

# INFLUENCIA DE PARÁMETROS FÍSICOS EN LA RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN DE LA *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH*

## INFLUENCE OF PHYSICAL PARAMETERS IN THE DESIGN RESISTANCE TO COMPRESSION OF THE *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH*

JAIRO ALEXANDER OSORIO S.

*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*

HÉCTOR JOSÉ CIRO V.

*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*

JUAN MANUEL VÉLEZ R.

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

Recibido para revisar 19 de Octubre de 2004, aceptado 28 de Marzo de 2005, versión final 11 de Abril de 2005

**RESUMEN:** La carga a compresión evaluada al límite de proporcionalidad en elementos cortos de *Guadua angustifolia kunth* fue relacionada con algunos parámetros físicos tales como el diámetro externo e interno, espesor de la pared, densidad aparente, número de entrenudos y contenido de humedad.

Los elementos de *Guadua* fueron sometidos a compresión según las normas ISO-TC 165 dadas por el INBAR (1999). Los resultados estadísticos mostraron que para predecir el comportamiento de la carga en el límite de proporcionalidad de elementos cortos de *Guadua*, los parámetros de mayor incidencia son el diámetro externo ( $De$ ) y el espesor total de la pared ( $e$ ), para los cuales se obtuvo una correlación con un nivel de confianza del 95%. Un valor de 27,15 MPa con un coeficiente de variación del 16% fue encontrado para el esfuerzo a compresión evaluado al límite de proporcionalidad. Además se estableció un modelo aproximado para la densidad aparente de la *Guadua* según el contenido de humedad.

**PALABRAS CLAVE:** *Guadua angustifolia kunth*, compresión, límite de proporcionalidad, carga de diseño.

**ABSTRACT:** The compression load evaluated to proportionality limit in short elements of specimens of *Guadua angustifolia kunth* was related to some physical factors such as external and internal diameter, wall thickness, apparent density, internodes number and moisture content.

The specimens of *Guadua angustifolia kunth* were subjected to compression test according to standard ISO-TC 165 given by INBAR (1999). The statistical results showed that to predict the behavior of the load in the proportional limit of short elements of *Guadua*, the parameters of greater incidence are the external diameter ( $De$ ) and the total thickness of the wall ( $e$ ), for which a correlation with a level of confidence of 95% was obtained. A value of 27,15 MPa with a coefficient of variation of 16% was found for the compression stress evaluated to the proportional limit. Moreover, an approximated model was obtained to apparent density as function of the moisture content.

**KEY-WORDS:** Guadua angustifolia kunth, compression test, proportionality limit, design load.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Guadua angustifolia kunth se ha utilizado ampliamente en estructuras tanto a nivel rural como urbano, en donde dichos elementos actúan a diferentes esfuerzos, siendo los de compresión uno de los más usuales.

Tanto en el país como a nivel internacional, se han realizado varias investigaciones en torno a este material como elemento estructural, determinando sus características mecánicas, presentándose algunas diferencias entre los resultados obtenidos, principalmente en los valores de esfuerzos en el límite de proporcionalidad, el cual es fundamental para el diseño de elementos sometidos a compresión axial.

Los valores de esfuerzos en el límite de proporcionalidad se obtuvieron directamente de las curvas de esfuerzo contra deformación unitaria, lo que indica que para encontrar dicho valor al momento de utilizar el material como elemento estructural actuando como columna, se hace necesario realizar pruebas de laboratorio, lo que incrementa de alguna manera los costos en los proyectos donde se pretenda utilizar dicho material.

En esta investigación, se determinaron los esfuerzos en el límite de proporcionalidad de la Guadua sometida a compresión, buscando una relación directa de algunos factores geométricos y físicos en la resistencia del elemento.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

En Colombia se han realizado algunos estudios sobre la resistencia a la compresión de la *Guadua angustifolia kunth* para determinar la carga al límite proporcional. Los resultados obtenidos muestran variaciones poco significativas en los valores. Díaz y González (1992) encontraron para Guaduas sometidas a compresión paralela a la fibra provenientes de Santafé de Antioquia valores de esfuerzos en el límite proporcional ( $\sigma_{plp}$ ) de 12,38 MPa, y para

Guaduas provenientes de Risaralda de 19,79 MPa.

Por otra parte Martín y Mateus (1981) reportado por Hidalgo (2003), realizaron ensayos a compresión en guadua castilla, con longitudes de probetas que variaron entre 1 y 2 metros, utilizando la sección basal para guaduas con edades comprendidas entre los 3 y los 5 años, y encontraron valores de esfuerzos de rotura mínimo y máximos de 26,46 MPa y 53,9 MPa respectivamente.

Cheatle y López (2002) basados en la norma del INBAR, fallaron elementos a compresión axial, encontrando un valor del esfuerzo último de 28 MPa y recomendaron utilizar valores de esfuerzos admisibles para diseño de 14 MPa. Janssen (2002), encontró como resistencia última de elementos sometidos a compresión paralela a la fibra valores promedios de 63,6 MPa.

Cheatle y López (2002) proponen utilizar para la guadua el procedimiento recomendado para madera aserrada por la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984). Así, en columnas de Guadua la esbeltez esta dada por:

$$\lambda = \frac{L}{i} \quad (1)$$

Donde  $i$  es el radio de giro (m),  $\lambda$  es la esbeltez (adimensional) y  $L$  la longitud de la columna (m). El radio de giro esta dado por:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2)$$

El momento de inercia geométrico y el área de sección transversal están dados respectivamente por:

$$I = \frac{\sqrt{De^4 - Di^4}}{4} \quad (3)$$

$$A = \frac{\pi(De^2 - Di^2)}{4} \quad (4)$$

$I$  = Momento de inercia de la sección ( $m^4$ )

$De$  = Diámetro externo (m)

$Di$  = Diámetro interno (m)

$A$  = Área sección transversal ( $m^2$ )

Para columnas cortas ( $\lambda < 10$ ), se ha encontrado que la falla ocurre por aplastamiento. El esfuerzo admisible ( $\sigma_{plp}$ ) puede determinarse como:

$$\sigma_{plp} = \frac{P_{lp}}{A} \quad (5)$$

$\sigma_{plp}$  = Esfuerzo admisible (Pa)

$P_{lp}$  = Carga en el límite de proporcionalidad (N)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El material para los ensayos se obtuvo del municipio de Venecia Antioquia 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.

Para el estudio se seleccionaron 30 elementos entre la población de Guaduas mayores de 4 años (maduras), libres de deformaciones, agrietamientos y de ataques de plagas o enfermedades, óptima para la construcción de todo tipo de estructura liviana.

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 de 100 cm de longitud, correspondiendo todos los elementos a columnas cortas con  $\lambda < 10$ .

El material seleccionado, se secó naturalmente hasta alcanzar contenidos de

humedad, en base seca, menores del 25%. Posteriormente, a cada uno de estos se les caracterizó físicamente midiendo el espesor de las paredes en los puntos extremos, diámetros internos y externos, y número de entrenudos en la longitud total de la probeta. A su vez la densidad aparente de la Guadua fue determinada por el principio de Arquímedes y el contenido de humedad determinado por la norma S358.2 dada por ASAE (1990)

Las Guaduas seleccionadas se sometieron a ensayos de compresión paralela a la fibra en la máquina de ensayo universal "Marco de Carpa" a una velocidad de carga de 0,001 mm/s, de acuerdo a las normas técnicas ISO-TC 165 dadas por el INBAR (1999).

La carga en el límite de proporcionalidad  $P_{lp}$ , fue determinada gráficamente de las curvas obtenidas de carga (N) contra deformación (mm).

A través del Stagraphics plus versión 4.0, se correlacionó y se analizó estadísticamente cada uno de los parámetros físicos (Diámetro interno y externo, espesor de la pared, contenido de humedad, densidad aparente y número de entrenudos) con la variable dependiente carga en el límite de proporcionalidad ( $P_{lp}$ ). A partir de los resultados obtenidos, con las variables que mayor correlación mostró, se realizaron diagramas de dispersiones y posteriormente regresiones múltiples y simples, con el fin de seleccionar la que mejor comportamiento demostró.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

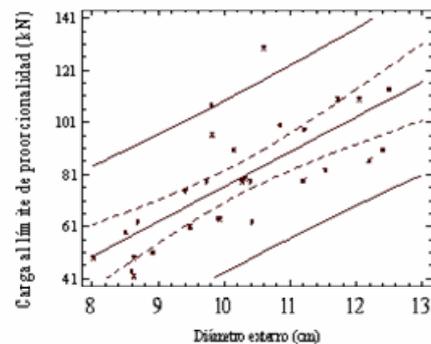
En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos del coeficiente de correlación para cada una de las iteraciones. Los resultados muestran que los factores de mayor incidencia en la variable de respuesta, carga en el límite de proporcionalidad son los factores geométricos tales como: diámetro externo ( $\rho=0,74$ ), interno ( $\rho=0,61$ ) y el espesor ( $\rho=0,78$ ), mostrando una alta relación entre ellos. Además la densidad aparente de la Guadua muestra una alta dependencia con la variable higroscópica, contenido de humedad ( $\rho=0,95$ ), donde altos contenidos de agua en el material corresponden a altos valores en su densidad.

**Tabla 1.** Matriz de correlación para los parámetros físicos evaluados.  
**Table 1.** Correlation analysis to the physical parameters evaluated.

	Carga en el límite de proporcionalidad (kN)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Diámetro externo (cm)	Diámetro interno (cm)	Contenido de humedad (%.b.s)	Espesor (cm)	Número de entrenados (adimensional)
<b>Carga en el límite de proporcionalidad (kN)</b>	1,00						
<b>Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,20	1,00					
<b>Diámetro externo (cm)</b>	0,74	0,31	1,00				
<b>Diámetro interno (cm)</b>	0,61	0,30	0,94	1,00			
<b>Contenido de humedad (%.b.s)</b>	-0,02	0,95	0,00	-0,01	1,00		
<b>Espesor (cm)</b>	0,78	0,24	0,73	0,49	0,04	1,00	
<b>Número de entrenados (adimensional)</b>	0,20	0,41	0,19	0,11	0,38	0,36	1,00

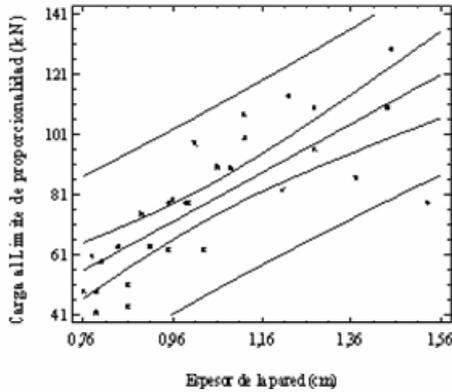
De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis de correlación, se procedió a realizar regresiones simples con sus intervalos de confianza al 5%, las cuales se observan en las Figura 1, 2 y 3. El análisis de varianza (5%) mostró que las variables geométricas diámetro externo, espesor de la pared y diámetro interno tienen un efecto importante sobre la carga en el límite de proporcionalidad.

En las figuras, la línea central corresponde a la media y las siguientes corresponden a los intervalos de confianza al 5%, dentro de los cuales se encuentra la dispersión de puntos más próximos a la media, con un gran porcentaje de la población muestral.



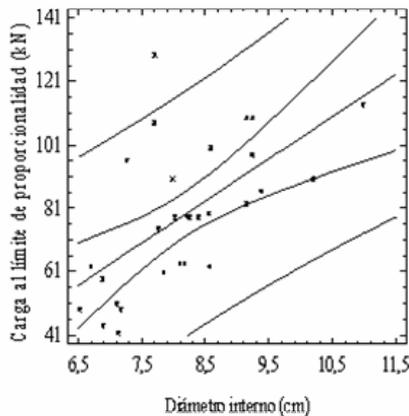
**Figura 1.** Regresión simple carga en el límite de proporcionalidad-diámetro externo.

**Figure 1.** Loading force evaluated to the proportionality limit according to the external diameter.



**Figura 2.** Regresión simple carga en el límite de proporcionalidad-espesor pared.

**Figure 2.** Loading force evaluated to the proportionality limit according to the wall thickness.



**Figura 3.** Regresión simple carga en el límite de proporcionalidad-diámetro interno.

**Figure 3.** Loading force evaluated to the proportionality point according to the internal diameter.

Ya que la correlación y el análisis de regresión simple mostraron que los parámetros de más alta incidencia sobre la variable carga en el límite de proporcionalidad son el diámetro externo ( $De$ ) y el espesor de la pared ( $e$ ), se procedió a realizar un análisis de regresión múltiple, tomando como variable dependiente la carga en el límite proporcional  $Plp$ , con un nivel de confianza del 95%.

Dicho análisis mostró que el modelo que presentó la más alta correlación ( $R^2=66,90\%$ ) es:

$$Plp(kN) = -43,9058 + 6,50644De(cm) + 53,9254e(cm) \quad [6]$$

La cual es válida para:  $8\text{ cm} \leq De \leq 12,1\text{ cm}$  y  $0,76\text{ cm} \leq e \leq 1,5\text{ cm}$ , donde la carga en el límite de proporcionalidad ( $Plp$ ) está dada en kN y el diámetro externo ( $De$ ) y espesor ( $e$ ), en cm respectivamente.

**Tabla 2.** Esfuerzo al límite de proporcionalidad para elementos cortos de Guadua sometidos a compresión.

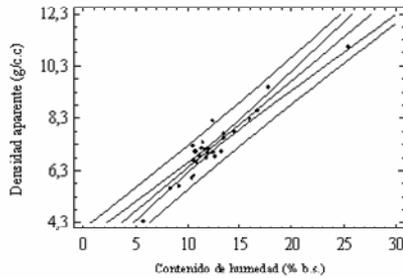
**Table 2.** Loading stress evaluated to the proportionality limit to short elements of guadua subjected to unidirectional compression.

PARÁMETRO	Promedio (MPa)	Intervalos de Confianza al 95% (MPa)		Coeficiente de variación (%)
		Límite inferior	Límite Superior	
Esfuerzo al límite proporcional ( $\sigma_{plp}$ )	27,15	25	29	16

La densidad aparente de la Guadua presentó una alta correlación con el contenido de humedad. La regresión simple, con sus intervalos de confianza al 5%, se muestra en la Figura 4. El análisis de varianza mostró que hay un efecto significativo del contenido de humedad. El ajuste obtenido fue el siguiente con un coeficiente de correlación de 0,94, donde  $H$  es el contenido de humedad de Guadua expresado en porcentaje de base seca:

$$Den \left( \frac{g}{cm^3} \right) = 3,0771 + 0,33267 * H(\%b.s) \quad [7]$$

La cual es válida para humedades comprendidas en el rango de  $5,8\% \leq H(\%b.s) \leq 25,5\%$



**Figura 4.** Regresión simple densidad-contenido de humedad

**Figure 4.** Relation density-moisture content (% dry basis).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dentro de los parámetros físicos y geométricos evaluados, los que mayor influencia presentan sobre la carga en el límite de proporcionalidad ( $Plp$ ) para columnas cortas sometidas a cargas axiales, son el diámetro externo ( $De$ ) y el espesor de la pared ( $e$ ).

Los resultados de esta investigación sugieren un valor promedio para el esfuerzo a compresión admisible en el diseño de elementos cortos de *Guadua angustifolia kunth* de 27,15 MPa.

Es importante iniciar otras investigaciones en las cuales se involucren los parámetros que mayor incidencia presentan en la carga en el límite proporcional como son el ( $De$ ) y el espesor ( $e$ ), para elementos intermedios y largos sometidos a compresión, con el fin de poder determinar directamente los esfuerzos de diseño en el límite de proporcionalidad ( $\sigma_{plp}$ ), sin necesidad de realizar ensayos de laboratorios previos.

## REFERENCIAS

- [1] AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). Standards, engineering practice and data (37<sup>th</sup> edition). Michigan, U.S.A. 389, 1990.
- [2] DÍAZ, JOHN Y GONZÁLEZ C. Eugenia. Propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia kunth* (Tesis Ingeniero Agrícola). Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 67-68, 1992.
- [3] THE INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). Standard for determination of physical and mechanical properties of bamboo. 13-14, 1999.
- [4] JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de diseño para maderas del grupo andino (Tercera Edición). Capítulo 9 (Parte I y II). 1984.
- [5] HIDALGO, OSCAR. Bamboo the gift of the goods. Bogotá, 87-89, 2003.
- [6] JANSSEN, JULES J. Mechanical Properties of Bamboo. [www.bambus/new/eng/reports/mechanical\\_properties/referat2.html](http://www.bambus/new/eng/reports/mechanical_properties/referat2.html). 1-12, 2002
- [7] CHEATLE, D y LÓPEZ, L. Diseño de uniones y elementos en estructuras de *Guadua*. Seminario - Taller Avances en la investigación sobre *Guadua*. Pereira, 2002.
- [8] MARTÍN J. Y MATEUS L. Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la *Guadua castilla* (Tesis Ingeniero Agrícola). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 70-75, 1981.