de perno trabajados. El mayor valor de la pendiente, obtenido para los especímenes elaborados con pernos de 3/8", implica una mayor resistencia a nivel de esfuerzos. La pendiente disminuye a medida que se incrementa el diámetro del perno usado.

Imagen 12. Figura 4 investigación de Lamus et.al. (2003)

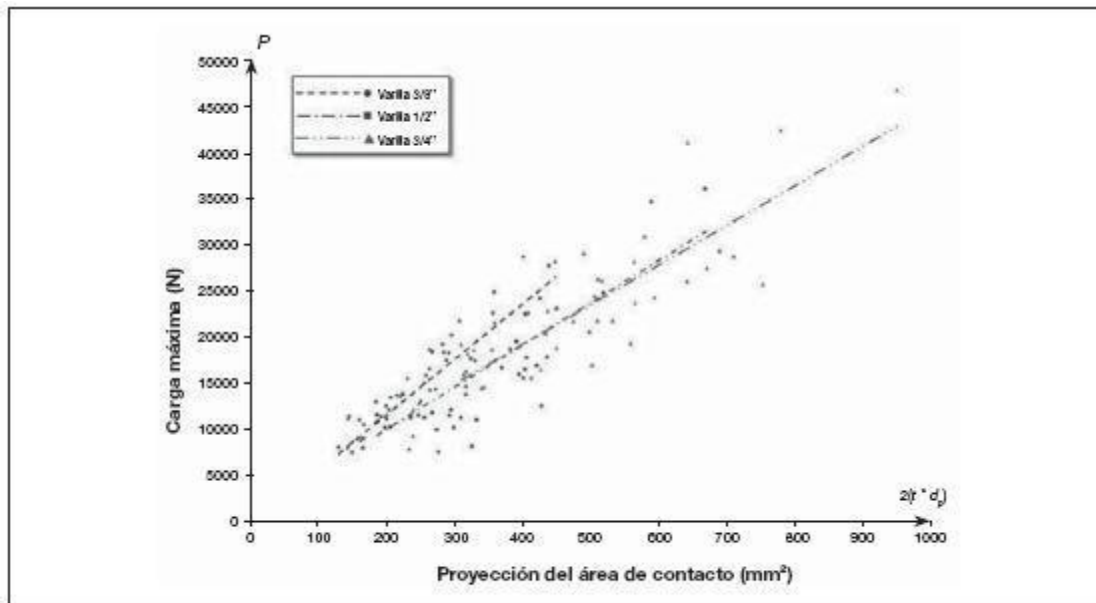


Figura 4. Carga máxima en función del área a compresión para diferentes diámetros de perno

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

En la figura 5 se presenta el valor del promedio de los esfuerzos máximos a compresión y la desviación estándar para cada uno de los diámetros de perno. La resistencia decrece con el diámetro del perno; sin embargo, con pernos de mayor diámetro el valor tiende a estabilizarse alrededor del valor para la resistencia a la compresión determinado a partir de los ensayos de caracterización. La zona sombreada representa el intervalo de esfuerzo igual a una desviación estándar por encima y por debajo de la resistencia a la compresión paralela a la fibra. Las líneas punteadas corresponden al máximo y al mínimo valor de dicha resistencia, obtenidos en los ensayos de caracterización.

Imagen 13. Figura 5 investigación de Lamus et.al. (2003)

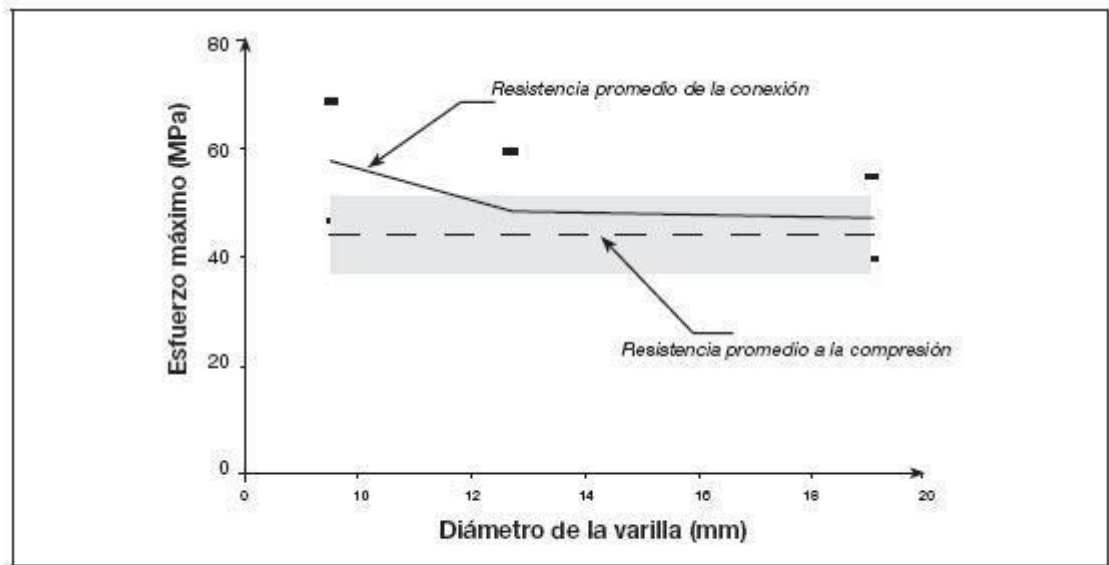


Figura 5. Resistencia a la cizalladura doble en función del diámetro del perno

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

La figura 6 relaciona la carga máxima para cada espécimen con el espesor de la pared del culmo, para cada grupo de especímenes elaborados con el mismo diámetro de perno.

Imagen 14. Figura 6 investigación de Lamus et.al. (2003)

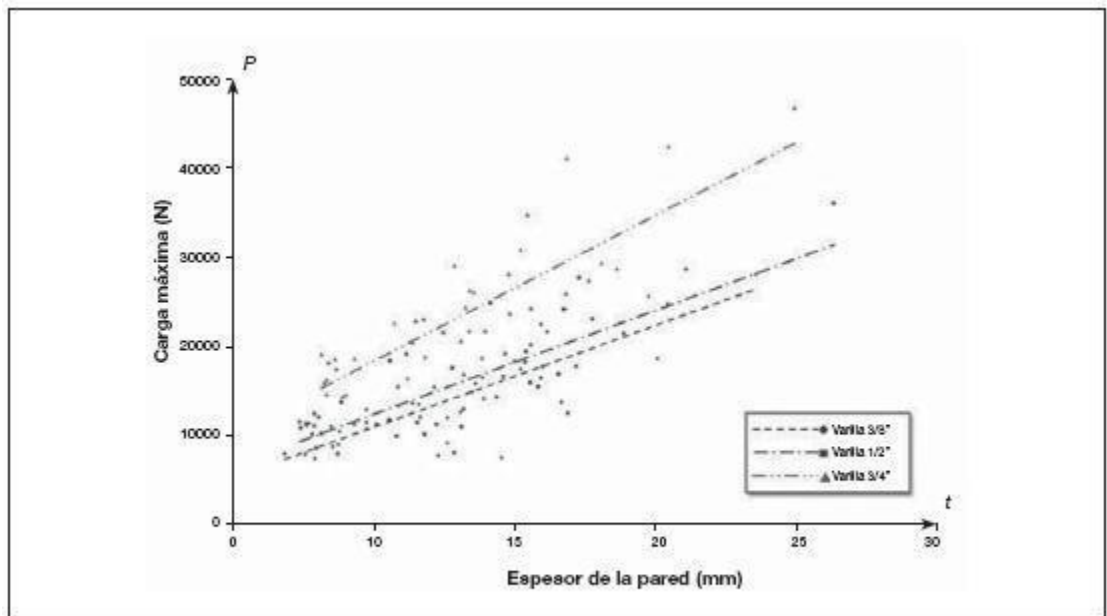


Figura 6. Resistencia a la cizalladura doble en función del diámetro del perno y del espesor de la pared del canuto

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

En la figura 7 se presentan los resultados de resistencia en función del diámetro exterior del canuto D_e , agrupados por diámetro del perno, con el fin de establecer una comparación con los valores propuestos por el reglamento NSR-10. En el reglamento NSR-10 no se encuentran disponibles valores para conexiones con pernos de 3/4", en su lugar se presentan los valores establecidos para pernos de 5/8".

Imagen 15. Figura 7 investigación de Lamus et.al. (2003)

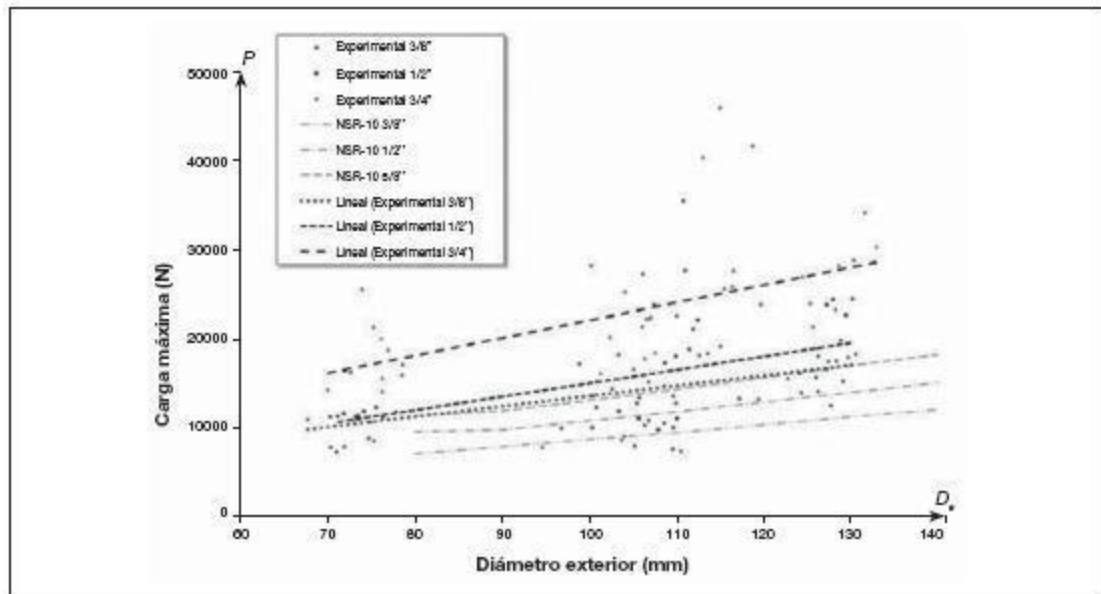


Figura 7. Resistencia a la cizalladura doble en función del diámetro del pemo y del diámetro exterior del canuto

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

De acuerdo con la figura 7, existe una correlación entre la resistencia a la cizalladura y el diámetro del culmo; sin embargo, el incremento de la resistencia que se presenta como función del diámetro, en realidad se encuentra relacionado con la tendencia a presentarse mayores espesores en culmos de mayor diámetro, como se muestra en la figura 8.

Imagen 16. Figura 8 investigación de Lamus et.al. (2003)

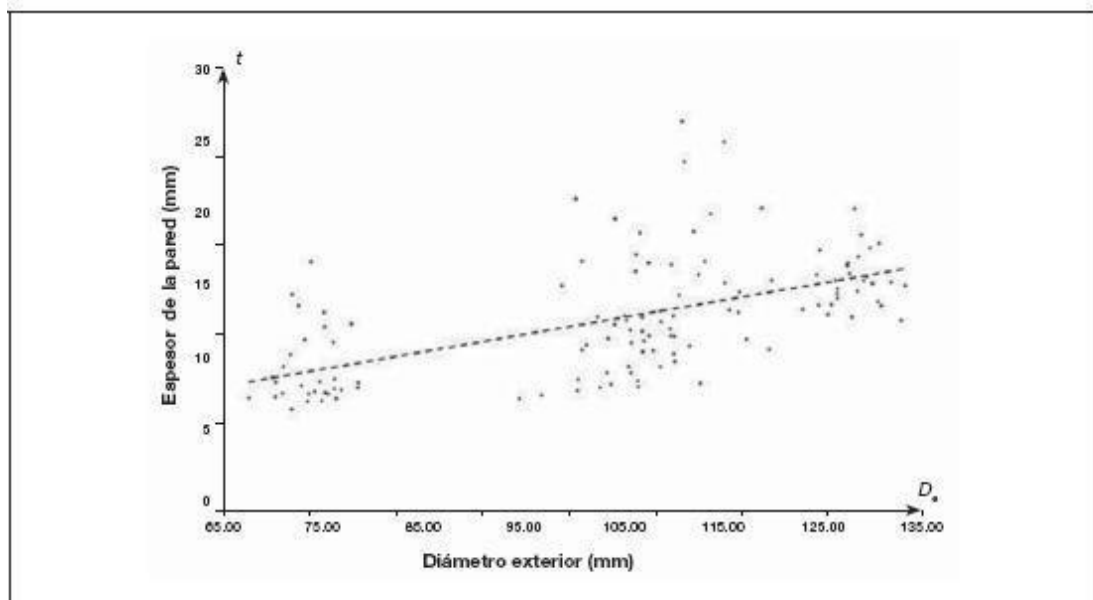


Figura 8. Espesor de la pared del culmo en función del diámetro exterior

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

La alta dispersión de los resultados obtenidos experimentalmente se debe en gran parte a que para canutos con diámetros similares se puede tener un amplio rango de espesores de la pared, como se muestra en la figura 9.

Imagen 17. Figura 8 investigación de Lamus et.al. (2003)

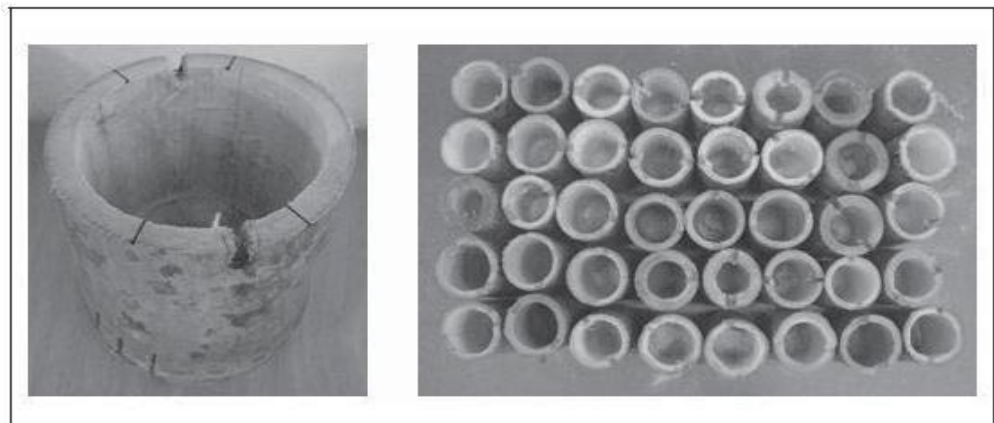


Figura 9. Diferentes espesores de pared en canutos de diámetro similar

Fuente: Lamus. F, Plazas. M., Luna. P. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co> 2003

7.9.3 Conclusiones trabajo de Lamus, Plazas & Luna

La resistencia de una conexión empernada en *Guadua angustifolia*, solicitada a cizalladura doble paralela a la fibra, está directamente relacionada con la resistencia a la compresión paralela a la fibra y el área de contacto entre el perno y la pared del canuto de guadua.

La resistencia de las conexiones empernadas ensayadas en este trabajo presenta coeficientes de variación del 20% en promedio para los tres diámetros de perno empleados en la conexión.

Las conexiones desarrolladas con pernos de menor diámetro tienden a presentar una mayor resistencia por unidad de área de contacto. Sin embargo, la variación del máximo esfuerzo en función del diámetro del perno indica que este no es el único parámetro que interviene en la resistencia mecánica de la conexión.

La influencia del diámetro externo del culmo en la resistencia mecánica de la conexión está directamente relacionada con la tendencia de la guadua a presentar mayores espesores de pared cuando sus diámetros exteriores son mayores.

Los valores de resistencia a la cizalladura doble paralela a la fibra para una conexión empernada presentados en el reglamento NSR-10 corresponden a una correlación que presenta grandes dispersiones. Por esta razón, pueden ser demasiado conservadores.

Se recomienda modificar los valores establecidos en la tabla G.12.11-2 del reglamento NSR-10 para la resistencia de la conexión a cargas paralelas a la fibra, y establecer un procedimiento de cálculo de la resistencia que dependa directamente del espesor de la pared en lugar del diámetro externo del culmo.

Las fuerzas horizontales que generan un sismo son directamente proporcionales a la masa o peso de la construcción y a su altura o "centro de gravedad"; por consiguiente, a mayor peso y altura, en caso de un sismo, hay más aceleración y mayores daños. Debido a su bajo peso, las construcciones con guadua presentan un excelente comportamiento frente a éstos. Veamos algunas cifras:

El peso de un muro de bahareque encementado está entre los 90 y 130 Kg/m²; un muro en bloque hueco de cemento pesa 250 Kg/m² y si fuera de adobe estaría entre los 500 y 700 Kg/m². Un entepiso de madera pesa de 70 a 90 Kg/m²., frente a uno de viguetas y plaquetas de concreto armado que pesa 400 Kg/m², una cubierta en teja galvanizada (zinc) pesa 20 Kg/m² incluyendo las cerchas; uno de tejas de asbesto cemento pesa 30 Kg/m² y si fuera en teja de barro pesaría 90Kg/m².

7.10 Identificación de los aspectos más relevantes del análisis que permiten determinar las características y aplicabilidad de la guadua como elemento estructural en construcciones, como mecanismo para lograr un mayor uso y posicionamiento en la ciudad región (Manizales, Caldas).

- ✓ Entre las características de la Guadua destaca su excelente resistencia a compresión y también buena resistencia al corte paralelo, la gran flexibilidad que presenta hacen de la Guadua en una herramienta especialmente importante para la construcción, donde se le clasifica como material estructural sismo-resistente.
- ✓ Tiene una gran parte de fibra presente en su estructura y un alto contenido en sílice en su cara exterior posibilitan que esta planta tenga las asombrosas características de resistencia y flexibilidad que la caracterizan.
- ✓ Por su morfología circular, el diámetro de las guaduas de esta variedad es muy constante, con unas pequeñas variaciones de unos 5 mm/m. En particular el espesor de pared suele ser bastante grueso, con variaciones entre las diferentes secciones elegidas. En las cepas puede llegar a más 3 cm., (usadas en columnas o donde se recibe mucho trabajo a compresión), en las bazas la variación puede estar entre los 0,8 y 2 cm., como el número interno de fibras es el mismo estas piezas son perfectas para trabajar en vigas y correas.
- ✓ Presenta una rectitud o curvatura mínima que hace posible su utilización en secciones de gran tamaño, y el aprovechamiento de toda su longitud o articulación con piezas de tamaños menores, cuando una plantación ha sido bien llevada presenta estas características.
- ✓ Las características físicas del bambú son mejores que las de madera. Esto da la idea de producir vigas laminadas de guadua. Así se puede producir productos de alta calidad para cuales hay varios usos en todo el mundo.
- ✓ Vigas laminadas de bambú poseen características parecidas a las de madera, pero son mucho más elásticas (>Comportamiento con terremotos). Estos nuevos usos los están trabajando y documentando en la universidad nacional sede Manizales.
- ✓ La guadua trabaja muy mal a la flexión y al aplastamiento perpendicular a su longitud; por consiguiente, las estructuras de guadua deben calcularse como barras articuladas en los empates, pues en ninguno de estos nudos puede considerarse como una estructura aporticada o un empotramiento. Por lo tanto y a pesar de innumerables estudios falta mejorar en dichos aspectos sin perder sus cualidades naturales, las cuales debemos potenciar, pero aplicando los desarrollos tecnológicos en el mejoramiento de sus debilidades. Por ello la importancia de las investigaciones en empalmes y articulaciones que poco a poco han ido despejando el camino de la sismo resistencia en la guadua.

8. Conclusiones Generales

- Hay que tener en cuenta que el buen diseño de una construcción y sus propiedades sismo resistentes, son el producto de la correcta aplicación de una serie de principios de diseño y construcción a saber:
 1. Forma regular
 2. Bajo peso
 3. Mayor rigidez
 4. Buena estabilidad
 5. Suelo firme y buena cimentación
 6. Estructura adecuada
 7. Materiales competentes
 8. Calidad en la construcción
 9. Capacidad de disipar energía
 10. A mayor grosor de la pared de la guadua mayores son los beneficios estructurales de la misma.

Para que la guadua sea un producto de desempeño adecuado en sismo resistencia es necesario alcanzar un equilibrio entre estas variables.

- De acuerdo con toda la literatura analizada, se tiene en las manos un producto de gran potencial en diversos campos, la academia se ha ocupado de su desarrollo tecnológico y estudio científico, las autoridades se han ocupado de reglamentar las condiciones de uso y aplicación, la comunidad internacional ha puesto sus ojos en los investigadores colombianos que desarrollan nuevas técnicas de uso de este material y se han realizado obras de gran envergadura, demostrando la viabilidad del uso de la guadua como elemento estructural de primer orden.
- El uso de guadua en estructuras permite responder los retos que nos plantean situaciones como estar en zonas de fuertes pendientes, de amenaza sísmica alta y con impactos fuertes por el cambio climático.
- En esta ciudad región es posible estimular su uso y su apreciación, a pesar de la existencia de un fuerte componente cultural que trata de subvalorar su uso, trabajos como el del pabellón zero realizado por arquitecto Simón Vélez en la ciudad de Manizales, y validado en todos sus aspectos en la exposición de Hannover Alemania en el año 2000, hacen que reaparezca la guadua como posibilidad competitiva frente a otros materiales de uso masivo.
- Es posible mejorar su comportamiento estructural mediante el uso y la adaptación con otros materiales, la guadua no es un capítulo cerrado en nuestra historia constructiva, por el contrario, se ha podido demostrar su realidad y su proyección hacia el futuro.

- Como en todos los campos de trabajo y la construcción no es la excepción, la rigurosidad en el cumplimiento de las normas, el correcto empleo del material, la planificación, el diseño, y la mano de obra calificada hacen que todo confluya en un resultado óptimo; por ello es fundamental que todos los aspectos aquí mencionados puedan traspasar las puertas de la academia y masificarse, solo así tendremos asegurado el futuro de este material.

9. Nuevos Interrogantes

Entre más se analiza el tema de guadua, más interrogantes surgen:

- ¿Cómo se puede mejorar su rendimiento?

Muchos son los factores que propician un mejor rendimiento de la guadua, las silvoculturales, el tipo de suelo, las condiciones climáticas, la separación de las plantas en el cultivo, la edad de corte, etc. Y valdría la pena explorar el mejoramiento genético.

- ¿Cómo lograr grandes luces en las estructuras de guadua?

Investigaciones como las de: Martín col, 1981. Gómez y Rubio, 1990. Prieto y Sánchez, 2002. Báez, plazas y Luna, 2003. Demostraron que existen cambios importantes en las propiedades mecánicas de la guadua debido a la irregularidad de su sección transversal, por ello las limitaciones para grandes luces, pero a su vez dichos investigadores recomiendan los laminados de guadua para salvar este obstáculo.

- ¿Qué vulnerabilidad tienen las estructuras de guadua ante los incendios?

La vulnerabilidad es bastante alta, por sus condiciones naturales la guadua al secarse es leñosa y vacía, lo que propaga el fuego con gran facilidad; en su estudio de curado y secado de la caña guadua <http://repositorio.ug.edu.ec/>, plantean un método económico que mejora las condiciones ignífugas para la guadua. También en la actualidad se conocen productos como los retardantes químicos que previenen o demoran la acción del fuego sobre la guadua.

- ¿Cómo se puede controlar el tema de la humedad?

Lo primero es tener el mejor material en corte y cosecha, posterior a ello un secado y curado correcto, la aplicación de productos hidrófugos para contrarrestar esta condición natural, por último, una de las más importantes es evitar en la parte constructiva el contacto permanente con la humedad.

- ¿Cómo se puede complementar con el concreto?

Bravo, para la revista mejicana sustentabilidad; **Bambú, cemento y concreto: una relación de calidad**, afirma “El bambú es un material de alta tecnología. Es estable, pero al mismo tiempo, por sus cavidades, es ligero y flexible. A través de la inyección de concreto al interior del bambú, éste se convierte en un material macizo que, junto con el acero, puede fabricar uniones de alta resistencia capaces de transferir cargas grandes”.

Diversas investigaciones señalan que por lo menos cuatro postes de una columna se pueden empotrar en la fundición, uniéndose las barras de acero del concreto reforzado con los tornillos de los postes y llenando los espacios intermedios con concreto. El resultado será una unión rígida.

La respuesta correcta es si se puede complementar en diferentes formas, como materiales se pueden auxiliar el uno al otro y formar una construcción de calidad y perdurable en el tiempo.

Cada uno de estos temas puede ser objeto de pormenorizadas investigaciones; pero surgen otros interrogantes, algunos de ellos: cómo postensar la guadua, cómo complementarla con los nuevos materiales, la nanotecnología, entre otros.

10. Bibliografía

Garzón. Jenny., (1996). Optimización de estructuras en guadua. Trabajo estructural de uniones a tracción. Universidad nacional de Colombia.pg 120.

Held. C., 2002. El mercado del bambú en Alemania. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira.

Lamus, F., Plazas. M., & Luna. P. (2003) Tamayo, universidad distrital francisco José de Caldas.

Navas. E., (2011). Aplicaciones estructurales de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth): Proyecto de estructura modular multifuncional en Colombia. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado. Universidad politécnica de Madrid, Escuela superior de ingenieros, página 105, cálculo de una cercha según normatividad colombiana.

Norma Colombiana de Sismo Resistencia NSR-10.

Proexport. 2001. Estudio de mercado. Exportación de pisos en guadua a la Unión Europea. Bogotá.

Stamm, Jörg. 2002. Proyecto latas y laminados de guadua. Informe final. Proyecto U.T.P.-GTZ. Pereira.

Takeuchi., C., (2004). Comportamiento estructural de la guadua angustifolia. Uniones en guadua. Revista Ingeniería E Investigación No. 55, septiembre De 2004. 3 – 7. Universidad Nacional De Colombia. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/18696/1/14594-43766-1-PB.pdf>

USAID – Fundación Chemonics – Tecniforest. Proyecto CAD. 2001. Industrialización sostenible de la Guadua. Autor: Francisco Castaño. Buga, Valle del Cauca.

Vélez. S., “Símbolo y Búsqueda de lo Primitivo”.

11. Anexos

11.1 Anexo 1. Comportamiento Estructural De La Guadua Angustifolia. Uniones En Guadua

Ing. Caori Takeuchi
Profesora Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia.

RESUMEN

La guadua es un material natural, renovable en poco tiempo, con buen comportamiento estructural para sollicitaciones de tensión paralela a las fibras, compresión, flexión y torsión. Sin embargo, su resistencia es pobre para esfuerzos de tensión perpendicular a las fibras y para esfuerzos de corte. Un buen diseño de elementos y uniones en guadua, debe tener en cuenta el comportamiento anisotrópico de la guadua.

PALABRAS CLAVE: GUADUA (BAMBU), AUTÓCTONO, RESISTENCIA, UNIONES

SUMMARY

The guadua (bamboo) is a natural material, renewable in little time, with good structural behavior for solicitations of parallel tension to the fibers, compression, flexion and torsion, However, its resistance is poor for perpendicular tension to the fibers and shear. A good design of elements and connections in guadua, must keep in mind the behavior anisotropic of the guadua.

PASSWORD: GUADUA (BAMBOO), AUTOCHTHONOUS, RESISTANCE, UNIONS

INTRODUCCIÓN

La naturaleza nos ha privilegiado al darnos un material con excelente comportamiento estructural, renovable y que logra su máxima resistencia, con tan solo tres a cinco años de edad: LA GUADUA (Foto No 1)



Foto No. 2. Culmo de una guadua angusti-folia kunth (tomado de la referencia No 1)

Como elemento, puede llegar a tener una longitud aproximada de 12 metros (3 m de cepa y 11 m de basa aproximadamente) e incluso más si pensamos en la sobrebasa (figura No 1); en cambio, los tiros de ángulo y varilla que hoy en día se consiguen de 12 m de longitud, hasta hace poco, solo se encontraban de 6 m de longitud en el mercado.

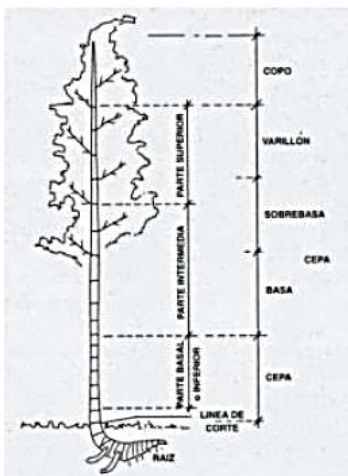


Figura No. 1 Sección longitudinal del tallo (tomado de la referencia No 1)



Foto No. 1. Guadua apto para realizar el corte. (tomado de la referencia No 1)

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA GUADUA

La guadua posee fibras longitudinales con una alta resistencia a la tracción. Se ha llegado a encontrar en ensayos⁸ de latas de guadua de la pared externa sin nudos, una resistencia a la tracción promedio de 2561 kg/cm²; resistencia bastante alta si se tiene en cuenta que el acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 2530 kg/cm² y un esfuerzo último del orden de 4000 kg/cm²; por esta razón se conoce a la guadua como el acero vegetal. En el mismo estudio, se encontró una resistencia a la tracción promedio en fibra externa con nudo de 1647 kg/cm², en fibra completa sin nudo de 1562 kg/cm² y en fibra completa con nudo de 873 kg/cm². La resistencia a la tracción en la pared externa es más alta que en pared completa, debido a dos razones: la primera de ellas es que la parte exterior es dura debido a incrustaciones de sílice, lignina y cutina y la segunda se debe a que la cantidad de fibras es mayor en la parte externa de la guadua que en la parte interna, como se puede observar en la foto No 2.



Foto No.2. Pared de guadua (tomado de la referencia No 1)

Por otro lado, la resistencia a la tracción en latas con nudo es menor que sin nudo, debido a que el nudo es la parte débil de la guadua, aspecto tenido en cuenta en el párrafo 8.5.2. de la propuesta de normas internacionales para ensayos del bambú, “Inbar Standar for determination of physical and mechanical properties of bamboo”⁹ en el que se especifica que las probetas para el ensayo a tracción paralelo a las fibras deben tener un nudo. También se menciona la menor resistencia de probetas a tensión con nudo en “Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo”¹⁰

⁸ CARVAJAL, William N., ORTEGON, William O. Y ROMERO, Carlos J. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

⁹ Inbar Standar for determination of physical and mechanical properties of bamboo”. January 1999

¹⁰ “Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo”. January 1999

La guadua macana¹¹ tiene una sección transversal circular hueca con diámetro de 7 a 15 cm y espesor de pared de 0.9 a 1.2 cm (foto no 3). Al tener esa sección transversal, tiene una gran inercia con respecto a su área. Por tanto, para elementos de guadua solicitados a compresión con longitudes hasta de 3 m, la relación de esbeltez con respecto a cualquier eje que pase por su centro no es muy grande.



Foto No. 3. Sección transversal del tallo de guadua (tomado de la referencia No 2)

Por ser un elemento cerrado de gran inercia, al estar solicitado a flexión, no tiene problemas de inestabilidad por pandeo flexo torsional.

Igualmente, por tener una sección transversal tubular, la guadua es altamente resistente a la torsión, es por esto que los cordones superior e inferior de algunas armaduras con uniones excéntricas de diagonales, como la ilustrada en la foto No 4, no fallan por torsión.

¹¹ En Colombia existen cuatro especies de guadua: angustifolia, aplixifolia, superba y weberbaueri, la guadua angustifolia presenta cinco formas denominadas comúnmente: cebolla, macana, rayada negra, cotuda y castilla



Foto No. 4. Armadura con torsión en los cordones superior e inferior por excentricidad en la unión de las diagonales. (tomado de la referencia No 2)



Foto No. 5. Unión de las diagonales con cordón superior (tomado de la referencia No 2)

Sin embargo, a pesar de todas las ventajas en el uso de la guadua como material estructural solicitado a tracción paralela a sus fibras, compresión, flexión y torsión mencionadas anteriormente, no hay que olvidar que la guadua por su misma naturaleza, no es un material homogéneo con comportamiento isotrópico.

La guadua está formada por fibras longitudinales fuertes, pero a diferencia de la madera no tiene fibras radiales que unan las fibras longitudinales, las cuales están simplemente pegadas por pectina, en una matriz de lignina relativamente débil y blanda (Foto No 2) lo que hace que la resistencia a la tracción perpendicular de la guadua sea muy pequeña.

Esta pobre resistencia a la tracción limita la resistencia a la compresión paralela a las fibras en columnas cortas porque al aplicar la fuerza vertical, se presenta una fuerza radial horizontal (poisson) hacia afuera que separa las fibras debido a que no existe un mecanismo lo suficientemente fuerte, que las mantenga unidas. Los tabiques ayudan en cierta medida, pero al tener un comportamiento pobre a esfuerzos de tracción en su plano, simplemente se rompen, permitiendo la falla de compresión paralela a las fibras por la separación de las fibras longitudinales (foto 6 y 7).



Foto No.6 y 7. Falla por compresión paralela a las fibras (tomado de la referencia No1)

Por la anterior razón, la resistencia a la compresión paralela a las fibras es menor que la resistencia a la tracción de la guadua (por lo menos en un 25%), aún considerando fibra completa y nudo. En su estudio Martín y Mateus¹² encontraron esfuerzos máximos a compresión paralela a la fibra de 662 kg/cm², para una humedad del 12% y una edad comprendida entre 3 y 5 años, López y Silva¹³ encontraron valores promedio de esfuerzos últimos en columnas cortas de 438 kg/cm² y mínimos de 280 kg/cm², Martínez Cáceres¹⁴ encontró valores de esfuerzos últimos de 343 kg/cm² y Uribe y Durán valores promedio de esfuerzos últimos de 504 kg/cm², mínimos de 376 kg/cm² y máximos de 618 kg/cm².

También la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras (aplastamiento) es muy baja, Martínez Cáceres encontró valores de esfuerzos últimos en guadua macana de apenas 23 kg/cm² (ni siquiera alcanza la décima parte de la resistencia a la tracción paralela a las fibras) Al aplicar carga a un cilindro hueco este se deforma y debido a la poca resistencia a la tracción perpendicular a las fibras, se abre como se observa en la foto 8. Cuando el elemento trabaja a compresión perpendicular a las fibras, el comportamiento mejora si se le da un confinamiento a la guadua. Este confinamiento restringe en alguna medida la deformación lateral. Sánchez y Prieto encontraron en ensayos con dispositivos de carga y apoyo circulares que la carga última promedio aumentó con respecto a la utilización de dispositivos de carga y apoyo plano.

¹² MARTÍN, J y MATEUS, L . Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de guadua de castilla. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

¹³ LOPEZ, L y SILVA, M Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

¹⁴ MARTÍNEZ CACERES, E. Puentes en do mayor. CONGRESO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA.1992



Foto No 8. Falla por compresión perpendicular a las fibras.
(tomado de la referencia No3)

La resistencia al corte paralelo a las fibras, es baja. En el trabajo de Clavijo y Trujillo¹⁵ en ensayos de rasgamiento con tornillo¹⁶ donde hubo dos planos de falla, se encontró un esfuerzo cortante promedio de 42 kg/cm²; López y Silva encontraron en ensayos de corte directo un valor mínimo de 43 kg/cm² y un valor promedio de 69 kg/cm² y Sánchez y Prieto encontraron valores de esfuerzo al 0.05 de 47 kg/cm² al calcular el esfuerzo cortante en vigas cortas con longitudes menores de 1 m, simplemente apoyadas con carga en los tercios. Todos estos valores cercanos entre sí indican que la resistencia al corte no alcanza tampoco la décima parte de la resistencia a tracción en dirección paralela a las fibras.

COMPORTAMIENTO DE LA GUADUA EN DIFERENTES UNIONES

En el diseño de estructuras con guadua, se debe tener especial cuidado con el diseño de las uniones. Los elementos bajo diferentes solicitaciones de carga (compresión, tracción paralela a las fibras, flexión y torsión) tienen un buen comportamiento, sin embargo, en las uniones, pueden tener esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra o de corte paralelo a la fibra. Como se ilustra en los siguientes ejemplos.

En la unión en T mostrada en la foto 8, el elemento que aplica la carga comprime al elemento del apoyo, este se deforma, hasta que falla por tensión perpendicular a la fibra. Adicionalmente, la fisura que se presenta lateralmente en el eje del elemento de aplicación de la carga, se produce porque en su extremo se le hace un corte "boca de

¹⁵ CLAVIJO, S y TRUJILLO, D..Evaluación de uniones a tracción en guadua. 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia

¹⁶ En el ensayo de rasgamiento con tornillo, se coloca el tornillo en la lata de guadua a una distancia del extremo. Posteriormente, se aplica una fuerza en sentido paralelo a las fibras longitudinales.

pescado” para empatar con el otro elemento que al deformarse, produce la tensión perpendicular a la fibra, esto explica, que la fisura sea más grande en el extremo.

En la unión de la foto 9, al aplicar la tensión paralela a las fibras en el elemento de carga, el pasador por estar apoyado en las paredes del otro elemento, produce una fuerza de tracción perpendicular a las fibras, produciendo la falla.



Foto 9. Falla por tensión perpendicular a las fibras. (Tomado de la referencia No3)

En la unión de la foto 10, la diagonal conectada al cordón inferior de la armadura se encuentra solicitada a tensión, el conector utilizado en la unión, produce corte paralelo a la fibra, ocasionando la falla de esta unión debido a que la distancia hasta el extremo no es suficiente, dado la poca resistencia al corte de la guadua.



Foto No10. Falla por corte paralelo a las fibras. (tomado de la referencia No2)

En las uniones de las fotos 11 y 12, las componentes horizontales de las diagonales unidas al elemento horizontal con un pasador, producen corte en este elemento, causando la falla.



Foto No11 y 12. Falla por corte paralelo a las fibras. (tomado de las referencias No 2 y 3)

CONCLUSIONES

En el momento del diseño se debe tener en cuenta que la guadua, es un material anisotrópico.

La guadua, es un material natural en el cual, la resistencia de la guadua para diferentes solicitaciones de carga tiene una gran dispersión.

BIBLIOGRAFÍA

1. URIBE, M y DURAN, A. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. 2002. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
2. GUTIERREZ, J y GOMEZ, R. Diseño y elaboración a escala natural de armaduras en guadua angustifolia. 2002. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
3. JARAMILLO, D y SANCLEMENTE, G. Estudio de uniones en guadua con ángulo de inclinación entre elementos. 2003. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
4. CARVAJAL, Willian N., ORTEGON, William O. Y ROMERO, Carlos J. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
5. MARTÍN, J y MATEUS, L . Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de guadua de castilla. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
6. LOPEZ, L y SILVA, M Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

7. MARTÍNEZ CACERES, E. Puentes en do mayor. CONGRESO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA.1992
8. CLAVIJO, S y TRUJILLO, D..Evaluación de uniones a tracción en guadua. 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
9. SÁNCHEZ, J y PRIETO, E. Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexión. 2002. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
10. "Inbar Standar for determination of physical and mechanical properties of bamboo". January 1999
11. "Laboratory manual on testing methods for detemination of physical and mechanical properties of bamboo". January 1999

11.2 Anexo 2. ¿Se Deben Realizar Algunos Ensayos Para Verificar El Comportamiento De La Guadua, A Compresión Paralelo A La Fibra, ¿En Uniones Y En Nudos?

Para dar respuesta a este interrogante es fundamental el apoyo de investigaciones realizadas a este respecto, como las siguientes:

Caori patricia Takeuchi Tam y publicado por la revista Ingeniería e Investigación de la Universidad nacional de Colombia en 2004.

Lamus, F., 2008. Calificación de una conexión viga-columna resistente a momento en guadua angustifolia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. 242 pp

Lozano, J., Luna, P., Takeuchi, C., 2010. Validación de la Guadua angustifolia como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. 190 pp

La mayor parte de estos estudios en guadua sobre solicitaciones en uniones y compresión paralela a la fibra, convergen en aspectos fundamentales, la resistencia a la tracción paralela a la fibra es superior grandemente a la resistencia a la tracción perpendicular a la fibra. La resistencia a la compresión paralela a la fibra también es superior a la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra. Se hace notorio el cuidado que hay que tener sobre las uniones pues tanto la forma de la unión como los elementos con que se une pueden causar efectos no deseados, como solicitaciones perpendiculares a la fibra, que debilitan la estructura prematuramente.

Una de las conclusiones más importantes es el hecho que hay que desarrollar conciencia respecto a que la guadua por ser un material natural de muy difícil estandarización posee unas características inherentes a su proceso productivo que pueden variar y hacer variar su resistencia por las condiciones de clima, humedad, forma de cultivo, etc.

La mejor forma de asegurar resultados en la resistencia estructural es un correcto diseño de las conexiones y una serie de ensayos con muestras representativas del material con el cuál se va a trabajar la estructura, para dichos ensayos se deberá aplicar la norma NTC 5525 que permite obtener unos resultados confiables respecto al material a utilizar en determinada obra.

La respuesta es sí, hay que realizar todo tipo de ensayos y entre más seguros estemos del material; en la región, en el corte, en el tipo de angustifolia, en las condiciones de cultivo, podremos obtener un grado de seguridad mayor para que se cumplan todas las condiciones de diseño.

La guadua es el material del pasado, el presente y el futuro, pero solo en la medida en que avancemos con investigaciones serias podremos transferir este conocimiento las nuevas generaciones e incentivar su uso como material estructural.

