

## ELEMENTOS PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA *Guadua Angustifolia Kunth*

Luis Octavio González Salcedo\*

\*Ingeniero Civil, MSc., Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.  
[octavilento@yahoo.es](mailto:octavilento@yahoo.es)

### RESUMEN

Se hace una descripción de elementos para la caracterización de las propiedades mecánicas de la *Guadua Angustifolia Kunth*, basado en una extensa revisión bibliográfica de investigaciones desde 1950 hasta 2005; los parámetros de caracterización se entregan en función de los esfuerzos admisibles.

**Palabras claves:** Guadua; *Guadua Angustifolia Kunth*; Propiedades mecánicas; Caracterización mecánica; Esfuerzos; Comportamiento mecánico; Factor de seguridad; Esfuerzo admisible.

### SUMMARY

A description of elements is made for the characterization of the mechanical properties of the bamboo *Guadua Angustifolia Kunth*, based on an extensive bibliographical revision of investigations from 1950 until 2005; the parameters of characterization are given in function of the acceptable stress.

**Key words:** Bamboo; *Guadua Angustifolia Kunth*; Mechanical properties; Mechanical characterization; Stress; Mechanical behavior; Security factor; Acceptable stress.

### INTRODUCCIÓN

El Bambú se define como un “pasto gigante” y sus muchas especies se encuentran en clima tropical y templado en Asia, América y África, como se muestra en la figura 1. Algunas especies son tan pequeñas que se las puede comer, pero otras son muy grandes y resistentes, encontrándose entonces una amplia variación física, como se muestra en la figura 2 (OBERMANN y LAUDE, 2004). En

general, el bambú crece muy rápidamente y puede llegar a una altura de 10 m a 20 m en menos de un año. Tiene la forma de un tubo ligeramente cónico y el diámetro exterior puede variar de 3 cm a 25 cm según la especie. En el mundo, existen cerca de 1600 especies de bambú, y el 64% de ellas son nativas del sureste de Asia, 33% crece en Latinoamérica, y el resto en el África y Oceanía. En Norteamérica existen únicamente tres especies nativas, comparadas con las 440 de Latinoamérica (ADAMS, s.f.). El bambú es una gramínea de rápido crecimiento, se encuentra en la mayor parte de las regiones tropicales y subtropicales del mundo y en algunas zonas templadas, con excepción de Europa, en los trópicos de Cáncer y Capricornio y desde el nivel del mar hasta el límite de las nieves (*Chusquea teseellata*); en América Tropical se reconocen 41 géneros (21 son herbáceos y 20 leñosos) y aproximadamente 440 a 460 especies. Los géneros más representativos en Colombia son *Chusquea* y *Guadua* (LONDOÑO y PRIETO, 1983).

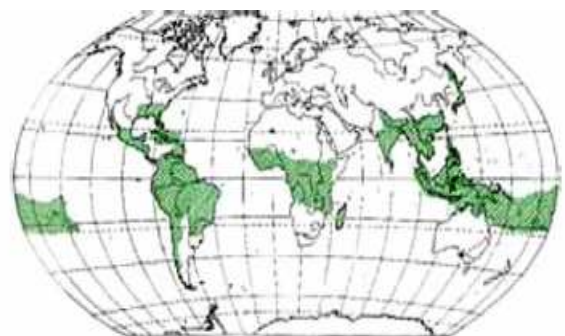


Figura 1: Presencia del bambú en el mundo.

El género *Guadua* es originario de América, se encuentra desde México hasta Argentina con excepción de Chile y se han descrito alrededor de 32 especies. Se distingue de los otros géneros de bambú, por varias características, pero las más

fácilmente reconocibles son las bandas blancas que tienen en el culmo a lado y lado de la línea nodal. HUMBOLT y BOMPLAD, en 1806, la clasificaron como *Bambusa guadua*; KUNTH, en 1822, reconoció a este bambú como un nuevo género y denominó la especie tipo *Guadua angustifolia*; MUNRO, en 1868 acepta el género de Kunth y señala la diferente distribución geográfica de los dos géneros, reconociendo a la *Guadua* como propio del Nuevo Mundo y al género *Bambusa* exclusivo del Viejo Mundo; MCCLURE, en 1973, la ubica como subgénero de *Bambusa*; SODERSTROM y ELLIS, y SODERSTROM y LONDOÑO, en 1987, confirman el género *Guadua* (ARBELAEZ, 1997).



**Figura 2: Variación en el aspecto físico en algunas especies de bambú.**

La especie del género *Guadua* más importante en Colombia por sus características y propiedades es la *Guadua angustifolia* Kunth, la cual se encuentra desde Panamá hasta Perú, es muy abundante y ampliamente usada en la construcción de vivienda en Colombia y en Ecuador. Tiene descrita una variedad *Guadua angustifolia*, la variedad bicolor y sólo se ha encontrado en Colombia, según LONDOÑO, 1989. Dentro de la especie se presentan pequeñas variaciones denominadas formas, las más comunes son las conocidas como Macana (culmos de paredes gruesas, muy resistentes, abundantes ramas inferiores espinosas)

y Cebolla (llamada también *guadua* balsa, tiene culmos de paredes más delgadas que las de la macana, a veces mayor diámetro, pocas ramas inferiores espinosas) (SALTAREN y MONTAÑO, 2000).

La *guadua* es un material poroso de origen vegetal y constituido por células, sus fibras están dispuestas axial y longitudinalmente, es un material anisotrópico ya que sus propiedades físicas, mecánicas y de laborabilidad varían según su sentido o plano considerado; presenta cambio de sus dimensiones debido a la expansión térmica y cambio de volumen a causa de la humedad. Todo esto hace que la *guadua* se comporte similar a la madera y por esta razón se ha referenciado con los estudios de la madera para la determinación de propiedades físicas y mecánicas para la *guadua* (GONZALEZ, 2000).

La *guadua* en Colombia ha sido definitiva en la concepción del patrimonio construido, como en las edificaciones de viviendas, de escuelas, centros de salud, templos y múltiples obras autóctonas de las regiones que tienen este recurso. Ha dado forma y simbología a su arquitectura, al escenario urbano y al paisaje circundante. Además en la vía del patrimonio ambiental la *guadua* juega un papel preponderante, comprendiendo que lo ambiental no es únicamente lo relacionado con los árboles, la contaminación o el agua; es un concepto transversal en las culturas, tiene que ver con el desarrollo, con la planificación del territorio, con la inversión de los recursos, las tecnologías y con casi todos los aspectos del concepto de vida. A lo ambiental le atañe además la soberanía, la equidad y el desarrollo, entre otros (RODAS, 2005).

En el patrimonio construido se incluyen las tecnologías mantenidas a lo largo de los años, su estilo, su estética, el uso y el respeto del entorno por parte de quienes lo habitan. Contrariamente a lo que comúnmente se cree la arquitectura con *guadua* no es primitiva, más bien llega a soluciones técnicas de gran complejidad y logros

estéticos importantes (VILLEGAS, 2003). Se corrobora así, que las comunidades usan los materiales que tienen cerca para cubrir sus distintas necesidades en cualquier lugar o época, manteniendo permanente comunión entre ellas y su entorno en este caso por la abundante existencia de la guadua, que fue determinante para los asentamientos en esa zona, para su aprovechamiento y el surgimiento de mitos y leyendas alrededor de ella (RODAS, 2005). La comprensión de la arquitectura y la ingeniería, advierte Santiago Calatrava, arquitecto contemporáneo, debe concebirse ideando primero, los materiales a usar, establecer su significado y las formas que con ellos se pueden adoptar, en tanto que estos son fundamentales para decidir el camino a seguir en la construcción del escenario urbano; idea manejada desde tiempos atrás por diversas comunidades (BASTIDAS, 2004).

Muchas construcciones con guadua se han mantenido por siglos y forman parte del patrimonio Colombiano, ellas han ido cobrando importancia, por ejemplo en el eje cafetero; doce municipios construidos con guadua en el siglo XIX, se postularon en el año 2003 ante la UNESCO, para ser reconocidos como patrimonio de la humanidad, por haber conservado las técnicas constructivas autóctonas, las prácticas de cultivos, además de su integración con la naturaleza formando un paisaje cultural armónico (BASTIDAS, 2004, JARAMILLO y VELA, 2004; citados por RODAS, 2005).

Se observa entonces, que el bambú y la guadua, han ocupado un lugar histórico a nivel mundial en la ingeniería y en la construcción; por más de 100 años, han sido los materiales utilizados por la humanidad, no solo para satisfacer la necesidad de vivienda, sino también la de comunicarse y protegerse, ya que ha sido la materia prima estructural para construir casas y edificaciones, así como también puentes y trinchos. Sin embargo, muchas de estas aplicaciones, ilustres en el Sureste Asiático y en América Latina, han surgido de una

tradicción oral y artesanal, que aun se conservan en el inicio de este siglo. La guadua, como es conocido el bambú en nuestro país, es un material de origen vegetal, leñoso, con propiedades estructurales anisotrópicas, con una alta variación en sus propiedades físicas (dimensiones y contenido de humedad) que inciden también en la variabilidad de sus propiedades mecánicas, con una naturaleza que la hace similar a la madera. Sin embargo, la madera desde hace más de 30 años en Estados Unidos y Europa, y 20 años en Latinoamérica, ha sido clasificada y normalizada, de tal manera que la construcción dispone de un material que a pesar de su variación física y mecánica, tiene certeza sobre su comportamiento, en otras palabras confiabilidad. Las especies maderables tropicales fueron estudiadas a profundidad, y en 1984, LA JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, puso a disposición el Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, y no se puede desconocer que a casi una década de la expedición de la NSR-98, su contenido aportó la redacción del Título G, en el actual código de construcción sismorresistente de nuestra nación, ocupando así un lugar privilegiado dentro de la ingeniería estructural.

Causa incertidumbre que pesar de la belleza en la arquitectura con guadua de Simón Vélez, las investigaciones sobre su anatomía y morfología desarrolladas por Ximena Londoño y otros investigadores, los experimentos sobre técnicas constructivas llevadas a cabo por Oscar Hidalgo, las aproximaciones estructurales de Anacilia Arbeláez, y en los últimos años los estudios realizados por los Ingenieros Caori Patricia Takeuchi y Harold Cárdenas, sin dejar de destacar a los diferentes actores de la investigación sobre la guadua desde 1950, tal como lo menciona y recopila la Profesora Arbeláez, esa confiabilidad estructural aún no haya sido traducida y reconocida en un manual y en un código. A nivel mundial, también destacadas investigaciones han sido desarrolladas, entre ellas las realizadas por la Universidad Tecnológica de Eindhoven,

encabezadas por Julius Janssen y complementadas por los Ingenieros costarricenses Oscar Antonio Arce – Villalobos y Guillermo González – Beltrán, y mas cerca, las llevadas a cabo por el Profesor K. Gavhami, en Brasil, y las publicadas por el INBAR, agencia internacional que propuso en el 2001, la normalización del diseño estructural, con la elaboración del borrador de la norma Bamboo Structural Design ISO / TC 165 / N 313.

En el Simposio Internacional Guadua 2004, organizado por la Sociedad Colombiana del Bambú / Guadua y la Universidad Tecnológica de Pereira, y realizado en la ciudad de Pereira, la Profesora Takeuchi y los noveles ingenieros Gabriel Tibasosa y Camilo Andrés Rusingue expresaron la necesidad de disponer de un manual de diseño para estructuras en guadua, de tal forma que el enfoque experimental, sea un instrumento de control de calidad y seguimiento de sus propiedades mecánicas. Estos parámetros inicialmente se pueden reflejar en valores de resistencia admisible, y diseñar estructuras en guadua usando aquella teoría estructural que aun no pierde vigencia y su método correspondiente, la teoría elástica y el método de diseño con esfuerzos de trabajo; sin dejar de mencionar que de acuerdo con los reportes entregados por el investigador mexicano Raymundo Dávalos, en Norteamérica, se ha procedido a abordar el diseño probabilístico de estructuras con madera y la utilización del método de diseño con esfuerzos últimos. En el presente documento se realiza un enfoque hacia la caracterización de las propiedades mecánicas de la Guadua angustifolia, buscando a partir de una extensa revisión bibliográfica definir aquellos aspectos que permitan realizar dicha caracterización.

### **MÉTODOS Y MATERIALES**

Para definir los elementos de caracterización de las propiedades mecánicas, se procedió a realizarse una extensa revisión bibliográfica sobre los siguientes tópicos:

- Modelación de la célula y de la pared celular del bambú (JANSSEN, 1981; SCHWARTZ y SCHWARTZ, 1968; WILLIAMS, 1973; JONES, 1975; LEKHNITSKII, 1963; MARK, 1967; PRESTON y SING, 1950; PARAMESWARAN y LIESE, 1967; KOLLMAN y COTE, 1968; PANSHIN y DE ZEEUW, 1970; SIAU, 1971; LIESE, 1972; COUSINS, 1976 ).
- Toma de muestras (HURTADO y CANO, 1999; HURTADO, 2000; GONZÁLEZ, 2005; ARICAPA et al, 1999).
- Comportamiento mecánico (DUNKELER, 1992; ATROPS, 1969; JANSSEN, 1990; LIZCANO, 2005).
- Ensayos de laboratorio para la determinación de las propiedades mecánicas (ARBOLEDA et al, 1997; ARICAPA et al, 1999; HURTADO, 2000; GONZÁLEZ, 2005).
- Esfuerzos admisibles (ARBOLEDA et al, 1997; ARICAPA et al, 1999; JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1984).
- Con el objetivo de observar la variabilidad entre los valores obtenidos experimentalmente, a continuación se resumen los diversos estudios realizados sobre las características físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia kunth, las cuales han sido compiladas por ARBELAEZ et al, 2001 (para 50 años), y por el Autor en la revisión bibliográfica de memorias de seminarios y congresos, y documentos especializados sobre la guadua en los últimos años (GENUARDI, 1954; DIAZ et al, 1971; MERINO et al, 1972; CARVAJAL et al, 1981; SALAZAR y CORRECHA, 1981; CARRASCO et al,

1982; CÁCERES y RODRÍGUEZ, 1982; JIMÉNEZ y GÓMEZ, 1982; JAIMES y TORRES, 1984; BOTERO, 1985; MEJIA y SALAZAR, 1986; CACERES, 1990; GARCIA y MARTINEZ, 1991; GONZALEZ y DIAZ, 1992; BERRIO y RESTREPO, 1993; CARDONA y GRANADOS, 1993; FRANCO y SIERRA, 1994; CARDENAS, 1996; ARBELAEZ, 1996; ARBOLEDA et al, 1997; PEÑA y RODRÍGUEZ, 1997; ARICAPA et al, 1999; GONZALEZ y OSORIO, 2000; LINDERMANN y STEFFENS, 2000; ATROPS, 1969; GHAVAMI, 2004; GAVHAMI y MARINHA, 2001; LIESE, 1980; AMADA et al, 1996; LIESE, 1990; GUZMÁN y MOREL, 2004; MORENO et al, 2004; OBERMANN y LAUDE, 2004; TAKEUCHI, 2004; CARVAJAL et al, 1981; DURÁN y URIBE, 2002; PRIETO y SÁNCHEZ, 2002; CAMACHO y PAEZ, 2003; PRADA y ZAMBRANO, 2003; DURÁN y URIBE, 2002; SÁNCHEZ et al, 2004 ).

## RESULTADOS

### Modelación de la célula y la pared celular del bambú.

Un esquema de una célula típica del bambú es mostrada en la figura 3. La pared celular es un compuesto de fibras de celulosa en un matriz de lignina y hemicelulosa, y es diferente esta composición tanto para el bambú como para la madera. Un esquema de la pared celular del bambú, es mostrado en la figura 4.

La construcción de un modelo matemático de la célula, se basa en las ecuaciones para cada capa, con tres ecuaciones constitutivas y tres ecuaciones concernientes al equilibrio de fuerzas; las tres ecuaciones constitutivas para una capa vertical (con las microfibrillas casi paralelas con el eje celular) son mostradas en la figura 5, donde:

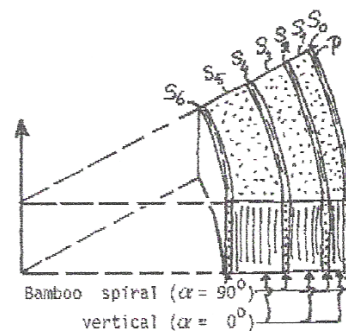


Figura 3: Esquema típico de la célula del bambú.

- $E_L$  es el módulo de elasticidad de una capa de la pared celular paralela a la dirección de las microfibrillas.
- $E_T$  es el módulo de elasticidad de una capa de la pared celular perpendicular a la dirección de las microfibrillas.
- $\nu_{LT}$  es la relación entre la contracción en la dirección T y la extensión en la dirección L.
- $\nu_{TL}$  es la relación entre la contracción en la dirección L y la extensión en la dirección T.
- $\nu_{TT}$  es la relación entre la contracción en la dirección T y la extensión en la dirección T.

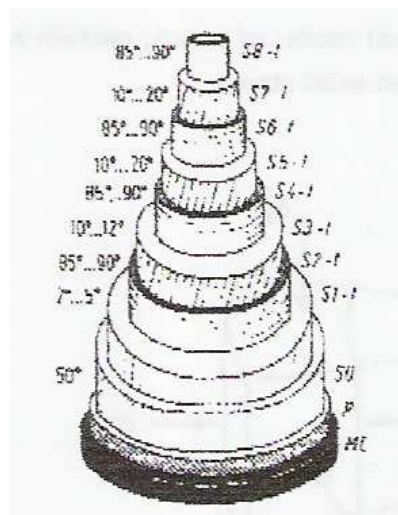


Figura 4: Célula del bambú.

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_\phi \\ \epsilon_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_L} & -\nu_{TL} & -\nu_{TL} \\ -\nu_{LT} & \frac{1}{E_T} & -\nu_{TT} \\ -\nu_{LT} & -\nu_{TT} & \frac{1}{E_T} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_\phi \\ \sigma_R \end{pmatrix}$$

Figura 5: Ecuaciones constitutivas para una capa vertical.

Para una capa espiral las ecuaciones constitutivas se forman intercambiando la primera y segunda columna y línea, como se muestra en la figura 6:

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_\phi \\ \epsilon_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_T} & -\nu_{LT} & -\nu_{TT} \\ -\nu_{TL} & \frac{1}{E_L} & -\nu_{TL} \\ -\nu_{LT} & -\nu_{TT} & \frac{1}{E_T} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_\phi \\ \sigma_R \end{pmatrix}$$

Figura 6: Ecuaciones constitutivas para una capa espiral.

las ecuaciones para el equilibrio de fuerzas, de acuerdo con la figura 7, son:

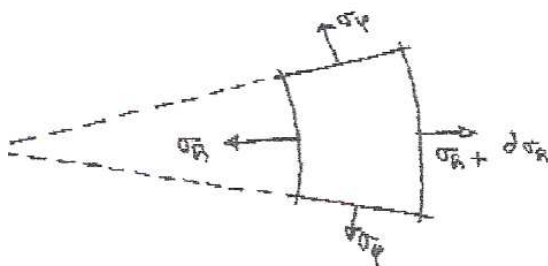


Figura 7: Equilibrio de fuerzas.

$$\partial / \partial x = 0 \quad (1)$$

$$\partial / \partial \phi = 0 \quad (2)$$

$$\partial \sigma_R / \partial R + (\sigma_R - \sigma_\phi) / R = 0 \quad (3)$$

La solución del modelo matemático planteado, corresponde a resolver estas ecuaciones diferenciales para una capa isotrópica, para una capa vertical, y para una capa espiral.

## Muestreo

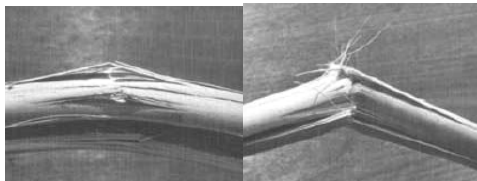
En el muestreo para la obtención de probetas de guadua, la selección de campo no se realiza como lo indica la Norma INCONTEC 787 debido a que los cultivos de guadua sólo se cortan de acuerdo a la hora, luna y edad del cultivo; también se debe extraer el 50% de las guaduas maduras cada dieciocho meses en promedio. El procedimiento a seguir para la toma de muestras de guadua desde el cultivo, se inicia con la escogencia del tipo de bambú para la investigación, determinando el lote a cortar teniendo en cuenta que ya haya pasado la mayoría de su ciclo biológico, la edad de la guadua determina la toma de muestras puesto que incide en sus propiedades mecánicas; se debe realizar el corte con cuidado porque puede ocurrir la destrucción o la reducción en el rendimiento de las plantas.

## Comportamiento mecánico de la guadua

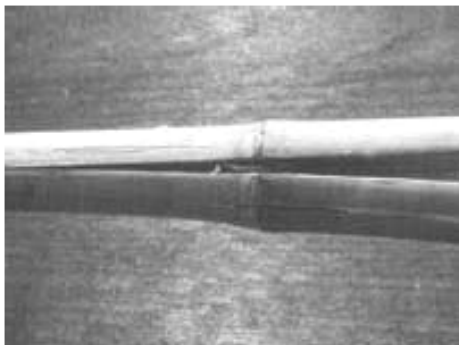
El comportamiento de la fractura de una madera común para edificación difiere claramente de las condiciones de falla de la guadua. En la guadua no hay un descanso espontáneo a través del material entero después del rasgado de las fibras solas como los hace la madera (figura 8). Las hendiduras aparentes son llevadas inmediatamente fuera de la dirección de las fibras y dañan la menor región crítica. La transferencia de energía se demora por difusión. La distribución de las fisuras longitudinales aparentes sobre toda la longitud del culmo se detienen por la resistencia de los nudos; especialmente las resistencias a presión, cortante, e interlaminar son proporcionadas por los nudos. Estos síntomas son denominados como el factor que incrementa la dureza a la fractura. En la investigación de materiales modernos compuestos, es de menor importancia prevenir la formación de fisuras, con respecto a neutralizar la distribución de las hendiduras para encontrar un material de construcción conveniente.

El trabajo necesario para impactar un tallo de guadua es casi el mismo si el impacto golpea el nudo o el internodo, pero las condiciones de

fractura en cada uno son totalmente diferentes. Si el impacto golpea el nudo, el culmo se astillará en tiras axiales; lo que significa una falla como resultado de la fuerza presente en la resistencia vertical de las fibras (figura 9). Si el impacto golpea el internodo, se observará la falla real; lo que significa una falla como resultado de la fuerza presente en la resistencia a la tensión en la dirección de la fibra



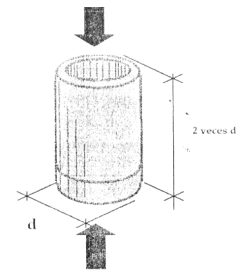
**Figura 8: Comportamiento de la fractura en la guadua.**



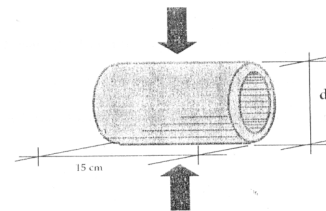
**Figura 9: Comportamiento de la fractura de la guadua por impacto.**

### Ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas

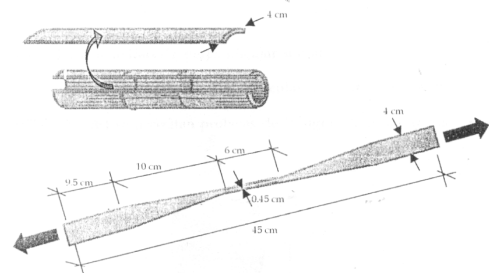
La caracterización mecánica se realiza con los siguientes ensayos (ARBOLEDA et al, 1997; ARICAPA et al, 1999; GONZÁLEZ, 2005): Ensayo de compresión axial (INCONTEC 784), ensayo de compresión perpendicular a la fibra (INCONTEC 785), ensayo de tracción paralela a la fibra (INCONTEC 944), ensayo de tracción perpendicular a la fibra (INCONTEC 961), ensayo de flexión (INCONTEC 663), y ensayo de cizallamiento paralelo a la fibra (INCONTEC 775). Las figuras 10, 11, 12, 13, 14 y 15 muestran las disposiciones y dimensiones de las probetas para la realización de los ensayos mencionados.



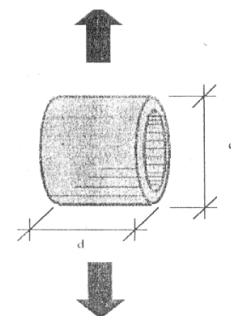
**Figura 10: Dimensiones de las probetas para ensayos de compresión axial.**



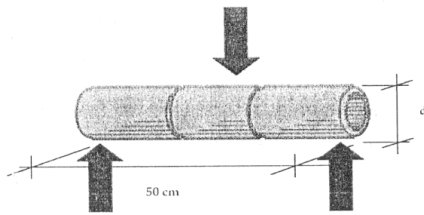
**Figura 11: Dimensiones de las probetas de compresión perpendicular.**



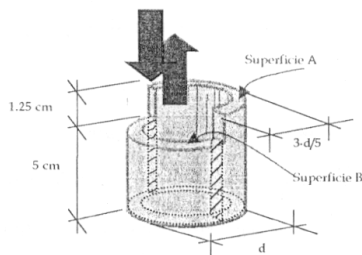
**Figura 12: Dimensiones de las probetas de tracción paralela a la fibra.**



**Figura 13: Dimensiones de las probetas de tracción perpendicular a la fibra.**



**Figura 14: Configuración de las probetas del ensayo a flexión.**



**Figura 15: Dimensiones de la probeta para el ensayo de cizallamiento.**

En el diseño con guadua se establecen condiciones específicas relacionadas con sus propiedades, para evitar las diferentes fallas que puedan presentarse se resalta la utilización de conexiones. Las propiedades evaluadas comprenden (ATROPS, 1969; JANSSEN, 1990; DUNKELBERG, 1992; LIZCANO, 2005):

- **La tensión paralela a las fibras:** la resistencia que presenta la guadua es significativamente alta, siendo mayor en la pared externa justificada por su constitución física y química. Por la primera, debido a que la red de fibras se encuentra en mayor proporción y la segunda dada por el contenido de sílice, lignina y cutina. La ausencia de nudos es un factor que confiere mayor resistencia puesto que se evita la discontinuidad de las fibras.
- **Compresión paralela a las fibras:** con esta propiedad la guadua manifiesta una resistencia menor comparada con la de tensión, comportamiento que se debe a la ausencia de radios medulares y cambium

que caracterizan los tejidos presentes en la madera. La guadua presenta un tejido constituido por fibras longitudinales que manifiestan separación en el momento de aplicación de la fuerza aunado con la presencia de los nudos o perforaciones. Formaciones compuestas reflejan un aumento en la resistencia. En el diseño se consideran las diferentes fallas que pueden presentarse con longitudes de guadua (columna) variables.

- **Flexión:** las fallas por flexión se desarrollan en las zonas de los nudos cuando se presenta tensión paralela a la fibra. Al inhibir el desarrollo de las fallas por compresión perpendicular a la fibra en apoyos o puntos de carga a las cuales la guadua posee poca resistencia; pueden obtenerse las fallas por flexión, caracterizadas por una deformación oval. Para este tipo de falla, existen algunos mecanismos que están orientados a evitar la ruptura de la guadua mediante: la utilización de dispositivos circulares al aplicar la carga y puntos de apoyo, ubicación de las cargas concentradas y reacciones en puntos estratégicos como nudos o en zonas que posean refuerzos para tales efectos, el relleno de celdas con mortero en los puntos de aplicación de cargas concentradas.
- **Cortante:** especialmente para la construcción de uniones en guadua es importante considerar la resistencia a cortante. La influencia de la distancia de la superficie de cortante decrece con el aumento de la longitud de la superficie de cortante. En una pared de espesor de 10 mm la resistencia a cortante es aproximadamente el 11% menor que un tallo con espesor de pared de 6 mm; esto podría explicarse por la distribución de fibras de alta resistencia por toda la superficie de la sección transversal.

- **Módulos de elasticidad:** con respecto a los módulos de elasticidad se puede observar una ventaja en el uso de tubos delgados con relación a su sección transversal. La acumulación de fibras de alta resistencia en las partes externas de la pared de la guadua también trabajan positivamente a favor de los módulos elásticos como lo hace para las resistencias a tensión y flexión. Como los módulos elásticos de la madera sólida, los de la guadua decrecen entre 5 y 10% con el aumento de los esfuerzos. La alta elasticidad de la guadua, lo hace un material potencial para ser usado en áreas con alto riesgo sísmico.
- Para el diseño de uniones se consideran las características estructurales de la guadua, específicamente sus orificios entre tabiques y la presencia de fibras longitudinales que le son únicas, a partir de esto las diferentes fallas que suele presentar entre las cuales la debida a la tensión perpendicular a la fibra y al corte, que requieren de ensayos y conexiones elaboradas que reduzcan su aparición como fallas prematuras.
- Diferentes estudios sobre las propiedades mecánicas de la guadua coinciden en que son algunas particularidades las que inciden en la calidad de la misma, para las diferentes aplicaciones a las que puede tener lugar en el campo de la construcción. Entre ellas puede citarse la debida al proceso de degradación de sus elementos constitutivos como la lignina o el deterioro por insectos u hongos, de ahí, que conocer las principales causas de estos procesos sean un mecanismo para mejorar las características afectadas y disminuir de esta manera las diferencias que suelen presentarse con relación a otros materiales de construcción.

### **Cálculo de los esfuerzos admisibles**

De acuerdo con ARBOLEDA et al, 1997, y ARICAPA et al, 1999, al utilizar la guadua como material estructural, se debe trabajar con los valores de esfuerzos últimos modificados por factores de seguridad, porque a pesar de ser un material homogéneo colapsa sin alcanzar su punto de fluencia. La JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1984, establece en el Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, la utilización de los siguientes factores:

- Factor de reducción por calidad (FC): se utiliza para determinar un factor de reducción de resistencia por defectos y por tamaño. Por lo general la guadua presenta agujeros y agrietamientos aislados.
- Factor de servicio y seguridad (FS): con este factor los esfuerzos últimos se reducen, para estar en las condiciones de servicio, de tal forma que los valores de esfuerzos de diseño se presenten por debajo del límite de proporcionalidad. De esta manera se garantiza un comportamiento adecuado de las estructuras en condiciones normales y la validez en forma aproximada de las hipótesis de comportamiento lineal y elástico.
- Para la aplicación del FS, el esfuerzo último es dividido por dicho factor, obteniéndose esfuerzos en condiciones de servicio. Al aplicar el factor FS, se consideran las siguientes incertidumbres:
  - Conocimiento de las propiedades del material y su variabilidad.
  - La confiabilidad de los ensayos para evaluar adecuadamente las características resistentes del material.
  - La presencia de efectos no detectados al momento de la clasificación visual.

- El tipo de falla, frágil o dúctil, que pueda presentarse al sobre-esforzar el material.
  - La evaluación de las cargas aplicadas y la determinación de los esfuerzos internos producidos por estas cargas en los elementos estructurales.
  - Dimensiones reales de los elementos con respecto a las supuestas en el análisis y el diseño.
  - Calidad de la mano de obra para una construcción adecuada.
  - Deterioro del material con el uso.
  - El riesgo de falla y su relación con vidas humanas.
  - El aumento de las cargas por posibles cambios en el destino o uso de la edificación.
- Factor de reducción por tamaño (FT): Los resultados en los ensayos realizados por ARBOLEDA et al, 1997, y ARICAPA et al, 1999, permiten observar una disminución del esfuerzo de rotura en flexión a medida que se consideran secciones de mayor tamaño. Igual incidencia se presenta en los esfuerzos de rotura en tracción paralela a las fibras. De igual manera, por su condición natural, las probetas de guadua que se utilizan para ensayos, varían proporcionalmente con su diámetro.
  - Factor de duración de la carga (FDC): Los esfuerzos de rotura disminuyen con la duración de la aplicación de la carga. Tradicionalmente se han considerado valores de reducción muy altos, considerando como condición crítica cuando la carga es permanente.
  - Factor de corrección por humedad (CM): Los resultados en los ensayos realizados por ARBOLEDA et al, 1997, y ARICAPA et al, 1999, permiten observar una

disminución de los esfuerzos de acuerdo con el contenido de humedad y su incremento. Se considera como situación crítica, cuando el material se encuentra en estado verde.

LA JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1984, ha sugerido los valores para los factores de reducción descritos, que son presentados en el cuadro 1:

**Cuadro 1: Valores de los factores de reducción.**

<b>Esfuerzo</b>	<b>FC</b>	<b>FT</b>	<b>FS</b>	<b>FDC</b>	<b>CM</b>
Compresión perpendicular (Fp)	1.00	1.00	1.60	1.00	1.00
Compresión paralela (Fc)	1.00	1.00	1.60	1.25	1.00
Flexión (Fb)	0.80	0.90	2.00	1.25	1.00
Cortante paralela (Fv)	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00

Entonces el esfuerzo admisible se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Esfuerzo admisible} = [(\text{FC} \times \text{FT} \times \text{CM}) / (\text{FS} \times \text{FDC})] \times \text{esfuerzo último} \quad (1)$$

### **Análisis probabilístico**

Existen diversas funciones teóricas de distribuciones de probabilidades que son representativas de fenómenos que tienen distintas características. La función que se emplea con más frecuencia para representar el comportamiento de una variable es la llamada distribución normal. En la variables que intervienen en el diseño existen incertidumbres que provienen tanto de la variabilidad intrínseca por factores que están fuera del control del proyectista, como desconocimiento que se tiene de alguna característica del fenómeno que genera la variable (ARBOLEDA et al, 1997).

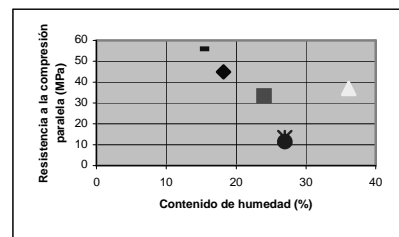
Debido al gran número de variables que intervienen en el diseño, a las incertidumbres significativas de éstas y a que las estructuras reales son sistemas complejos, cuya posibilidad de falla depende del comportamiento de gran número de elementos ante diferentes combinaciones de

acciones, el problema de determinar la probabilidad de falla de una estructura es muy complejo y no se presta a generalizaciones. En el diseño se pretende limitar la probabilidad de falla a un valor suficientemente pequeño que representa la probabilidad de que ocurra el evento (MELI, 1991). ARBOLEDA et al, 1997, proponen que a la población de guaduas que se utilizan para una caracterización física y mecánica, se le realice una distribución normal de esfuerzos y se determine probabilísticamente el quinto percentil, es decir, que la probabilidad de que el esfuerzo sea menor del valor calculado es del 5%, para obtener una buena estimación de toda la población de guaduas de la especie, no limitando el estudio a las guaduas ensayadas.

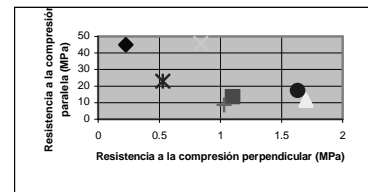
### Investigaciones realizadas sobre las propiedades mecánicas

Se puede observar una gran variabilidad en los resultados obtenidos por las diferentes fuentes; algunos autores definieron como parámetros, la resistencia última obtenida, y a partir de allí determinar el esfuerzo admisible, otros la resistencia última obtenida para el cálculo de la resistencia admisible. De igual manera, hay una variación en las metodologías para realización de ensayos y la utilización de los factores de seguridad que permitan el cálculo del esfuerzo admisible, entre ellos las estipuladas en las normas TAPPI, INCONTEC, ASTM, COPANTT y el manual de LA JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, todas para maderas. Sin embargo, se observa en los resultados unas tendencias propias y esperadas, de acuerdo con la comparación que se haría con respecto al comportamiento mecánico de la madera; en las figuras 16, 17, 18, 19 y 20, donde se relacionan diversas propiedades físicas y mecánicas de la guadua. En la figura 16, se relacionan el contenido de humedad (%) y la resistencia a la compresión paralela (MPa) de resultados promedios obtenidos experimentalmente, donde se observa un comportamiento esperado de disminución de la resistencia con el aumento del contenido de

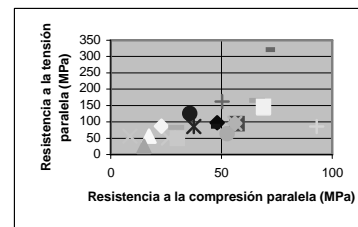
humedad. En la figura 17, se relacionan las resistencias a la compresión perpendicular y paralela, donde se observa también un comportamiento esperado de disminución de la resistencia a la compresión paralela con el aumento de la resistencia a la compresión perpendicular. Las figuras 18, 19 y 20, muestran un comportamiento esperado de proporcionalidad directa, con respecto a las propiedades relacionadas.



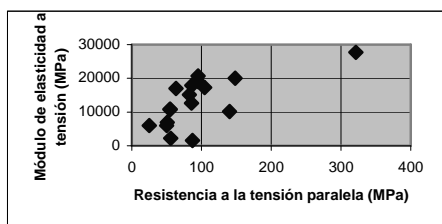
**Figura 16: Contenido de humedad (%) versus Resistencia a la compresión paralela (MPa), de acuerdo con resultados promedios obtenidos experimentalmente, para la Guadua angustifolia, 1950 - 2005.**



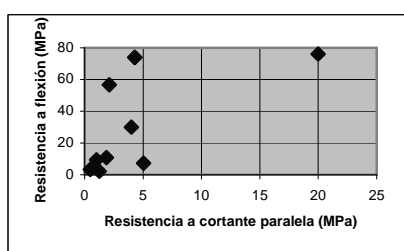
**Figura 17: Resistencia a la compresión perpendicular (MPa) versus Resistencia a la compresión paralela (MPa), de acuerdo con resultados promedios obtenidos experimentalmente, para la Guadua angustifolia, 1950 - 2005.**



**Figura 18: Resistencia a la compresión paralela (MPa) versus Resistencia a la tensión paralela (MPa), de acuerdo con resultados promedios obtenidos experimentalmente, para la Guadua angustifolia, 1950 - 2005.**



**Figura 19: Resistencia a la tensión paralela (MPa) versus Módulo de elasticidad a la tensión (MPa), de acuerdo con resultados promedios obtenidos experimentalmente, para la Guadua angustifolia, 1950 - 2005.**



**Figura 20: Resistencia a la cortante paralela (MPa) versus Resistencia a la flexión (MPa), de acuerdo con resultados promedios obtenidos experimentalmente, para la Guadua angustifolia, 1950 - 2005.**

El INBAR, La Red Internacional del Bambú y el Ratán, ha preparado y sometido una norma internacional, que permita hacer del bambú (y por derecho propio, la guadua) un material al nivel de los materiales que actualmente se utilizan para la construcción de edificaciones, reconocido y aceptado internacionalmente en el diseño. La discusión sobre la necesidad de una norma internacional fue iniciada en 1988, durante el Taller Internacional del Bambú, realizado en Cochin, India. Debido a la falta de fondos el trabajo real empezó mucho después, en 1997, cuando INBAR se lanzó como una agencia Internacional, y cuando el gobierno holandés proporcionó el fondo necesario. En 1998, los textos del proyecto fueron escritos y distribuidos a un grupo de especialistas dentro de INBAR para proponer las mejoras. Los miembros de este grupo se encontraron la primera vez los días 30 y 31 de octubre de 1998 en San José, Costa Rica; los participantes fueron N.S. ADKOLI, K.

GHAVAMI, R. GNANAHARAN, H.N.S. JAGADEESH, J.J.A. JANSSEN, K.S. PRUTHI, I.V. RAMANUJA RAO, D. SANDS, J.O. SIOPONGCO, K. STOCHLIA, y D. TINGLEY. Durante 1999, los resultados de esta reunión fueron incorporados en los textos del proyecto; en septiembre, éstos se habían discutido en una reunión con ISO-TC 165 en Harbin, China. En octubre de 1999, una reunión tuvo lugar con representantes de los Institutos Normales Nacionales de Bangladesh, China, Colombia, Ecuador, Etiopía, India, Indonesia, Nepal, Filipinas, Tanzania, Tailandia, y Vietnam; esta reunión se celebró en Filipinas y su resultado fue una mejora considerable de los textos, y un acuerdo general para someter los textos del proyecto al ISO, según los procedimientos formales establecidos. Sin embargo, mientras la norma denominada ISO / TC 165 / N 313, es aceptada y aplicada en los países, el Autor considera que las normas para determinación de propiedades físicas y mecánicas, así como manuales de construcción existentes, para madera, pueden ser aplicados para hacer lo propio con la guadua (INBAR, 2001).

## CONCLUSIONES

En futuros trabajos donde se realicen caracterizaciones de las propiedades mecánicas, se sugiere utilizar el modelo matemático de la pared celular de la guadua, propuesto por JANSSEN, 1981, y proceder a su convalidación con los datos obtenidos. Se propone la elaboración para la Guadua angustifolia kunth de las siguientes relaciones: desplazamientos radiales como función de módulos elásticos, y esfuerzos como función de los coeficientes de Poisson.

Para la determinación de las propiedades mecánicas de la Guadua angustifolia, los procedimientos descritos en las normas INCONTEC 784, 785, 944, 961, 663 y 775.

Se propone la realización de un estudio de recopilación de todos los datos obtenidos en las

distintas fuentes citadas, y generar las siguientes correlaciones: contenido de humedad versus resistencia (compresión, tensión, flexión y cortante), resistencia a la compresión perpendicular versus resistencia a la compresión paralela, resistencia a la compresión paralela versus resistencia a la tensión paralela, resistencia a la tensión paralela versus módulo de elasticidad a la tensión, resistencia a corte versus resistencia a la flexión. La visualización de los datos generales promedios permiten predecir una adecuada proporcionalidad, y se brindaría una herramienta de caracterización de propiedades mecánicas (resistencia última) al área del diseño de estructuras con Guadua angustifolia.

Debido al modo de falla, variabilidad, factores involucrados en la variabilidad, y hasta la no proposición de nuevas metodologías en el diseño de estructuras con guadua, el diseño estructural se debe realizar con los valores de esfuerzos admisibles calculados a partir de la resistencia última mínima, usando los factores de seguridad descritos.

Además de la realización de los respectivos ensayos, se propone un análisis probabilístico, considerando una distribución normal de los respectivos esfuerzos y calculando el quinto percentil, de tal forma que se obtenga una buena estimación de toda la población de guadua de la especie y no limitando el estudio a las guaduas ensayadas. De acuerdo con INBAR, 2001, una propiedad del material es representada por el percentil 5 de dicha propiedad, estimada a partir de los resultados de ensayos, con el 75 % de confiabilidad que eso representa la población, denominado el valor característico.

A falta de ensayos, es posible la realización de un diseño conservador, considerando los menores valores obtenidos en los últimos cincuenta y cinco años, como valores de resistencia última mínima. Se proponen los valores mostrados en el cuadro 2,

y calculando los valores de resistencia admisible con los factores de seguridad mencionados.

**Cuadro 2: Valores de resistencia última mínima, cuando no se realizan ensayos para determinar las propiedades mecánicas.**

<b>Esfuerzo</b>	<b>Esfuerzo último mínimo (MPa)</b>
Compresión perpendicular (Fp)	0.23
Compresión paralela (Fc)	17
Flexión (Fb)	7
Cortante paralela (Fv)	1.8
Tensión perpendicular (Ftp)	0.18
Tensión paralela (Ft)	50
Módulo de elasticidad a tensión (MPa)	1500

Para el diseño de elementos sometidos a compresión y considerando pandeo, se propone el uso de las metodologías propuestas por OBERMANN y LAUDE, 2004, y SÁNCHEZ et al, 2004, para condiciones similares a las establecidas por ellos. Para otros casos, se propone un valor de 14 kN, como carga crítica.

Se recomienda evaluar los métodos de tratamiento de la guadua (secado, impermeabilización, preservación), de tal forma que se puedan determinar si estos métodos conducen a una alteración de las propiedades mecánicas. En particular los cambios en las propiedades de resistencia son las más importantes desventajas causadas por los procesos de tratamiento con calor de acuerdo con investigaciones realizadas por varios autores (VIITANIEMI, 1997; GOHAR y GUYONNET, 1988; JÄMSÄ y VIITANIEMI, 2000; RAPP y SAILER, 2000; citados por LEITHOFF y PEEK, 2001).

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ADAMS, C.; "Bamboo Architecture and Construction with Oscar Hidalgo". [En: www.greenbuilder.com/networks/naturalbuilding/bamboo.html](http://www.greenbuilder.com/networks/naturalbuilding/bamboo.html)
- AMADA, S.; MUNEKATA, T.; NAGASE, Y.; ICHIKAWA Y.; KIRIGAI, A.; ZHIFEI, Y.; "The mechanical structures of bamboos in viewpoint of

functionally gradient and composite materials". In: Journal of composite materials, Japan, Vol. 30, N. 7, pp 801-819, 1996.

**ARBELAEZ A., A.;** "Relación entre los caracteres morfológicos del culmo de la guadua (*Guadua angustifolia Kunth*)". Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín, 1996, 21p.

\_\_\_\_\_.; "Manuales sobre bambú, módulo I: La guadua, el bambú de América Tropical". Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1997.

\_\_\_\_\_.; "Morteros reforzados con fibras de bambú". En: Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín. Vol. 50, no. 2 (1997); pp 131-151.

\_\_\_\_\_.; **RODRÍGUEZ, S.; HURTADO, A.;** "Investigaciones sobre *Guadua angustifolia Kunth* realizadas en Colombia (1950 – 2000)". Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ. Medellín, 2001, 92p.

**ARBOLEDA N., M.C.; DÁVILA A., P.; GARCÍA A., J.A.;** "Manual de diseño para construcción en guadua macana". Proyecto de Grado (Ingeniero Civil). Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías. Santiago de Cali, 1997, 127p.

**ARICAPA P., F.L.; QUIJANO M., A.; VERGARA Q., I.M.;** "Manual para el diseño en guadua cebolla, basado en el aprovechamiento de las propiedades físico – mecánicas". Proyecto de Grado (Ingeniero Civil). Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías. Santiago de Cali, 1999, 210p.

**ATROPS, J.L.;** "Elastizität und Festigkeit von Bambusrohren". Der Bauingenieur 44, Heft 6, 1969.

**BASTIDAS P., L.A.;** "Guadua: Patrimonio de los colombianos, cultural, ambiental, paisajístico y construido, la guadua en el patrimonio construido". En: Simposio Internacional Guadua 2004. Pereira, Septiembre 27 – Octubre 2, 2004.

**BERRIO R., M.G.; RESTREPO P., R.A.;** "Determinación de la contracción y densidad en la *Guadua angustifolia Kunth*". Trabajo de grado (Ingeniería Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, 1993, 60p.

**BOTERO L., P.C.;** "La guadua como elemento estructural". Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D.E., 1985.

**CALDERON, L.A.;** "Estudio de materiales cementicios fibrorreforzados y su posible uso como elementos de reparación en estructuras afectadas por corrosión en medio ambiente marino". Trabajo de Grado (Ingeniero Químico). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 2000, 100 p.

**CAMACHO, V.; PÁEZ, I.;** "Estudio de conexiones solicitadas a momento flector". Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Santafé de Bogotá, 2003.

**CARDENAS O., H.;** "Uniones de guadua reforzada". Universidad del Valle. Santiago de Cali, 1996, 41p.

**CARDONA L. W; GRANADOS A., L.P.;** "Estudio de factibilidad de la producción y comercialización de los pisos en guadua". Trabajo de Grado (Ingeniería Industrial). Pontificia Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá D.C., 1993, (microficha).

**CARRASCO R., J.I.; JUNCO L., J.R.; QUIROGA P., J.J.;** "Correas en celosía tridimensionales armadas en latas de Guadua de Castilla". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería. Bogotá D.E., 1982, 88p.

**CARVAJAL C., W.N.; ORTEGÓN C., W.O.; ROMERO A., C.J.;** "Elementos estructurales en bambú". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Bogotá D.E., 1981, 91p, Anexos.

**COUSINS, W.J.;** "Elastic Modulus of Lignin as Related to Moisture Content". Wood Science and Technology, vol. 10, pp9-17, 1976.

**DÍAZ S., D.; FACCINI F., A.; ROJAS P., J.R.;** "Concreto reforzado con guadua". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Bogotá D.E., Junio de 1971, 76p.

**DUNKELBERG, K.;** "Bambus als Baustoff". In: Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke IL, Nr. 31, 2, Unveränd. Aufl., Karl Krämer Verlag Stuttgart. 1992.

**DURÁN, A.; URIBE, M.;** "Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guadas" Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Santafé de Bogotá, 2002.

**FRANCO T., J.P.; SIERRA J., T.E.;** "Uniones de guadua reforzada". Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali, 1994, 120p.

**GARCIA S., O.L.; MARTINEZ C., D.E.;** "Puentes en do mayor". Trabajo de Grado (Ingeniería Civil). Universidad del Quindío, Facultad de Ingeniería. Armenia, 1991, 472p.

**GENUARDI, A.;** "Las Bambuseas como material de construcción: introducción a una investigación sobre la *Guadua angustifolia*". Centro Interamericano de Vivienda (CINVA). Bogotá, 1954.

**GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B.;** "Determinação das propriedades dos bambus das espécies: *Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia". 1. ed. Rio de Janeiro: RMNC do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio., 53p, 2001.

\_\_\_\_\_.; "Engineering Properties of Entire Bamboo Culm of Species *Guadua*: Contribution to a Sustainable Development". En: Simposio Internacional Guadua 2004. Pereira, Septiembre 27 – Octubre 2, 2004, 11p.

**GOHAR, P.; GUYONNET, R.;** "Development of wood retification process at the industrial stage". In: Intern. Res.

- Group on Wood Pres. 1998: Proceedings of the 4th International Symposium "The Challenge Safety and Environment in Wood Preservation". 2-3 Feb. 1998, Cannes Mandelieu / France, Doc. No.: IRG/WP 98 50101, 173-183.
- GONZALEZ C., E.; DIAZ A., J.F.;** "Propiedades físicas y mecánicas de la Guadua (*Guadua angustifolia Kunth*). Trabajo de Grado (Ingeniería Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, 1992, 103p.
- \_\_\_\_\_; **OSORIO S., A.;** "Resistencia a la flexión de la *Guadua angustifolia Kunth* a escala natural". Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín, 2000, sp.
- GONZALEZ S., L.O.;** "Estado de arte y aportes del proyecto semilla 99CG5108". En: I Encuentro Académico – Cultural Intersedes Palmira y Manizales. Manizales, 25-27 de julio, 2000.
- \_\_\_\_\_; "Diseño modelo de vigas de concreto reforzado con tallos de guadua (bambucreto), *Guadua angustifolia Kunth*". Tesis (MSc in Engineering: Civil Engineering). Newport International University, School of Engineering, 2005, 225p.
- GUTIERREZ, E.;** "Resistencia al impacto de concretos fibro reforzados con fique". Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 1997, 78 p.
- GUZMÁN, D.; MOREL, C.;** "Connections and Slab with Bamboo". En: Simposio Internacional Guadua 2004. Pereira, Septiembre 27 – Octubre 2, 2004, 13p.
- HIDALGO L., O.;** "Bambú, su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía". Estudios Técnicos Colombianos Ltda.. Bogotá D.E., 1974, 318p.
- HURTADO M., M.J.; CANO B., M.;** "Manual de ensayos para evaluar propiedades de la guadua". Documento de avance proyecto semilla 99CG5108. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, 1999, 24p.
- \_\_\_\_\_; "Normas de ensayos de resistencia utilizando las máquinas disponibles en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira". Documento de avance proyecto semilla 99CG5108. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, 2000, 23p.
- INBAR;** "Bamboo Structural Design ISO / TC 165 / N 313". 2001.
- JAIMES, M.; TORRES CH., G.;** "Vivienda típica en concreto reforzado con bambú". Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Civil. Bucaramanga, 1984, 181p.
- JÄMSÄ; VIITANIEMI, P.;** "Heat treatment of wood – Better durability without chemicals". Nordic Wood, Nordic Wood Seminar om varmebehandlet tre, Scandic Hotel Triaden, Lorenskog 22.11. 2000; 59-63
- JANSSEN, J.J.A.;** "Bamboo in Building Structures". Thesis (Doctor of Technical Sciences). Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 1981, 235p.
- \_\_\_\_\_; "Bamboo research at the Eindhoven University of Technology". Eindhoven, 1990.
- JARAMILLO A., J.A. ; VELA R., M.A.;** "La guadua en lo institucional, religioso, comercial, educativo, hábitat y su uso". En: Simposio Internacional Guadua 2004. Pereira, Septiembre 27 – Octubre 2, 2004.
- JONES, R.M.;** "Mechanics of Composite Materials". McGraw Hill, 1975.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA;** "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino". Carvajal, Cali, 1984, 636p.
- KOLLMANN; COTE;** "Principles of Wood Science and Technology". Berlin, 1968.
- LEKHITSKII, S.G.;** "Theory of elasticity of anisotropic elastic body". Holden Day, 1963.
- LEITHOFF, H.; PEEK, R.D.;** "Heat treatment of Bamboo". In: 32<sup>nd</sup> Annual Meeting. Nara – Japan, May 20 – 25<sup>th</sup>, 2001, 11p.
- LIESE, W.; GROSSER, D.;** "Untersuchungen zur Variabilität der Faserlänge bei Bambus". Holzforschung, pp202-211, 1972.
- \_\_\_\_\_; "Anatomy of bamboo". In: Bamboo research in Asia, 1980, Ottawa. Proceedings...Ottawa: IDRC, p 165-172, 1980.
- \_\_\_\_\_; "The anatomy of bamboo culms". Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, Beijing, Eindhoven, New Delhi, , p 208, 1998.
- LIZCANO G., S.F.;** "Propiedades físicas de la madera y de la guadua". Trabajo final del curso electivo de resistencia de materiales para Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, 2005.
- LODOÑO P., X.;** "The American Bamboos with emphasis in the Genus Guadua". Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas INCIVA. Cali.
- MARK, R.E.;** "Cell Wall Mechanics of Tracheids". Yale University Press, 1967.
- MEJIA F., F.; SALAZAR T., J.E.;** "Propiedades físicas y mecánicas de especies maderables en Caldas para su uso en la construcción incluyendo la guadua". Cuadernos de Investigación CINDEC no. 7. Comité Departamental de Cafeteros de Caldas. Corporación Forestal de Caldas S.A. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, 1986, 43p.
- MERINO S., F.; RODRÍGUEZ B., G.; VALLEJO J., A.;** "Elementos de concreto reforzado con guadua". Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería. Bogotá D.E., 1972, 41p.
- MORENO, L.E.; OSORIO, L.R.; TRUJILLO, E.E.;** "Caracterización física de la fibra de Guadua *angustifolia*". En: Simposio Internacional Guadua 2004. Pereira, Septiembre 27 – Octubre 2, 2004, 6p.
- OBERMANN, T.M.; LAUDE, R.;** "Bambú recurso sostenible para estructuras espaciales". Proyecto Bamboo

Space. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín, 2004, 23p. Formato pdf.

**PANSHIN; DE ZEEUW;** “Textbook of Wood Technology”. New York, 1970.

**PARAMESWARAN, N.; LIESE, W.;** “On the Fine Structure of Bamboo Fibers”. Wood Science and Technology, vol. 10, pp231-246, 1976.

**PRADA, J.; ZAMBRANO, J.;** “Influencia de la perforación para el llenado de mortero en cañutos en elementos solicitados a compresión”. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Santafé de Bogotá, 2003.

**PRESTON, R.D.; SINGH, K.;** “The fine structures of bamboo fibers”. Journal Expert Botany, pp214-230, 1950.

**PRIETO, E.; SÁNCHEZ, J.;** “Comportamiento de la Guadua angustifolia sometida a flexión”. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Santafé de Bogotá, 2002.

**RAPP, A. O.; SAILER, M.;** “Heat treatment in Germany – state of the art”. Nordic Wood, Nordic Wood Seminar om varmebehandlet tre, Scandic Hotel Triaden, Lorenskog 22.11. 2000; 81 – 95

**SALAZAR C., J.; CORRECHA R., E.;** “Comportamiento de columnas en guadua”. En: Revista de Ingeniería Agrícola, 1981, pp28-30.

**SALTAREN, C.A.; MONTAÑO, E.;** “Características y propiedades físicas y mecánicas de especies de bambú del Valle del Cauca”. Documento de avance proyecto semilla 99CG5108. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira, 2000.

**SÁNCHEZ T., E.;** “Estudio del comportamiento de elementos estructurales de suelo – cemento reforzado con Bambusa guadua sometidos a flexión”. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá D.E., 1980.

**SÁNCHEZ, M.L.; GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B.;** “Propiedades mecánicas del Bambú *Guadua angustifolia* en Fractura mecánica en Modo I”. Simposio Internacional Guadua 2004. Pereira, Septiembre 27 – Octubre 2, 2004, 6p.

**SCHWARTZ, R.T.; SCHWARTZ, H.S.;** “Fundamental Aspects of Fiber Reinforced Plastic Composites”. John Wiley, New York, 1968.

**SIAU, J.F.;** “Flow in Wood”. Syracuse, 1971.

**SILVA V., M; LOPEZ M., L.F.;** “Comportamiento sismo – resistente de estructuras en bahareque”. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Manizales, 2000, 134p.

**TAKEUCHI, C.P.;** “Comportamiento estructural de la guadua”. En: Simposio Internacional Guadua 2004. Pereira, Septiembre 27 – Octubre 2, 2004, 14p.

**VIITANIEMI, P.;** “Thermowood – Modified wood for improved performance”. In: Trätekt Rapport No. 9709084, 1997: Proceedings of the 4th Eurowood Symposium ”Wood

– The ecological material” 22-23. September 1997, Stockholm / Sweden; ISSN 1102-1071, 67-69.

**WILLIAMS, J.G.;** “Stress Analysis of Polymers”. Longman, 1975.