

## RESULTADOS DEL ENSAYO DEL MODULO DE YOUNG Y RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS LAMINADAS DE *Guadua angustifolia* KUNTH

Test results of Young's modulus and Resistance to bending of *Guadua angustifolia* KUNTH laminated.

### RESUMEN

En esta publicación se presentan los resultados del comportamiento de la densidad, el módulo de Young y la resistencia a la flexión, de vigas laminadas de guadua *Angustifolia Kunth* con secciones tipo A, B, C, D, con el objeto de apropiar tecnología para su manufactura y producir información para el modelado y simulación de vigas laminadas. La metodología seguida para el ensayo de flexión en probetas grandes es la que propone la norma alemana para madera DIN-EN 408:2003 "Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties", y que se ha aplicado para la guadua por considerarse un bambú maderable.

**PALABRAS CLAVES:** Densidad, Módulo de Young, esfuerzo de flexión, manufactura, modelado, Guadua.

### ABSTRACT

*This publication presents the results of the behaviour of the density, Young's modulus and resistance to bending in the outer and inner layer of bamboo Angustifolia Kunth's laminated, with the object of appropriate technologies for manufacturing and producing information for modeling and simulation of laminated timber. The methodology followed for bending into small pieces is the proposed standard for wood German DIN-EN 408:2003 "Timber structures - Structural glued laminated timber and timber - Determination of some physical and mechanical properties", and that has been applied for the bamboo to considerance it like a timber.*

**PALABRAS CLAVES:** *Density, Young's modulus, effort to bending, manufacture, Modeling, Bamboo.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un País productor de guadua *angustifolia* Kunth, mas sin embargo no se puede afirmar que posee una política forestal de cultivo intensivo como puede ocurrir en algunos países asiáticos entre otras razones porque solo en años recientes se esta mirando este material como una alternativa seria con respecto a la madera. Desde el punto de vista de la construcción este material es liviano y permite bajarle el peso a la construcción, factor muy importante para construcciones sismorresistentes, sus fibras exteriores la hacen muy resistente a fuerzas axiales, y su relación entre peso - carga máxima y su forma tubular, apto para fuerzas axiales, lo convierten en un material perfecto para estructuras espaciales en donde trabajan solamente dichas fuerzas axiales [9]. La guadua tiene una esbeltez y un radio de giro muy favorable con respecto a las secciones de madera o acero con un peso igual, resiste mucho más que la madera y, en cuanto a la relación Modulo de elasticidad y densidad, la guadua tiene  $E/\rho = 21$ ,  $E^{1/2}/\rho = 6$ , que comparado con el acero  $E/\rho = 27$ ,  $E^{1/2}/\rho = 1.8$  casi lo iguala en el primero y lo supera en el segundo. Se podría aumentar la sección del tubo de acero pero se aumentaría, igualmente, el peso y el precio [3] [5]. Y si

se observan los costos económicos y ecológicos, comparativamente la guadua tiene los mejores valores. Por ello, es muy apta para estructuras livianas y espaciales en donde aparecen fuerzas axiales [4] [8]. Su crecimiento rápido lo hace competitivo desde el punto de vista económico, en sólo seis meses, puede alcanzar una altura de hasta 12m y obtiene su madurez después de tres años, alcanza un diámetro exterior promedio de 12cm y un diámetro interior entre 8 y 10 cm. Ecológicamente la guadua es un recurso renovable y sostenible y su rápido crecimiento y la alta densidad de culmos por área significa una productividad muy importante de la tierra y una biomasa considerable, además que se utiliza como planta de reforestación, captura de CO<sub>2</sub> y ornamental para embellecer el paisaje. En la medida en que se reemplace acero o madera en una construcción por ejemplo por guadua, la tala de la selva tropical tendría que disminuir. La guadua presenta problemas, en la resistencia a fuerzas perpendiculares a las fibras, es decir en esfuerzo cortante, es muy baja, lo que significa que el material tiene tendencia de rajarse fácilmente paralelo a las fibras [8], de otro lado necesita una protección por diseño que asegure que el material no este expuesto a la humedad, ni rayos directos del sol, por tanto, se necesita un buen mantenimiento para su conservación. Este

**M.Sc. Héctor Álvaro González B.**

Profesor Asociado

Escuela de Tecnología Mecánica.

Universidad Tecnológica de Pereira

e-mail: [hagonza@utp.edu.co](mailto:hagonza@utp.edu.co)

**Ing. Civil Steffen Hellwig**

Investigador

BFH- Bundesforschungsanstalt

für Forst- und Holzwirtschaft,

Universidad de Hamburgo

e-mail:

[steffenhellwig@gmail.com](mailto:steffenhellwig@gmail.com)

**Ph.D, M.Sc. Jorge Augusto**

**Montoya A.**

Profesor Asistente

Facultad de Ciencias Ambientales.

Universidad Tecnológica de Pereira

e-mail: [jorgemontoya@utp.edu.co](mailto:jorgemontoya@utp.edu.co)

material cuando es usado en culmos tiene muchos espacios vacíos internamente y por tanto se quema rápido, por lo que se debe proteger contra incendio. Las técnicas de inmunización contra hongos, todavía no son de alta confiabilidad. Este material es un recurso natural que no se puede estandarizar todavía, su comportamiento puede variar mucho con respecto a la especie, al sitio donde crece, a la edad, al contenido de humedad y a la parte del culmo o de la sección que se utilice, es posible que en el futuro con investigación genética se puedan obtener culmos con diámetros estándar. Oficialmente no hay una norma de clasificación para el uso estructural del bambú, pero el ICONTEC ha dado el primer paso con la NTC 5407 “Uniones para estructuras construidas en *Guadua angustifolia* Kunth”.

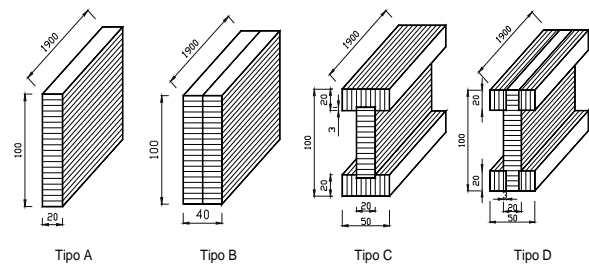
Gracias a su flexibilidad y resistencia, la guadua es la especie más utilizada de los bambúes en América Latina, donde se encuentran plantaciones de esta especie, principalmente, en el eje cafetero de Colombia con 31286 hectáreas y 36181 en todo el país.

Muchas de las afirmaciones hasta ahora se aplican a la guadua usada como culmo, entonces surgió ahora la necesidad de usarla como viga laminada en uso estructural al igual que la madera. Para el caso de las vigas laminadas de guadua, estas se forman de latas laminadas longitudinales tomadas de aproximadamente el centro de la pared del culmo. Para la construcción de vigas laminadas surge la pregunta de investigación de cómo es el comportamiento del módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión con diferentes secciones, por lo tanto, se hace necesario realizar una experiencia que permita responder este interrogante. Esta investigación se centra en encontrar el comportamiento del módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión de vigas laminadas de *Guadua angustifolia* Kunth con secciones tipo A, B, C, D, ver figura 1. La metodología seguida para el ensayo de flexión en probetas grandes es la que propone la norma alemana para madera DIN-EN 408:2003 [2] “Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties”, y que se ha aplicado para la guadua por considerarse un bambú maderable.

En esta publicación se presentan los resultados del comportamiento de la densidad, el módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión, de vigas laminadas de guadua *Angustifolia* Kunth, con secciones tipo A, B, C, D, experiencia realizada en los laboratorios de investigación en maderas de BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR FORST – UND HOLZWIRTSCHAFT (BFH) de la Universidad de Hamburgo en Alemania en el segundo semestre de 2007.

## 2. MATERIALES Y METODOS

El material usado en esta investigación es de la especie *Guadua angustifolia*, y fue escogido y posteriormente

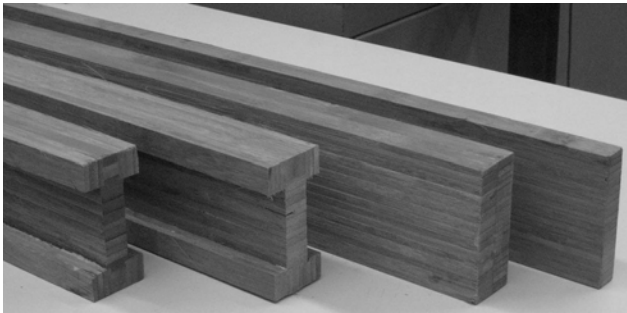


**Figura No. 1 Tipo de sección vigas laminadas de *guadua angustifolia* Kunth.**

extraído de los guaduales que actualmente posee el vivero de la Universidad Tecnológica de Pereira. Este sembrado se encuentra a una altura de 1414 metros sobre el nivel del mar y a una temperatura promedio de 23°C. El material fue inmunizado, cortado en latas de longitud de 2000 mm x 30 mm x 8 mm y posteriormente secado en el secador solar de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira a un contenido de humedad promedio de 15%. Este material fue empacado y enviado a los laboratorios del BFH- Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (Instituto Federal para la Investigación Forestal y de Productos Maderables), ubicado en Hamburgo (Alemania), asegurando en todo momento su trazabilidad mediante una convención de identificación adecuada. Para esta experiencia se trabajó con guadua madura únicamente. Durante el transporte de las latas hasta el BFH, sus condiciones de contenido de humedad cambiaron, entonces, se les realizó un tratamiento de climatizado, primero llevando su contenido de humedad a 13% y luego climatizando a 20°C, 65% HR. La descripción de cómo se localizan los tramos de la guadua, se encuentra en la referencia [6]

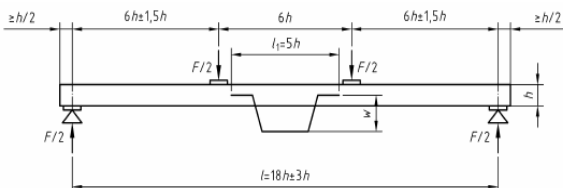
Para el acondicionamiento de las probetas se tomó el clima estándar a 20±2°C y 65±5% de humedad relativa y se consideran acondicionadas cuando en dos sucesivos pesajes con un intervalo de seis horas sus masas no varíen más del 0.1%. Para la medición de la densidad se sigue el método gravimétrico estándar, en el cual se hace una medición de la geometría de las probetas acondicionadas y se relaciona con el peso. La medición de la densidad se debe hacer antes de la prueba de módulo de elasticidad y resistencia a la flexión. Para la prueba de módulo de elasticidad y resistencia a la flexión se tomaron probetas con sección rectangular de 20 x 100 x 1900 mm., 40 x 100 x 1900 mm., y dos con sección en I de 50 x 100 x 1900 mm. Si el largo de la probeta es inferior a 19 veces un lado de la sección transversal se debe dejar constancia de este hecho. El número de probetas fue de cuatro para la prueba de módulo de elasticidad y cuatro para la prueba de resistencia a la flexión. En todas las probetas la dirección de la fibra es perpendicular a la sección transversal en estudio. Si no se tienen las condiciones de clima estándar en el laboratorio, solo se deben llevar las probetas allí en el momento de hacer la prueba. La figura 1 muestra las secciones

transversales de las probetas de vigas laminadas de guadua *angustifolia* Kunth.



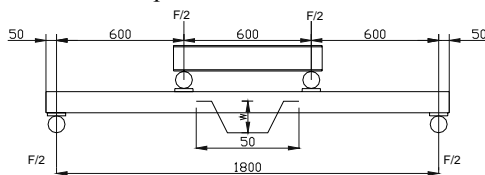
**Figura No. 1** secciones transversales de las probetas de vigas laminadas de guadua *angustifolia* Kunth.

En la figura 2 se muestra la disposición de la probeta para medición del módulo local de elasticidad en flexión según lo propone la norma. Para determinar el módulo local de elasticidad en flexión se siguió el procedimiento que recomienda la norma DIN-EN 408:2003. En la figura 3 se observa el montaje real de las probetas – viga. En caso de ser necesario se deben colocar restricciones laterales a la probeta para prevenir el pandeo, pero, permitiendo que la probeta deflecte sin mayor resistencia de fricción.



**Figura No. 2** Disposición de la probeta para medición del módulo local de elasticidad en flexión.

La carga debe ser aplicada a una rata constante no mayor a 0.003h mm./s con h = 100 mm. Esta carga aplicada no puede causar daño a la probeta y no puede sobrepasar del 40% de la carga máxima. Para las probetas de sección A la carga se promedio en 1446 N, para las probetas de sección B la carga se promedio en 2990 N, para las probetas de sección C la carga se promedio en 3019 N, y para las probetas de sección D la carga se promedio en 3019 N. La deformación se mide en el centro de los apoyos de la probeta y el equipo debe ser capaz de medir con una precisión de 1%, o para deformaciones menores a 2 mm. con una precisión de 0.02 mm.



**Figura No. 3** Montaje real de la probeta para medición del módulo local de elasticidad en flexión.

El módulo local de elasticidad  $E_{m.l.}$ . Se calcula de acuerdo con la ecuación 1 y debe hacerse con una precisión del 1% [2]:

$$E_{m.l.} = \frac{al_1^3(F_2 - F_1)}{48I(w_2 - w_1)} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (1)$$

Donde:

a es la distancia en mm. desde el punto de carga al apoyo mas cercano

$(F_2 - F_1)$  es el incremento de carga para causar la deformación. Está dada en newtons [N].

$(w_2 - w_1)$  es el incremento de deformación en mm correspondiente al intervalo de carga  $(F_2 - F_1)$ .

I es el momento de inercia del área transversal de la probeta y esta dado en  $\text{mm}^4$ .

$l_1$  es la distancia entre apoyos para la carga de la probeta. Esta dada en mm. Para este ensayo se fijó en un valor de 90 mm.

El modulo de elasticidad como lo muestra la ecuación 1 es una relación entre la carga aplicada y la deformación generada, en aquellas zonas en donde su comportamiento es aproximadamente lineal.



**Figura No. 4** Ensayo de flexión para la viga laminada de sección tipo A.

Para determinar el esfuerzo máximo de flexión se siguió el procedimiento que recomienda la norma DIN-EN 408:2003 [2], el cual propone que la longitud de la probeta debe ser de 19 veces la altura (h) de un lado del área de la sección, de lo contrario debe ser reportado en el informe de la prueba. La probeta debe ser simétricamente cargada en flexión apoyándose en dos puntos como lo muestra la figura 3. En el caso de que la distancia entre apoyos no pueda cumplir la longitud de 18 veces la altura de un lado del área de la sección, esta se puede cambiar por una longitud  $18 \pm 3h$ , siempre manteniendo la simetría de la probeta en los apoyos. La

probeta será simplemente apoyada. En caso de ser necesario se deben colocar restricciones laterales a la probeta para prevenir el pandeo, pero, permitiendo que la probeta defleccione sin mayor resistencia de fricción. La carga debe ser aplicada a una tasa constante de tal manera que la máxima carga se alcance en  $300 \pm 120$  segundos, por lo que se hace necesario hacer los cálculos correspondientes. Si una probeta rompe tempranamente o muy tarde se debe registrar el hecho. La figura 4 muestra el equipo utilizado en los ensayos y la viga de sección tipo A.

El esfuerzo máximo de flexión  $f_m$  se calcula de acuerdo con la ecuación 2 y debe hacerse con una precisión del 1% [2]:

$$f_m = \frac{a F_{\max.}}{2W} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2)$$

Donde:

a es la distancia en mm. desde la posición de la carga hasta el más cercano apoyo de la probeta.

W es el módulo de sección en  $\text{mm}^3$ .

$F_{\max.}$  es la fuerza que rompe la probeta.

Debe registrarse la forma como rompe la probeta y como crece la rotura. Los resultados de los ensayos se analizaron mediante estadística descriptiva, de acuerdo a un diseño completamente aleatorio, en el cual la dispersión de los datos fue mínima.

### 3. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran las dimensiones de las probetas en mm, su masa en gramos y su densidad en  $\text{Kg/m}^3$  para el lado exterior e interior. De la información se confirma la mayor densidad de la capa exterior y una variación aproximada en el valor promedio de 25 % con respecto al menor valor. Los valores encontrados son típicos de este material, anotando que la capa exterior presenta una densidad relativamente alta, la cual no es muy recomendable cuando se encolan superficies porque no favorece el proceso de penetración del adhesivo en la microestructura de las fibras.

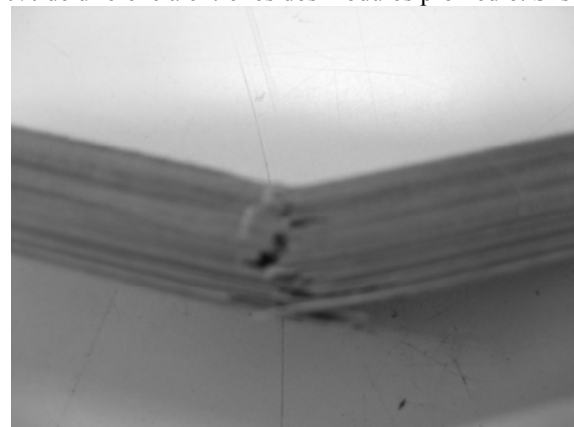
MEDICION DE LA DENSIDAD						
e, i	Probeta	b	t	l	m	$\rho$
	No.	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[ $\text{kg/m}^3$ ]
exterior	1	6.20	6.20	64.29	1.836	742.93
	2	6.17	5.85	64.38	1.775	763.85
	3	6.13	6.18	51.39	1.376	706.79
	4	6.10	6.02	51.60	1.326	699.79
	5	6.02	6.12	64.64	1.684	707.12
	6	6.16	6.14	51.36	1.338	688.78
	7	6.15	6.12	51.53	1.468	759.90
	8	5.88	6.18	63.72	1.759	759.67
Promedio						728.23
interior	9	6.24	6.32	55.40	1.194	546.50
	10	6.15	6.17	45.37	1.036	601.77
	11	6.02	6.10	68.21	1.285	513.01
	12	6.10	6.16	52.48	1.000	507.10
	13	6.24	6.25	49.25	0.991	515.94
	14	6.03	6.16	58.19	1.166	539.45
	15	6.10	6.16	52.47	1.054	534.59
	16	6.27	6.27	63.56	1.365	546.28
Promedio						538.08

**Tabla No. 1 Resultados de la densidad en las probetas de guadua, lado interior y exterior.**

La información obtenida confirma la sospecha que se tenía con respecto a la densidad de las latas laminadas, las cuales en algunas ocasiones, por efecto del maquinado, se componen de material con diferentes densidades, e incluso, en algunas ocasiones se observan latas con mayor contenido de fibras, es decir, con mayor densidad que otras y viceversa. Observe que una densidad promedio de las dos zonas es de  $630 \text{ Kg/cm}^3$  y se puede tomar como referencia para los cálculos en laminados de *Guadua angustifolia* Kunth.

La figura 5 muestra el tipo de rotura de las probetas a flexión, que difiere del tipo de rotura que se presenta en la madera, porque se pueden observar como las fibras tratan de permanecer conectadas a pesar de la rotura y esto hace que las partes no se separen. La rotura en este caso fue acompañada de un crujido de las fibras que anuncian la inminencia de la misma.

En la tabla 2 se muestran los resultados del módulo de elasticidad aparente, para el lado exterior e interior de la lata laminada, los valores confirman cifras promedios similares obtenidas en otros experimentos con guadua, pero, claramente se observa la influencia de la densidad en el módulo de elasticidad, cuando se promedia casi un 50% de diferencia entre los dos módulos promedio. Si se



**Figura No. 5 Probeta rota a flexión.**

promediaran los dos valores se tendría un valor de  $13459 \text{ N/mm}^2$  el cual es un valor muy cercano al obtenido en ensayos anteriores, pero, sin hacer la diferencia de zonas de baja y alta densidad [7]. Esto es un buen indicador de la confiabilidad de los datos obtenidos. Dadas las dimensiones de estas probetas la proporción fuerza máxima y geometría de la misma, permite observar niveles de fuerza de promedio de 177 y 268 N para alcanzar la rotura, es decir, se está hablando de 18 y 27 Kg, una muy buena resistencia de las fibras para estas fuerzas.

MODULO DE ELASTICIDAD APARENTE Em app.							
e, i	Probeta	Fmax	F1	F2	W1	W2	Em app.
	No.	[N]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]
exterior	1	311.5	50	200	0.382	1.454	17258.2
	2	243.5	50	120	0.404	0.949	18950.3
	3	261	30	120	0.226	0.891	17047.5
	4	236	30	120	0.273	1.053	15801.4
	5	267	30	120	0.242	0.954	16694.7
	6	266.5	30	120	0.257	0.952	16551.5
	7	314.5	30	120	0.521	1.176	17763.9
	8	251.5	30	120	0.234	0.874	18466.6
Promedio		268.9					17316.8
interior	9	175	30	120	0.392	1.794	7427.2
	10	222.5	20	80	0.182	0.762	13051.4
	11	171	20	80	0.28	1.24	8336
	12	174.5	20	80	0.235	1.08	9075.9
	13	168	20	80	0.232	0.999	9358.3
	14	166	20	80	0.207	0.929	10745.3
	15	161.5	20	80	0.233	1.02	9744.7
	16	181.5	20	80	0.219	0.999	9070.9
Promedio		177.5					9601.2

Tabla No. 2 Resultados del Modulo de elasticidad aparente en las probetas de guadua, lado interior y exterior.

La tabla 3 muestra los resultados del esfuerzo máximo de flexión en las probetas de guadua, en donde nuevamente se refleja una correlación directa de la densidad sobre los resultados, de tal forma, que las probetas con mayor densidad presentan los mayores valores de esfuerzo (79.82 N/mm<sup>2</sup>) y las probetas con menor densidad presentan los menores valores de esfuerzo (50.78 N/mm<sup>2</sup>).

Estos valores son muy cercanos a los obtenidos por Gonzáles (2005) en ensayos a flexión para el mismo material [7]. La tabla 4 muestra los resultados de la relación entre el modulo de elasticidad aparente y la densidad del material de la probetas de guadua, tanto para el lado exterior como para el lado interior.

ESFUERZO MAXIMO DE FLEXION fm		
e, i	Probeta	fm
	No.	[N/mm <sup>2</sup> ]
exterior	1	88.22
	2	77.84
	3	75.25
	4	72.06
	5	79.93
	6	77.46
	7	92.16
	8	75.59
Promedio		79.82
interior	9	47.39
	10	64.15
	11	51.53
	12	50.89
	13	46.52
	14	48.97
	15	47.10
	16	49.70
Promedio		50.78

Tabla No. 3 Resultados esfuerzo máximo de flexión en las probetas de guadua, lado interior y exterior.

Esta relación se conoce como índice de comportamiento del material [6] y los dos índices mostrados permiten medir su comportamiento como material liviano o como miembro rígido a tensión en una estructura y haciendo parte de ella, ya sea, como viga cargada externamente o por su propio peso o como miembro rígido.

e, i	Probeta	factor	factor
	No.	Em/ρ	(Em) <sup>1/2</sup> /ρ
exterior	1	23.23	5.59
	2	24.81	5.70
	3	16.12	5.84
	4	22.58	5.68
	5	23.61	5.78
	6	24.03	5.91
	7	23.47	5.57
	8	24.31	5.66
Promedio		23.77	5.71
interior	9	13.59	4.99
	10	21.69	6.00
	11	16.25	5.63
	12	17.90	5.94
	13	18.14	5.93
	14	19.92	6.08
	15	18.23	5.84
	16	16.61	5.51
Promedio		17.79	5.76

Tabla No. 4 Resultados relación modulo de elasticidad vs. densidad en las probetas de guadua, lado interior y exterior.

Cuando se obtiene un alto valor para el índice Em/ρ, significa que el material tiene un comportamiento excelente en relación a su peso como miembro rígido en una estructura, y además, este valor permite encontrar en las tablas de propiedades mecánicas de Asbhy [1] un material perteneciente a una familia diferente que soporte la misma carga. Un valor promedio de este índice entre lado interior y exterior de la guadua angustifolia es 21 (ver tabla 5).

e, i	VALORES	FLEXION		DENSIDAD	FACTORES DE DISEÑO	
		Em [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	factor Em/ρ	factor (Em) <sup>1/2</sup> /ρ
exterior	Minimo	15801.42	72.06	688.78	22.58	5.57
	Maximo	18950.31	92.16	763.85	24.81	5.91
	Promedio	17317	80	728	24	6
	Varianza	1076456	47	938	0	0
	Des. estandar	1037.52	6.88	30.63	0.70	0.12
	coefte. de variacion	0.06	0.09	0.04	0.03	0.02
interior	Minimo	7427.22	46.52	507.10	13.59	4.99
	Maximo	13051.49	64.15	601.77	21.69	6.08
	Promedio	9601	51	538	18	6
	Varianza	2882442	32	898	6	0
	Des. estandar	1697.78	5.69	29.97	2.43	0.36
	coefte. de variacion	0.18	0.11	0.06	0.14	0.06

Tabla No. 5 Resumen de resultados de los ensayos en las probetas de guadua angustifolia Kunth, lado interior y exterior.

Observe que este valor comparado con 27 para el acero, le permite a la guadua comportarse muy cerca de este material, con alguna razón se habla de la guadua como el acero vegetal. Observe que la guadua supera materiales como el roble y la teca, pero también, tiene comportamientos como el pino y la píceca (ver tabla 6).

MATERIAL	PROPIEDADES MATERIAL			
	E [GPa]	$\rho$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	E/ $\rho$	E <sup>1/2</sup> / $\rho$
Balso	5.5	0.3	18	7.8
Roble	11.5	0.7	16	4.8
Pino	11	0.5	21	6.3
Píceca	9	0.4	21	7.1
Teca	12	0.65	18	5.3
Palma	3.5	0.15	23	12.5
Bambú	22.5	0.75	30	6.3
Guadua ang.	13.5	0.63	21	6
Acero	210	7.9	27	1.8

Tabla No. 6 Índices de desempeño de varios materiales naturales y el acero. [Asbhy]

Observe también en la tabla 6 la densidad del acero que lo hace mas pesado que los materiales naturales. Cuando se obtiene un alto valor para el índice  $E_m^{1/2}/\rho$ , significa que el material tiene un comportamiento excelente en relación a su peso y rigidez como viga de carga. Observe en la tabla 6 como la guadua supera el acero y se comporta muy similar a muchas maderas.

#### 4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

El comportamiento del modulo de elasticidad y la resistencia a la flexión de las latas laminadas de guadua *angustifolia* Kunth permiten plantear las siguientes conclusiones:

El espesor de la pared de la guadua no posee densidad constante, luego no es homogéneo y se requiere para efectos de ingeniería trabajar con una densidad promedio de 630 Kg/cm<sup>3</sup>, o en su defecto realizar ensayos y medir pues puede haber variaciones por la procedencia de la guadua.

El modulo de elasticidad de la guadua se sitúa en un valor promedio de 13459 N/mm<sup>2</sup>. El esfuerzo máximo de flexión de la guadua se promedia en 65,3 N/mm<sup>2</sup>. Se comprobó una correlación directa entre la densidad y el modulo de elasticidad y la resistencia a la flexión, a mayor densidad mejores valores del modulo y la resistencia a flexión. Los índices de comportamiento del material guadua, para elemento rígido y para viga respectivamente  $E/\rho$ ,  $E^{1/2}/\rho$ , sitúan este material natural guadua con ventajas privilegiadas en comparación de otro material mas duro, denso y pesado como el acero, en aplicaciones estructurales. El conocimiento adquirido apropia procedimientos científicos y tecnológicos para el desarrollo de la manufactura de la guadua en Colombia.

**AGRADECIMIENTOS.** Los autores agradecen el apoyo financiero de COLCIENCIAS en Colombia y el

DAAD de Alemania, e igualmente agradecen el apoyo logístico de la Universidad Tecnológica de Pereira en Colombia y el BFH- Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (Instituto Federal para la Investigación Forestal y de Productos Maderables), de la Universidad de Hamburgo en Alemania.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASHBY M.F., Gibson L.J., Wegst U., Olive R. "The mechanical properties of natural materials. I. Material properties chart" 1995. The Royal Society 450, London. Pp 123-140.
- [2] DIN-EN 408:2003 "Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties".
- [3] ESPILOY Z. B. (1985): Physico-Mechanical Properties and Anatomical Relationships of Some Philippine Bamboos. Recent Research on Bamboos. Proceedings of the International Bamboo Workshop, Hangzhou China, pp. 257 – 263.
- [4] FANGCHUN Z., (1981): Studies on Physical and Mechanical Properties of Bamboo Woods. Journal of Nanjing technological College of Forest products, N° 2, Nanjing China, 31 pp.
- [5] GONZALEZ, Héctor Álvaro, MESA, Dairo Hernán. "La importancia del método de la selección de materiales" Revista Scientia et Técnica, Universidad Tecnológica de Pereira. Año X, No. 24, Mayo de 2004. pp. 175-180.
- [6] GONZÁLEZ Betancourt. H. A. & Montoya Arango. J. A. (2006): Metodología de preparación de muestras experimentales en procesos investigativos con *Guadua Angustifolia Kunth*. Scientia et Technica \_ Universidad Tecnológica de Pereira Volumen 31. Año 2006, 6 pp.
- [7] GONZÁLEZ Betancourt. H. A., Montoya Arango. J. A. Rubiel Bedoya, José. Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie *Guadua Angustifolia Kunth*. Scientia et Técnica Año XIII \_ Universidad Tecnológica de Pereira No. 35, Agosto de 2007, pp. 503-508
- [8] JANSSEN J.J.A. (2000): Designing and Building with Bamboo. INBAR Technical Report No 20, Beijing China, 207 pp.
- [9] QISHENG Z., Shenxue, J., and Yongyu T. (2002): Industrial utilization on Bamboo. INBAR, Technical Report N° 26, Beijing China. 207 pp.