

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A TENSIÓN Y CIZALLADURA DE LA *Guadua angustifolia* KUNTH

Héctor José Ciro Velásquez¹ ; Jairo Alexander Osorio Saraz² y
Juan Manuel Vélez Restrepo³

RESUMEN

Para *Guadua angustifolia* Kunth fueron determinados los valores últimos de los esfuerzos a tensión y cizalladura. Los resultados estadísticos mostraron valores promedios a Tensión y cizalladura de 190,70 MPa (1945,92 kgf/cm²) y 5,57 MPa (56,84 kgf/cm²), respectivamente, indicando que el material como elemento de ingeniería presenta una alta resistencia en dirección paralela a la orientación de las fibras.

Palabras claves: *Guadua angustifolia* Kunth, esfuerzo a tensión, esfuerzo a cizalladura.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE MECHANICAL RESISTANCE TO TENSION AND SHEARING IN THE *Guadua angustifolia* KUNTH

The ultimate shear and tension stress values were determined to the *Guadua angustifolia* kunth. The statistical results indicated mean values of tension and shear stress of 190,70MPa

¹ Profesor Asistente. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A. A. 1779, Medellín, Colombia. <hjciro@unalmed.edu.co>

² Instructor Asociado. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A. A. 1779, Medellín, Colombia. <aosorio@unalmed.edu.co>

³ Profesor Asociado. Escuela de Materiales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. A. A. 1027, Medellín, Colombia. <jmvelez@unalmed.edu.co>

(1945,92 kgf/cm²) and 5,57 MPa (56,84 kgf/cm²), respectively, indicating that the material as engineering element has a higher mechanical resistance in the direction parallel to the fibers.

Key words: *Guadua angustifolia* Kunth, tension stress, shear stress.

INTRODUCCIÓN

Por ser la guadua un material ampliamente utilizado en estructuras tanto a nivel rural como urbano, se han generado intereses por analizar el comportamiento de estos elementos cuando son sometidos a diferentes esfuerzos entre los cuales el de tensión y cizalladura han merecido un interés particular, especialmente para el diseño de uniones.

Existen valores obtenidos en varias investigaciones en torno a este material como elemento estructural, los cuales varían dependiendo la procedencia del material, el espesor de la pared y la parte del culmo utilizada.

Para obtener valores de resistencia máxima, se deben realizar pruebas directamente en el laboratorio, lo que indica que para encontrar dicho valor al momento de utilizar el material como elemento estructural incrementa de alguna manera los costos en los proyectos. Uno de los principales inconvenientes que se presenta en la guadua utilizada como material estructural, ocurre cuando se somete a esfuerzos de tensión y de cizalladura, dadas las características propias del material, principalmente por la dirección paralela de las fibras en su estructura interna.

De los ensayos realizados en el país por Cheate y López (2002) basados en la norma dada por el INBAR (The International

Network for Bamboo and Rattan) (1999), encontraron un valor de esfuerzo admisible promedio de 6,87 MPa y 53,5 MPa para elementos de guadua sometidos a cizalladura y tensión paralela respectivamente. De igual manera, Díaz y González (1992) determinaron para elementos de guadua provenientes de Antioquia y Risaralda, sometidos a cizalladura, esfuerzos promedios de 5,78 MPa y de 7,74 MPa. También, Castrillón y Malaver (2004), para elementos de guadua sometidos a cizalladura registraron valores promedios de 7,84 MPa y en tensión paralela a la fibra de 91,87 MPa. Por otra parte, Martínez (1992), reportado por Camacho y Páez (2002), midieron esfuerzos promedios de 34,6 MPa para elementos sometidos a tensión y de 4,7 MPa para elementos a corte o cizalladura

Experimentos realizados en elementos de bambú Calcuta por Ahmad (2000), halló valores de 156,14 MPa a nivel de la basa y de 185,3 MPa en la sobrebasa. Así mismo, Janssen (2002), estableció para la *Guadua angustifolia* Kunth un esfuerzo promedio de 148,4 MPa para elementos sometidos a tensión paralela y de 3,5 MPa para elementos de guadua sometidos a esfuerzo de cizalladura.

De acuerdo a las normas ASTM 143-94 e ISO TC-165 del INBAR (1999), el esfuerzo último o de ruptura (s_{ult}), se pueden obtener a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{ult} = \frac{P_{ult}}{A} \quad (1)$$

En donde P_{ult} es la carga última o máxima (N) y A es el área (mm^2). El área es la medida de la sección transversal en la contracción, siendo esta igual al valor resultante de multiplicar un ancho fijo de 5mm por un espesor variable (B) según el ancho de la pared del elemento (Figura 1).

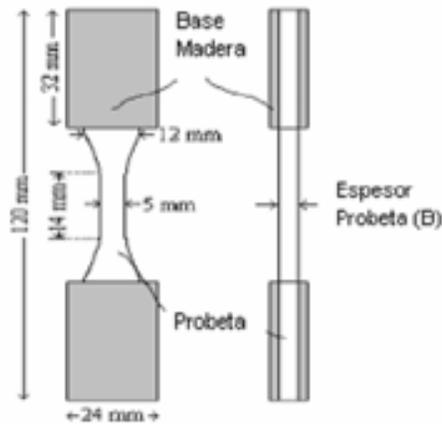


Figura 1. Probetas para realizar en *Guadua angustifolia* Kunth pruebas de tensión paralela a la fibra.

A partir de la norma ISO TC-165 del INBAR (1999), se puede determinar el esfuerzo último a cizalladura, sometiendo el material a una velocidad de carga de 0,01 mm/seg a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{ult} = \frac{P_{ult}}{\sum(T * L)} \quad (2)$$

Donde:

σ_{ult} = Esfuerzo último a cizalladura (N/mm²)

T = Espesor de la pared (mm)
L = Longitud de la probeta (mm)

Tanto el espesor como la longitud de la probeta deben ser medidos en cuatro puntos del elemento, como se da a conocer en la Figura 2.

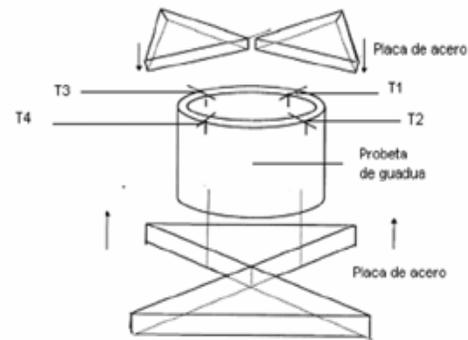


Figura 2. Probetas para realizar pruebas de cizalladura en *Guadua angustifolia* Kunth.

El objetivo de esta investigación fue determinar bajo ensayos de tensión y cizalladura la resistencia mecánica de elementos de la *Guadua angustifolia* Kunth para contenidos de humedad menores del 20 % base seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El material para los ensayos fue extraído del municipio de Venecia Antioquia-Colombia, con una altura aproximada de 1600 msnm, temperatura de 20 °C y humedad relativa del 67 %.

El trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Metodología. Para el estudio se seleccionaron 18 elementos para las pruebas a cizalladura y 15 a tensión paralela al grano. Dicho material correspondió a *Guadua angustifolia* Kunth forma cebolla, de la zona media del culmo o zona basal, con diámetros externos entre 9 y 12 cm y espesores de pared entre 0,6 y 1,0 cm para tensión y entre 0,7 y 1,5 cm para cizalladura.

El material seleccionado, fue secado naturalmente hasta alcanzar contenidos de humedad en base seca menores del 20 % determinado por la norma S358.2 dada por ASAE (American Society of Agricultural Engineers), (1990) (1990). Posteriormente, a cada uno de estos se les caracterizó físicamente midiendo el espesor de las paredes (B) para las probetas a tensión, y los espesores T_1 , T_2 , T_3 y T_4 en las de cizalladura. Estos valores de B y T fueron determinados mediante un micrómetro digital con una precisión de 0,01 mm.

Teniendo en cuenta que al realizar las medidas para los ensayos a cizalladura según la norma ISO TC-165 del INBAR (1999), los espesores T_1 y T_4 fueron muy similares al igual que T_2 y T_3 , y como la longitud de las probetas en los cuatro puntos fueron iguales, el esfuerzo fue determinado de la siguiente forma:

$$\sigma_{ult} = \frac{P_{ult}}{(T_1 * L) + (T_2 * L)} \quad (3)$$

Los esfuerzos a tensión paralela al grano fueron determinados de acuerdo a la expresión (1), según las normas ASTM 143-94 e ISO TC-165 del INBAR (1999).

La carga última (P_{ult}), tanto en las pruebas

de tensión como de cizalladura fueron determinadas gráficamente de las curvas obtenidas de carga (N) contra deformación (mm).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esfuerzo último a tensión. El esfuerzo último a tensión fue determinado mediante la expresión (1). Los resultados de los análisis estadísticos se muestran en la Tabla 1, donde el coeficiente de variación (34%) indica una alta variabilidad de la estructura del material, situación esta típica para elementos de naturaleza biológica. A su vez el valor encontrado del esfuerzo último promedio es de 190,70 MPa. Las diferencias pueden ser consecuencia de la variabilidad y heterogeneidad del material vegetal usado en los estudios como también a los parámetros de operación y medida con los cuales se realizaron los respectivos ensayos.

En la Figura 3, se muestra el valor promedio del esfuerzo último a tensión dado por diferentes investigadores para elementos de *Guadua angustifolia* Kunth y el valor encontrado en esta investigación. Un análisis de la Figura 3, indica que existe una alta discrepancia entre los valores definidos, mostrando diferencias máximas de 82 % y mínimas de 22 % con respecto al valor encontrado. Para otras especies tales como bambú, Ghavami (2004) comenta que el esfuerzo a tensión es relativamente alto y puede alcanzar los 370 MPa. Esta alta variabilidad muestra la necesidad de estandarizar las pruebas de ensayo a tensión para la guadua, de tal manera que sus resultados puedan ser utilizados en el diseño de estructuras.

Tabla 1. Esfuerzo último para elementos de *Guadua angustifolia* Kunth sometidos a tensión paralela al grano.

PARÁMETRO	Promedio (MPa)	Intervalos de confianza al 95 % (MPa)		Coeficiente de variación (%)
		Límite inferior	Límite Superior	
Esfuerzo último (σ_{ult})	190,70	152,3	229,10	34

Con respecto al acero se puede encontrar que para un contenido de 0,2 % de carbono, la resistencia de este material es 2,4 veces más alta con respecto a la guadua. Esta característica hace que la guadua se

presente como un material alternativo de construcción y sea atractivo para aplicaciones de diseño en ingeniería que incluyan elementos sometidos a tensión.

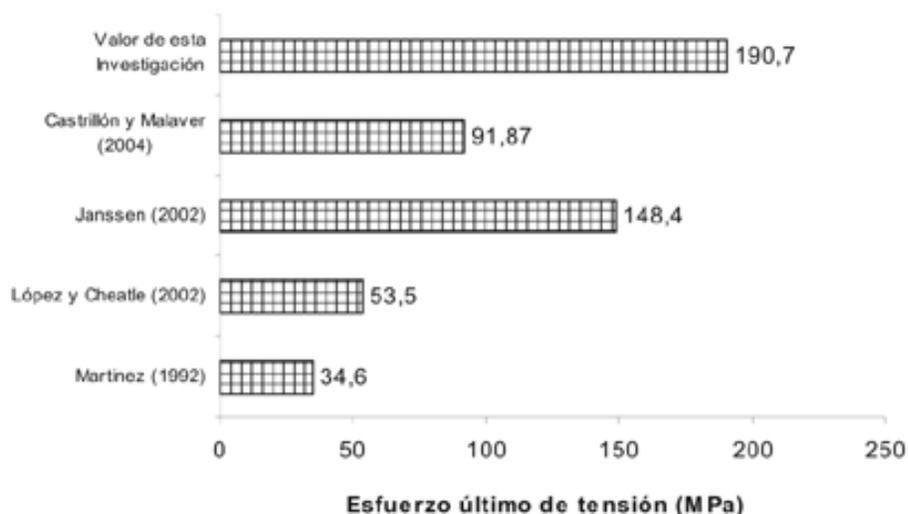


Figura 3. Esfuerzo último a tensión obtenido para *Guadua angustifolia* Kunth.

La variabilidad de la resistencia mecánica de la guadua disponibles hasta el momento (Figura 3), pueden ser debidas a los parámetros de operación del ensayo y a las características intrínsecas del material, ya que el material vegetal puede variar anatómicamente y estructuralmente depen-

diendo de la región en la cual se encuentre cultivado. Además, dependiendo de la zona del culmo donde se hayan tomado las muestras y del contenido de humedad de las mismas, ya que la resistencia de los elementos varía de manera inversamente proporcional de la cepa hacia la parte basal en el culmo.

Esfuerzo máximo de cizalladura. El esfuerzo máximo a cizalladura fue determinado mediante la expresión (3). Los resultados de los análisis estadísticos se muestran en la Tabla 2, de la cual se puede inferir que en comparación con los resultados de la

prueba a tensión, la guadua presenta una más baja resistencia mecánica en dirección perpendicular a sus fibras. Esta diferencia en resistencias indica la alta anisotropía presente en el material.

Tabla 2. Esfuerzo último para elementos de *Guadua angustifolia* Kunth sometidos a

Parámetro	Promedio (MPa)	Intervalos de confianza al 95% (MPa)		Coeficiente de variación (%)
		Límite inferior	Límite superior	
Esfuerzo último (σ_{ult})	5,57	5,10	6,10	17

En la Tabla 3 se citan algunos valores en guadua bajo ensayos de cizalladura, dentro de los cuales se observa que el resultado que mayor diferencia presenta con respecto a la investigación actual es de un 40 % y con un mínimo del 15 %, encontrándose que estos valores son cercanos a los

intervalos de confianza obtenidos (Tabla 2). Sin embargo, estas variaciones no son tan amplias comparadas con el ensayo a tensión, ya que en las pruebas de tensión o tracción los puntos de agarre ocasionan grandes centros de concentración de esfuerzos y deslizamientos relativos.

Tabla 3. Resistencia de elementos de *Guadua angustifolia* Kunth sometidos a cizalladura.

Investigador	σ_{ult} (MPa)	% de variación con respecto a la investigación actual
Díaz y González (1992)	7,74	39,7
Martínez (1992)	4,70	15,1
López y Cheatle (2002)	6,87	23,3
Janssen (2002).	4,50	20,7
Castrillón y Malaver (2004)	7,84	40,7
Investigación actual	5,57	0

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Siendo el ensayo a tracción uno de los más importantes al momento de dimensionar estructuras con guadua, se observan notables diferencias en los valores encontrados, que aunque siguiendo las mismas normas (INBAR, 1999) varían hasta en un 82% de diferencia. Esto puede ser originado por la

anisotropía del material, a los parámetros de operación del ensayo y a condiciones ambientales de humedad relativa y temperatura, pero muestra la necesidad de estandarizar los procedimientos en las pruebas principalmente en los puntos de agarre de las probetas en donde se presentan los principales inconvenientes por desplazamiento.

BIBLIOGRAFÍA

AHMAD, Mansur. Analysis of Calcutta Bamboo for Structural Composite Materials. Virginia, 2000. 210 p. Thesis (Ph.D.) Virginia Polytechnic Institute and State University

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). Standards, engineering practice and data. 37 ed. Michigan, U.S.A.: ASAE, 1990. 389 p.

CAMACHO, Víctor y PÁEZ, Humberto. Estudio de conexiones de guadua solicitadas a momento flector. Medellín, 2002. 59 p. Trabajo de grado. (Ingenieros Agrícolas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

CASTRILLON, M. y MALAVER, F. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la guadua. *En: Simposio Internacional de la guadua.* (2004: Pereira). Pereira: El Simposio, 2004. p. 1-3

CHEATLE, D y LÓPEZ, L. Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua. *En: Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua* (2002: Pereira). Pereira: El Seminario, 2002.

DÍAZ A., John y GONZÁLEZ C., Eugenia. Propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. Medellín, 1992. 103 p. Trabajo de grado (Ingenieros Agrícolas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

GHAVAMI, Khosrow. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *En: Journal Cement and Concrete Composite.* Vol. 26 (2004) p. 1-23.

JANSSEN, Jules J. Mechanical properties of amboo. (Consulta. 1-12, 2002). Disponible en Internet <www.bambus/new/eng/reports/mechanical_properties/referat2.html>.

MARTÍNEZ CÁCERES, Dixon. Puentes en Do Mayor. Armenia, 1991. 2v. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad del Quindío.

THE INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). Standard for determination of physical and mechanical properties of bamboo. New Delhi, India: INBAR, 1999. p. 13-14