



Figura 7. Elementos de guadua con grietas longitudinales por mal secado
Foto. Alexander Osorio. 2006)



**Figura 8. Inmunización de la GAK por inmersión
(Sena La Salada. Caldas, Antioquia)**

Foto. Alexander Osorio. 2006



Figura 9. Inmunización de la GAK por Método Boucherie (Sena “Centro de industria instrumentación y control de procesos” Dos Quebradas – Risaralda)
Foto. Alexander Osorio. 2006

Capítulo 2

Propiedades físicas
y mecánicas de la

Guadua



Peaje vía Medellín-Pereira
Foto. Eugenia González C. 2007

Propiedades físicas

Las propiedades físicas más relevantes de la guadua, en relación con las características del material, sus propiedades mecánicas, y su incidencia en el comportamiento estructural, son la densidad y el contenido de humedad.

Densidad o gravedad específica

Hace referencia a la relación entre el peso anhidro y el volumen de un cuerpo. La gravedad específica del culmo es medida en función de las sustancias sólidas, es un indicador de las propiedades mecánicas, y sus valores dependen tanto de la estructura anatómica como de la cantidad y distribución de fibras y haces vasculares. La densidad de los bambúes, de acuerdo con Hidalgo (2003), varía entre (0,5 y 0,9) g/cm³ dependiendo del tipo de especie. Para la especie GAK, González & Díaz (1992) reportaron valores entre (0,57 y 0,60) g/cm³ para guadua proveniente de Santafé de Antioquia y, así mismo, Osorio *et al* (2005) encontraron valores entre (0,6 y 0,7) g/cm³ para guadua proveniente del suroeste Antioqueño.

A su vez, la densidad de la guadua es determinada por la norma S358.2 establecida por la norma técnica ISO-22157 (2004) de acuerdo con la ecuación 1:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Donde:

ρ : densidad básica (g/cm³).

m: masa del material (g).

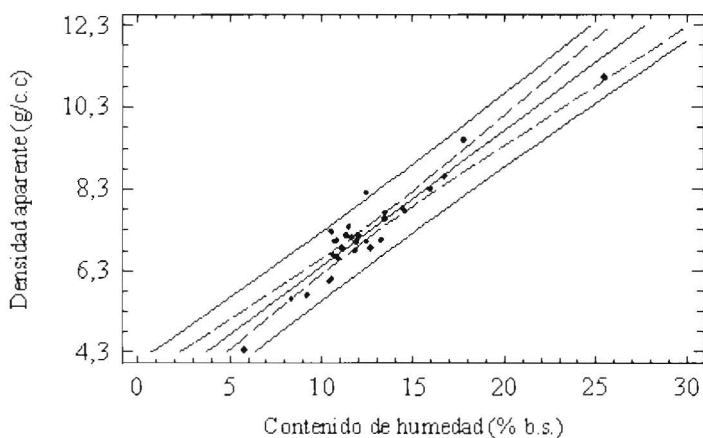
V: volumen del material (cm³).

Osorio *et al* (2005), determinaron una ecuación que correlaciona altamente la densidad aparente de la guadua con su contenido de humedad. El análisis de varianza mostró un efecto significativo del contenido de humedad, tal como se ilustra en la figura 9, y el ajuste obtenido fue el siguiente, con un coeficiente de correlación de 0,94, donde H es el contenido de humedad expresado en porcentaje en base seca:

$$Dens(g/c\ m^3) = 3,0771 + 0,33267 * H(\%b.s) \quad (2)$$

Esta ecuación es válida para humedades comprendidas entre el 5,8% y el 25,5% humedad en base seca (% b.s), la cual se considera importante dado que solamente conociendo el contenido de humedad del material se puede determinar su densidad, sin necesidad de realizar pruebas de laboratorio adicionales (ver figura 10).

Figura 10. Regresión simple densidad-contenido de humedad en guadua



Fuente: Osorio *et al* (2005).

Contenido de humedad

Este parámetro físico es de suma importancia dado que, en relación con la estructura anatómica del culmo, el contenido de humedad incide en su resistencia. La humedad corresponde al peso del agua contenida en la pared celular de la sección del culmo, y se expresa en porcentaje como la relación del peso húmedo y el peso anhidro o seco, determinada por la norma S358.2 de la ASAE (1990) o por las normas técnicas ISO-22157 (2004), de acuerdo con la ecuación 3:

$$H (\%) = \frac{(p - p_o)}{p_o} \quad (3)$$

Donde:

H: porcentaje de humedad en base seca (%).

P: Peso inicial de la muestra (g).

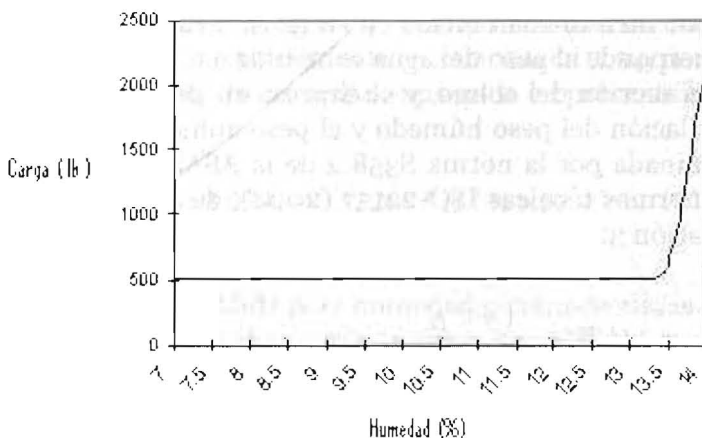
P_o: Peso final de la muestra (g).

El contenido de humedad varía, para cada especie, de acuerdo con las condiciones climáticas e incluso para cada individuo a lo largo del culmo; de ahí la importancia de tomar muestras y hacer pruebas cada vez que se requiere conocer la resistencia en los elementos que serán utilizados.

Debido a que la guadua es un material higroscópico, es decir, tiene la habilidad de absorber agua y dejarla en libertad, se deriva que de la cantidad de agua presente en un culmo depende la resistencia mecánica y su resistencia al ataque de agentes bióticos, lo cual influye en los sistemas de preservación e inmunización.

González *et al* (2003), encontraron que en elementos sometidos a flexión en intervalos entre del 7.5 y el 12% de contenidos de humedad en base seca, el esfuerzo admisible del elemento permanece constante y que a partir del 13,5% de humedad, la resistencia a la rotura aumenta notoriamente (ver figura 11).

Figura 11. Humedad vs carga en elementos de guadua



Fuente: González *et al* (2003)

En la práctica este aspecto es importante en el momento de utilizar este material como elemento estructural, dado que el contenido de humedad de estos tiende a equilibrarse de acuerdo con las condiciones ambientales de la zona, obteniendo finalmente humedades por debajo del 13% en base seca. Lo anterior significa que para tener un mejor y acertado conocimiento de la resistencia real de los elementos, se deben realizar ensayos por debajo del 13% de humedad.

Propiedades mecánicas de la guadua

Hasta 1999, los ensayos realizados para la determinación de las propiedades mecánicas de la guadua se basaron en las normas ASTM, ICONTEC y COPANT para maderas, las cuales presentaron dificultades en su empleo debido a las diferencias anatómicas que existen entre estos materiales.

A partir de este año, las normas más utilizadas para la determinación de las propiedades mecánicas a nivel de elemento y de material, estaban basadas en el documento de

discusión ISO-TC 165 dadas por el INBAR “THE INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN” (1999), y por normas ASTM 143-94, para fallar el material tanto a flexión como a tracción. Afortunadamente, ahora se tiene la norma ISO 22157 de 2004: “Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del bambú”, que fue preparada con base al documento ISO TC 165.

Determinación de resistencia nivel de elementos

Se debe entender por elemento la guadua en su forma geométrica original. En muchas investigaciones se han encontrado diferentes valores de resistencia y de módulos de elasticidad, que difieren de acuerdo con la procedencia de los elementos fallados y de su localización a lo largo del culmo. Debido a lo anterior, es importante, al momento de realizar ensayos, reportar la procedencia y parte del culmo de donde se obtienen las muestras, con el fin de que sirvan de guía para futuros usos del material y obtener valores más confiables.

Resistencia a flexión

De acuerdo con la norma ISO 22157 (2004), la resistencia última de elementos sometidos a flexión estática, y el módulo de elasticidad, pueden ser determinados a partir de las ecuaciones 4 y 5, respectivamente, que se utilizan para vigas con cargas en dos puntos (figura 12).

$$F_b = \frac{M (D_e / 2)}{6 I} \quad (4)$$

$$M = 0,5 F (L / 3)$$

$$I_{\text{elemento}} \approx \frac{\pi(D_e^4 - D_i^4)}{64}$$

Donde:

F_b : tensión máxima a flexión (N/mm² MPa).

F: fuerza máxima aplicada (N).

L: luz de la viga (mm).

D_e : diámetro externo del elemento (mm).

D_i : diámetro interno del elemento (mm).

I_{elemento} : momento de inercia del elemento (mm⁴).

M: Momento máximo (N-mm).

$$E = \frac{23 F L^3}{1296 \delta I} \quad (5)$$

Donde:

E: módulo de elasticidad (MPa).

F, L, I: parámetros incluidos en la ecuación 4.

δ : deflexión promedio obtenida del diagrama esfuerzo – deformación (mm).

González *et al* (2003), quienes sometieron elementos de guadua a flexión pura según las normas dadas por la sociedad americana para pruebas y materiales (ASTM), y ajustadas a las condiciones particulares de la guadua circular concéntrica de acuerdo con la metodología utilizada por González & Díaz (1992), encontraron que de acuerdo con los resultados estadísticos para contenidos de humedad de 10-12% en base seca, y longitudes de 2,5-3,0 m, no hay efecto de estas variables ni cambios en el espesor de la pared en la carga al límite de proporcionalidad, pero sí hay relación del diámetro promedio externo de la sección transversal del elemento, como se muestra en la figura 13, siendo por ello el diámetro el parámetro que, junto con la humedad, presenta mayor incidencia en la resistencia del elemento.

De igual manera, Ahmad (2000) realizó ensayos sobre el bambú Calcuta, tomando elementos a nivel basal y sobre-basal con presencia y ausencia de entrenudos, y encontró diferencias significativas en los elementos fallados a flexión, lo que fortalece la importancia de describir la parte del culmo utilizada para realizar los ensayos de resistencia respectivos:

E_i : 10428,10 MPa
 E_n : 9691,38 MPa
 RLP_i : 91,20 MPa
 RLP_n : 101 MPa

Donde:

i: internudo.

n: nudo del elemento.

RLP: resistencia en el límite proporcional.

Figura 12. Elementos de guadua sometidos a flexión con cargas en dos puntos

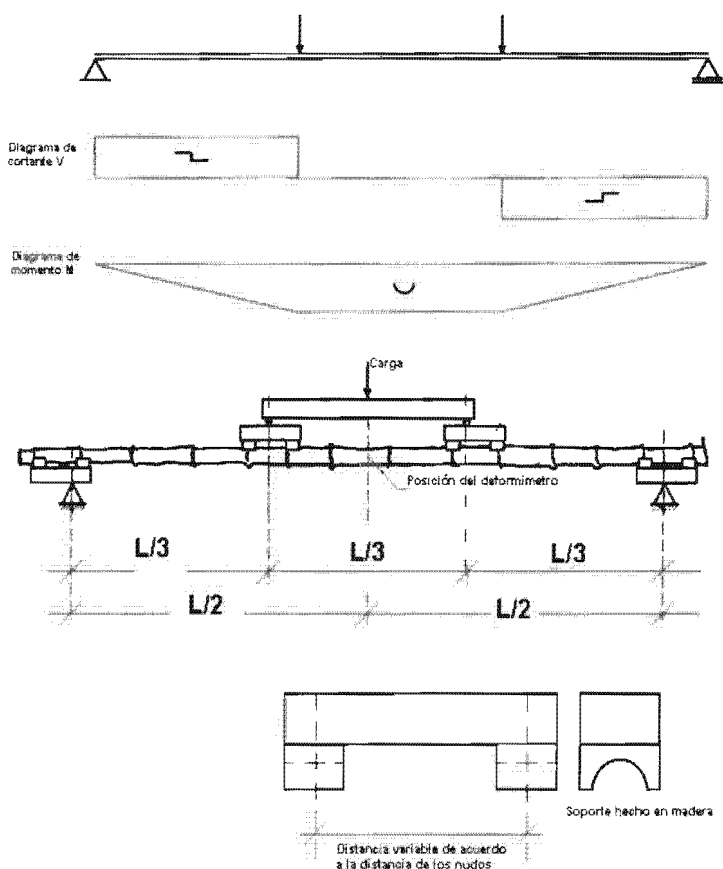
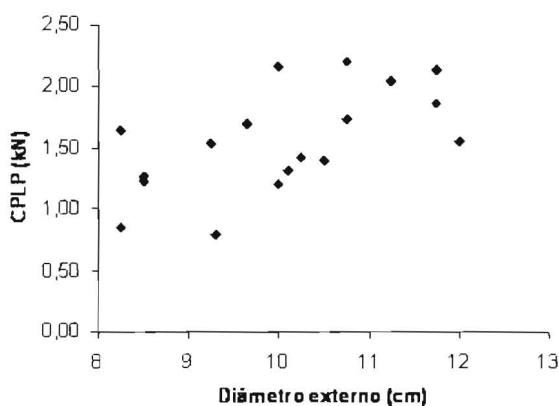


Figura 13. Relación entre diámetro externo y carga para elementos de guadua



Fuente: Osorio (2006)

Tanto en el ámbito nacional como internacional se han realizado ensayos sobre elementos sometidos a flexión, y, en algunos casos, se encontraron diferencias significativas en la resistencia última. A pesar de ello, estos datos se pueden tomar como estimativos para utilizar dicho material cuando se tengan disponibles elementos procedentes de las zonas donde se han realizado dichos ensayos, como se ilustra en la tabla 5.

Tabla 5. Resistencia de elementos de GAK sometidos a flexión

Investigador	Lugar	*F _{básico i} (MPa)
Mejía (1985)	Eje Cafetero (Colombia)	37,24
González & Díaz (1992)	Santafé de Antioquia (Colombia)	36,36
González <i>et al</i> (2003)	Santafé de Antioquia (Colombia)	34,06
López & Trujillo (2002)	Eje Cafetero (Colombia)	37,50
Janssen (2002)	Colombia	48,20
Osorio <i>et al</i> (2005)	Suroeste Antioqueño (Colombia)	34,35
Castrillón & Malaver (2004)	Colombia	45,00

*F_{básico} corresponde al valor de la resistencia media.