

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA. UNIONES EN GUADUA

Ing. Caori Takeuchi
Profesora Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia.

RESUMEN

La guadua es un material natural, renovable en poco tiempo, con buen comportamiento estructural para solicitudes de tensión paralela a las fibras, compresión, flexión y torsión. Sin embargo, su resistencia es pobre para esfuerzos de tensión perpendicular a las fibras y para esfuerzos de corte. Un buen diseño de elementos y uniones en guadua, debe tener en cuenta el comportamiento anisotrópico de la guadua.

PALABRAS CLAVE: GUADUA (BAMBU), AUTÓCTONO, RESISTENCIA, UNIONES

SUMMARY

The guadua (bamboo) is a natural material, renewable in little time, with good structural behavior for solicitations of parallel tension to the fibers, compression, flexion and torsion. However, its resistance is poor for perpendicular tension to the fibers and shear. A good design of elements and connections in guadua, must keep in mind the behavior anisotropic of the guadua.

PASSWORD: GUADUA (BAMBOO), AUTOCHTHONOUS, RESISTANCE, UNIONS

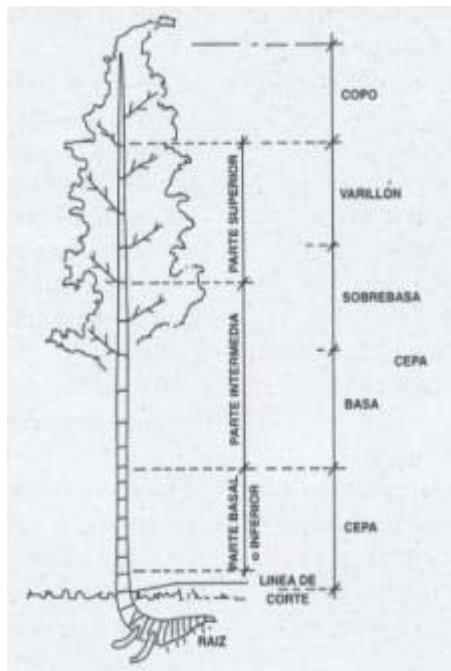
INTRODUCCIÓN

La naturaleza nos ha privilegiado al darnos un material con excelente comportamiento estructural, renovable y que logra su máxima resistencia, con tan solo tres a cinco años de edad: LA GUADUA (Foto No 1)



Foto No. 2. Culmo de una guadua angustifolia kunth (tomado de la referencia No 1)

Como elemento, puede llegar a tener una longitud aproximada de 12 metros (3 m de cepa y 11 m de basa aproximadamente) e incluso más si pensamos en la sobrebase (figura No 1); en cambio, los tiros de ángulo y varilla que hoy en día se consiguen de 12 m de longitud, hasta hace poco, solo se encontraban de 6 m de longitud en el mercado.



*Figura No. 1 Sección longitudinal del tallo
(tomado de la referencia No 1)*



*Foto No. 1. Guadual apto para realizar el corte.
(tomado de la referencia No 1)*

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA GUADUA

La guadua posee fibras longitudinales con una alta resistencia a la tracción. Se ha llegado a encontrar en ensayos¹ de latas de guadua de la pared externa sin nudos, una resistencia a la tracción promedio de 2561 kg/cm^2 ; resistencia bastante alta si se tiene en cuenta que el acero A36 tiene un esfuerzo de fluencia de 2530 kg/cm^2 y un esfuerzo último del orden de 4000 kg/cm^2 ; por esta razón se conoce a la guadua como el acero vegetal. En el mismo estudio, se encontró una resistencia a la tracción promedio en fibra externa con nudo de 1647 kg/cm^2 , en fibra completa sin nudo de 1562 kg/cm^2 y en fibra completa con nudo de 873 kg/cm^2 . La resistencia a la tracción en la pared externa es más alta que en pared completa, debido a dos razones: la primera de ella es que la parte exterior es dura debido a incrustaciones de sílice, lignina y cutina y la segunda se debe a que la cantidad de fibras es mayor en la parte externa de la guadua que en la parte interna, como se puede observar en la foto No 2.

¹ CARVAJAL, Willian N., ORTEGON, William O. Y ROMERO, Carlos J. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

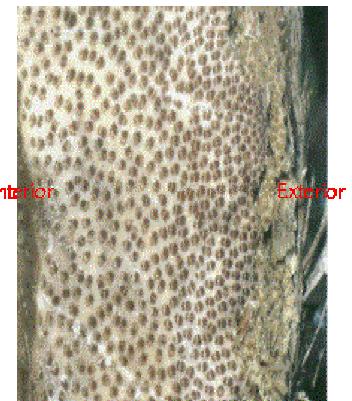


Foto No.2. Pared de guadua (tomado de la referencia No 1)

Por otro lado, la resistencia a la tracción en latas con nudo es menor que sin nudo, debido a que el nudo es la parte débil de la guadua, aspecto tenido en cuenta en el parágrafo 8.5.2. de la propuesta de normas internacionales para ensayos del bambú, "Inbar Standar for determination of physical and mechanical properties of bamboo" ² en el que se especifica que las probetas para el ensayo a tracción paralelo a las fibras debe tener un nudo. También se menciona la menor resistencia de probetas a tensión con nudo en "Laboratory manual on testing methods for detemimation of physical and mechanical properties of bamboo"³

La guadua macana⁴ tiene una sección transversal circular hueca con diámetro de 7 a 15 cm y espesor de pared de 0.9 a 1.2 cm (foto no 3). Al tener esa sección transversal, tiene una gran inercia con respecto a su área. Por tanto, para elementos de guadua solicitados a compresión con longitudes hasta de 3 m, la relación de esbeltez con respecto a cualquier eje que pase por su centro no es muy grande.



Foto No. 3. Sección transversal del tallo de guadua (tomado de la referencia No 2)

²"Inbar Standar for determination of physical and mechanical properties of bamboo". January 1999

³ "Laboratory manual on testing methods for detemimation of physical and mechanical properties of bamboo". January 1999

⁴ En Colombia existen cuatro especies de guadua: angustifolia, aplixifolia, superba y weberbaueri, la guadua angustifolia presenta cinco formas denominadas comúnmente: cebolla, macana, rayada negra, cotuda y castilla

Por ser un elemento cerrado de gran inercia, al estar solicitado a flexión, no tiene problemas de inestabilidad por pandeo flexotorsional.

Igualmente, por tener una sección transversal tubular, la guadua es altamente resistente a la torsión, es por esto que los cordones superior e inferior de algunas armaduras con uniones excéntricas de diagonales, como la ilustrada en la foto No 4, no fallan por torsión.



Foto No. 4. Armadura con torsión en los cordones superior e inferior por excentricidad en la unión de las diagonales.
(tomado de la referencia No 2)



Foto No. 5. Unión de las diagonales con cordón superior(tomado
de la referencia No 2)

Sin embargo a pesar de todas las ventajas en el uso de la guadua como material estructural solicitado a tracción paralela a sus fibras, compresión, flexión y torsión mencionadas anteriormente, no hay que olvidar que la guadua por su misma naturaleza, no es un material homogéneo con comportamiento isotrópico.

La guadua está formada por fibras longitudinales fuertes, pero a diferencia de la madera no tiene fibras radiales que unan las fibras longitudinales, las cuales están simplemente pegadas por pectina, en una matriz de lignina relativamente débil y

blanda (Foto No 2) lo que hace que la resistencia a la tracción perpendicular de la guadua sea muy pequeña. Esta pobre resistencia a la tracción limita la resistencia a la compresión paralela a las fibras en columnas cortas porque al aplicar la fuerza vertical, se presenta una fuerza radial horizontal (poisson) hacia afuera que separa las fibras debido a que no existe un mecanismo lo suficientemente fuerte, que las mantenga unidas. Los tabiques ayudan en cierta medida, pero al tener un comportamiento pobre a esfuerzos de tracción en su plano, simplemente se rompen, permitiendo la falla de compresión paralela a las fibras por la separación de las fibras longitudinales (foto 6 y 7).



Foto No.6 y 7. Falla por compresión paralela a las fibras (tomado de la referencia No1)

Por la anterior razón, la resistencia a la compresión paralela a las fibras es menor que la resistencia a la tracción de la guadua (por lo menos en un 25%), aún considerando fibra completa y nudo. En su estudio Martín y Mateus⁵ encontraron esfuerzos máximos a compresión paralela a la fibra de 662 kg/cm^2 , para una humedad del 12% y una edad comprendida entre 3 y 5 años, López y Silva⁶ encontraron valores promedio de esfuerzos últimos en columnas cortas de 438 kg/cm^2 y mínimos de 280 kg/cm^2 , Martínez Cáceres⁷ encontró valores de esfuerzos últimos de 343 kg/cm^2 y Uribe y Durán valores promedio de esfuerzos últimos de 504 kg/cm^2 , mínimos de 376 kg/cm^2 y máximos de 618 kg/cm^2 .

También la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras (aplastamiento) es muy baja, Martínez Cáceres encontró valores de esfuerzos últimos en guadua macana de apenas 23 kg/cm^2 (ni siquiera alcanza la décima parte de la resistencia a la tracción paralela a las fibras) Al aplicar carga a un cilindro hueco este se deforma y debido a la poca resistencia a la tracción perpendicular a las fibras, se abre como se observa en la foto 8. Cuando el elemento trabaja a compresión perpendicular a las fibras, el comportamiento mejora si se le da un confinamiento a la guadua. Este confinamiento restringe en alguna medida la deformación lateral. Sánchez y Prieto encontraron en ensayos con dispositivos de carga y apoyo circulares que la carga última promedio aumentó con respecto a la utilización de dispositivos de carga y apoyo plano.

⁵ MARTÍN, J y MATEUS, L . Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de guadua de castilla. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

⁶ LOPEZ, L y SILVA, M Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

⁷ MARTÍNEZ CACERES, E. Puentes en do mayor. CONGRESO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA.1992



Foto No 8. Falla por compresión perpendicular a las fibras.
(tomado de la referencia No3)

La resistencia al corte paralelo a las fibras, es baja. En el trabajo de Clavijo y Trujillo ⁸ en ensayos de rasgamiento con tornillo ⁹ donde hubo dos planos de falla, se encontró un esfuerzo cortante promedio de 42 kg/cm²; López y Silva encontraron en ensayos de corte directo un valor mínimo de 43 kg/cm² y un valor promedio de 69 kg/cm² y Sánchez y Prieto encontraron valores de esfuerzo al 0.05 de 47 kg/cm² al calcular el esfuerzo cortante en vigas cortas con longitudes menores de 1 m, simplemente apoyadas con carga en los tercios. Todos estos valores cercanos entre sí indican que la resistencia al corte no alcanza tampoco la décima parte de la resistencia a tracción en dirección paralela a las fibras.

COMPORTAMIENTO DE LA GUADUA EN DIFERENTES UNIONES

En el diseño de estructuras con guadua, se debe tener especial cuidado con el diseño de las uniones. Los elementos bajo diferentes solicitudes de carga (compresión, tracción paralela a las fibras, flexión y torsión) tienen un buen comportamiento, sin embargo, en las uniones, pueden tener esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra o de corte paralelo a la fibra. Como se ilustra en los siguientes ejemplos.

En la unión en T mostrada en la foto 8, el elemento que aplica la carga comprime al elemento del apoyo, este se deforma, hasta que falla por tensión perpendicular a la fibra. Adicionalmente, la fisura que se presenta lateralmente en el eje del elemento de aplicación de la carga, se produce porque en su extremo se le hace un corte "boca de pescado" para empatar con el otro elemento que al deformarse, produce la tensión perpendicular a la fibra, esto explica, que la fisura sea más grande en el extremo.

⁸ CLAVIJO, S y TRUJILLO, D..Evaluación de uniones a tracción en guadua. 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia

⁹ En el ensayo de rasgamiento con tornillo, se coloca el tornillo en la lata de guadua a una distancia del extremo. Posteriormente, se aplica una fuerza en sentido paralelo a las fibras longitudinales.

En la unión de la foto 9, al aplicar la tensión paralela a las fibras en el elemento de carga, el pasador por estar apoyado en las paredes del otro elemento, produce una fuerza de tracción perpendicular a las fibras, produciendo la falla.



Foto No9. Falla por tensión perpendicular a las fibras. (tomado de la referencia No3)

En la unión de la foto 10, la diagonal conectada al cordón inferior de la armadura se encuentra solicitada a tensión, el conector utilizado en la unión, produce corte paralelo a la fibra, ocasionando la falla de esta unión debido a que la distancia hasta el extremo no es suficiente, dado la poca resistencia al corte de la guadua.



Foto No10. Falla por corte paralelo a las fibras. (tomado de la referencia No2)

En las uniones de las fotos 11 y 12, las componentes horizontales de las diagonales unidas al elemento horizontal con un pasador, producen corte en este elemento, causando la falla.



Foto No11 y 12. Falla por corte paralelo a las fibras. (tomado de las referencias No 2 y 3)

CONCLUSIONES

En el momento del diseño se debe tener en cuenta que la guadua, es un material anisotrópico.

La guadua, es un material natural en el cual, la resistencia de la guadua para diferentes solicitudes de carga tiene una gran dispersión.

BIBLIOGRAFÍA

1. URIBE, M y DURAN, A. Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guaduas. 2002. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
2. GUTIERREZ, J y GOMEZ, R. Diseño y elaboración a escala natural de armaduras en guadua angustifolia.2002. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
3. JARAMILLO, D y SANCLEMENTE, G. Estudio de uniones en guadua conángulo de inclinación entre elementos. 2003. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
4. CARVAJAL, Willian N., ORTEGON, William O. Y ROMERO, Carlos J. Elementos estructurales en bambú. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
5. MARTÍN, J y MATEUS, L . Determinación de la resistencia a compresión paralela a la fibra de guadua de castilla. Bogotá, 1981. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
6. LOPEZ, L y SILVA, M Comportamiento sismorresistente de estructuras en bahareque. Manizales, 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
7. MARTÍNEZ CACERES, E. Puentes en do mayor. CONGRESO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA.1992
8. CLAVIJO, S y TRUJILLO, D..Evaluación de uniones a tracción en guadua. 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
9. SÁNCHEZ, J y PRIETO, E. Comportamiento de la guadua angustifolia sometida a flexión. 2002. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia
10. "Inbar Standar for determination of physical and mechanical properties of bamboo". January 1999
11. "Laboratory manual on testing methods for detemination of physical and mechanical properties of bamboo". January 1999