

Propiedades mecánicas de laminados de *Bambusa oldhamii* Munro

JOSÉ JUAN GUERRERO CORREA

Departamento de Materiales, CBI
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
jjgc@correo.azc.uam.mx

JOSÉ LUIS GUTIÉRREZ SENTÍES

Departamento de Tecnología y Producción, CyAD
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco
senties@hotmail.com

PALABRAS CLAVE

Propiedades mecánicas

Ensaye

Bambú

Laminados de bambú

Reglillas

Fibras

KEYWORDS

Mechanical properties

Assay

Bamboo

Bamboo sheets

Calipers

Fibers

En este trabajo se presenta el estudio de las propiedades mecánicas de probetas de laminados de *Bambusa oldhamii* Munro, tomando como base las normas para madera estipuladas por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Para ello se elaboraron las probetas con reglillas o láminas que se obtuvieron de culmos en estado seco que tenían características adecuadas para este fin. Los ensayos mecánicos fueron tensión paralela a la fibra, tensión perpendicular a la fibra, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, cortante paralelo a la fibra y flexión.

This paper presents the results of a study of the mechanical properties of sheets of *Bambusa oldhamii* Munro, based on standards for wood set by the American Society for Testing and Materials (ASTM). Samples were taken with calipers or sheets obtained from dry culms that were suitable for this purpose. The mechanical assays were tension parallel and perpendicular to the fiber, compression parallel and perpendicular to the fiber, shear parallel to the fiber, and flexion.

En su uso tradicional, el bambú en su presentación geométrica natural, es decir, con una sección transversal circular hueca, es un material que se ha usado desde hace mucho tiempo como elemento constructivo para obras de resguardo del ser humano. Éste, cortado en tiras a lo largo de su eje longitudinal, es utilizado como elemento de relleno en las paredes de viviendas (bahareque), con formas variadas para la elaboración de utensilios que satisfagan alguna necesidad de la vida común. En la actualidad se está explorando el usarlo de diferentes maneras, como los laminados de bambú que son una opción potencial para la fabricación de diferentes elementos.

En este trabajo se determinan las propiedades mecánicas básicas de probetas de laminados de *Bambusa oldhamii* Munro, cuya procedencia son los estados de Veracruz (el centro de acopio es el municipio de Huatusco), y Puebla (el centro de acopio es el municipio de Cuetzalan). Los ensayos mecánicos en probetas laminadas de culmos de bambú llevados a cabo en este estudio fueron tensión paralela a la fibra, tensión perpendicular a la fibra, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, corte paralelo a la fibra y flexión basados en la normatividad para probetas de madera de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Es importante hacer notar que no se tiene una normatividad específica cuando se usan reglillas de bambú, por lo que las probetas usadas en este estudio fueron similares a las especificadas para la madera. El espesor de las reglillas unidas es de aproximadamente 5 mm y un ancho promedio de 3 cm. Los culmos de bambú de los cuales se obtuvieron las reglillas para elaborar las probetas tenían una edad entre 5 y 7 años, en estado seco y características geométricas adecuadas para su uso en productos laminados con este material. El adhesivo usado para pegar las reglillas del bambú fue el Acetato de Polivinilo (PVA) con endurecedor resistente al agua, el cual no requiere aplicar temperatura o humedad, a excepción de las probetas OLLVME, en el cual se utilizó el adhesivo urea formaldehído. Durante los ensayos se registró la carga aplicada y las deformaciones correspondientes, así como el comportamiento mecánico del material. Para cada ensayo se determina la resistencia a la falla correspondiente. La humedad de las probetas se situó en el rango de 14 a 16 por ciento.

Las fotografías, gráficos y tablas fueron elaborados por los autores como parte de esta investigación.

REGLILLAS DE BAMBÚ

Las reglillas o láminas de bambú tuvieron una forma geométrica de barra con sección transversal rectangular y eje longitudinal recto; éstas se obtuvieron cortando tiras de bambú en la dirección longitudinal del culmo, por lo que la dirección de las fibras coincide con el eje longitudinal de las reglillas. Una vez obtenidas estas tiras se eliminó la curvatura natural que presentaban para que la sección transversal de las láminas tuviera una forma rectangular constante a lo largo de toda su



Figura 1. Reglillas de bambú.

longitud, por lo cual el espesor final de 5 mm siempre fue inferior al espesor del culmo del que se obtuvieron y su ancho fue de aproximadamente 30 mm (Figura 1).

La maquinaria utilizada para el proceso de corte, cepillado y acabado de las reglillas de bambú (Figura 2) fue la maquinaria convencional usada para la madera, por lo que en algunas ocasiones el proceso no fue óptimo, ya que el bambú requiere herramientas más especializadas para su procesamiento.

ENSAYES A TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA

Se ensayaron dos tipos de probetas bajo carga a tensión paralela a la fibra: la primera, OLLTAA (las dos primeras letras hacen referencia a la variedad *Bambusa oldhamii* Munro, la tercera a que son probetas elaboradas con reglillas o láminas, la cuarta y quinta a que es un ensayo a tensión paralela a la fibra y la sexta a que la posición de las reglillas es paralela respecto al borde de agarre, coincide con la superficie del adhesivo); la segunda, OLLTAM (las dos primeras letras hacen referencia a la variedad *Bambusa oldhamii* Munro, la tercera a que son probetas elaboradas con reglillas o láminas, la cuarta y quinta a que es un ensayo a tensión paralela a la fibra y la sexta a que la posición de las reglillas es perpendicular respecto al borde de agarre).



Figura 2. Obtención de tiras longitudinales de culmos de bambú. Fotografías: José Luis Gutiérrez y José Juan Guerrero.

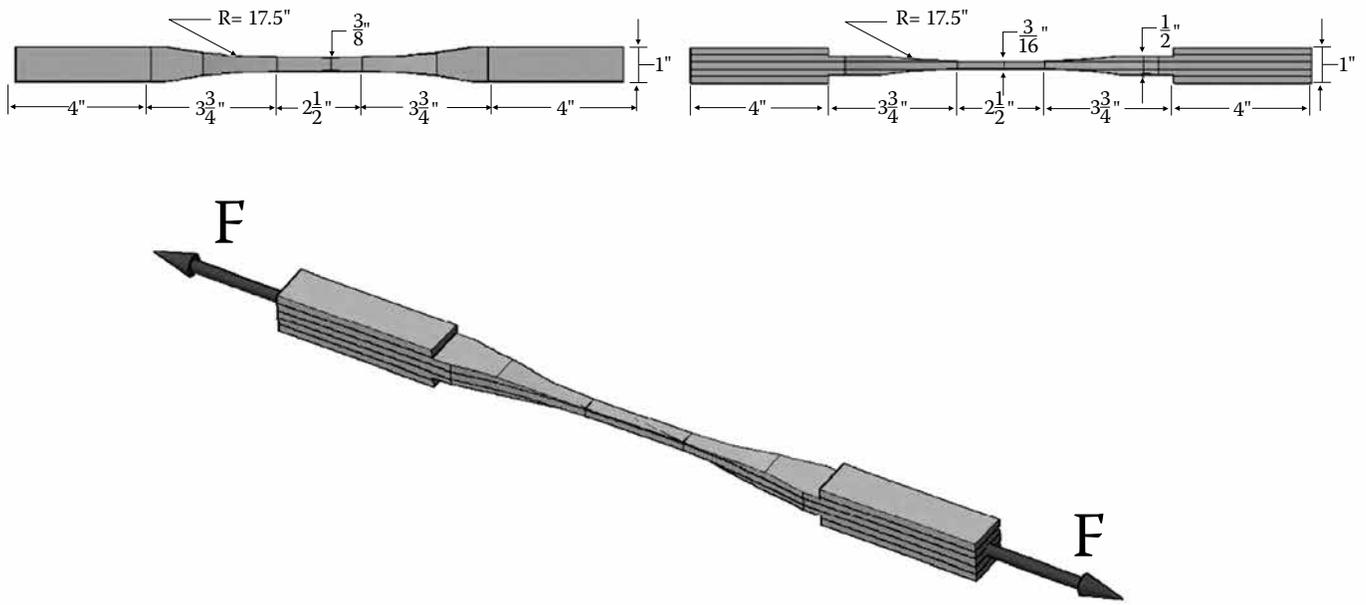


Figura 3. Geometría y esquema de ensaye de las probetas OLLTAA. Fuente: todos los esquemas y gráficas son elaborados por José Luis Gutiérrez y José Juan Guerrero.

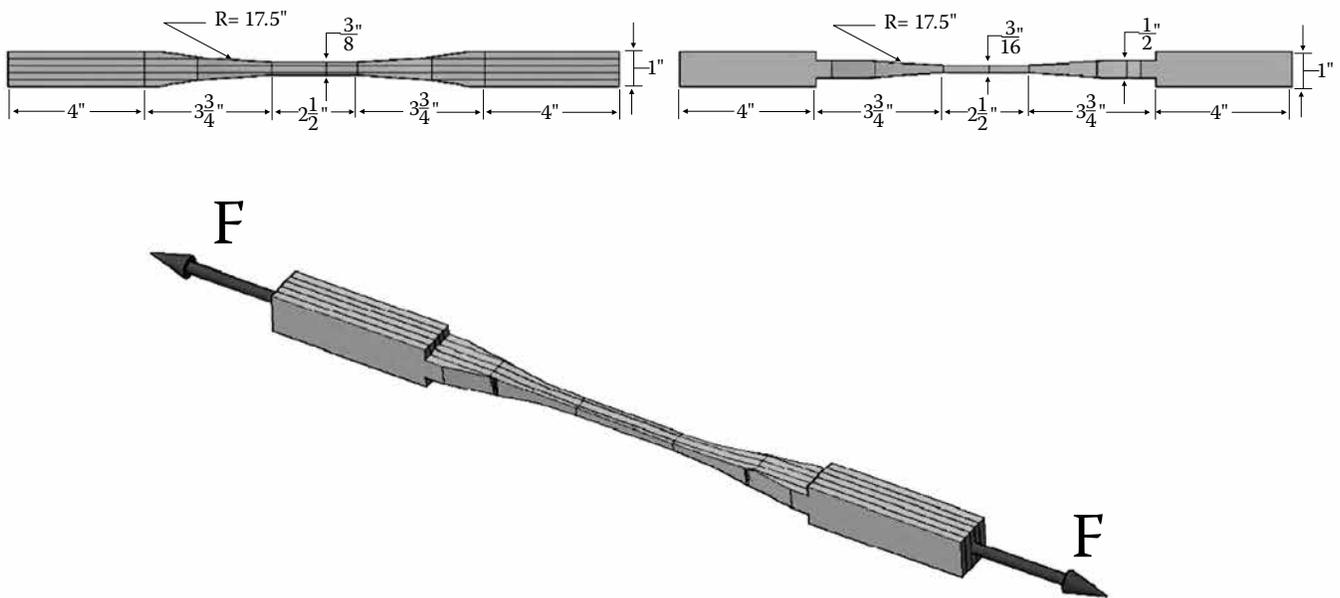


Figura 4. Geometría y esquema de ensaye de las probetas OLLTAM.

Se ensayaron seis probetas OLLTAA (Figura 3) y cinco probetas OLLTAM (Figura 4), que se elaboraron uniendo con adhesivo las reglillas con la dirección de la fibra paralela al eje longitudinal de la probeta. Los bordes de agarre se ubican en ambos extremos de las probetas y tienen una longitud de 4".

En las Figuras 5 a 15 se muestran las gráficas esfuerzo-deformación unitaria (línea continua) obtenidas en los ensayos, así como una recta de ajuste de los datos obtenidos (línea interrumpida) para cada una de las probetas.

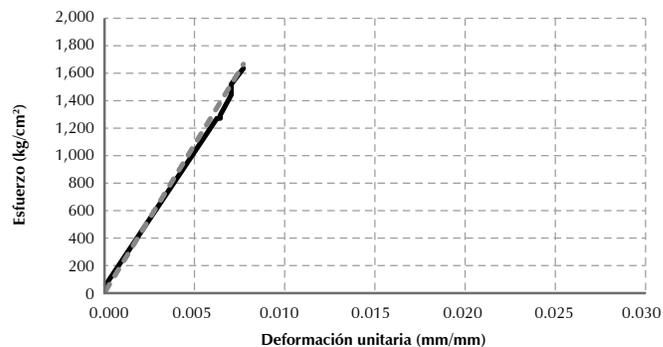


Figura 5. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAA01.

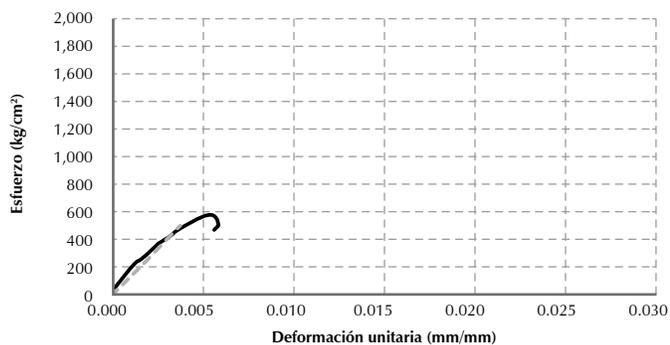


Figura 6. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAA02.

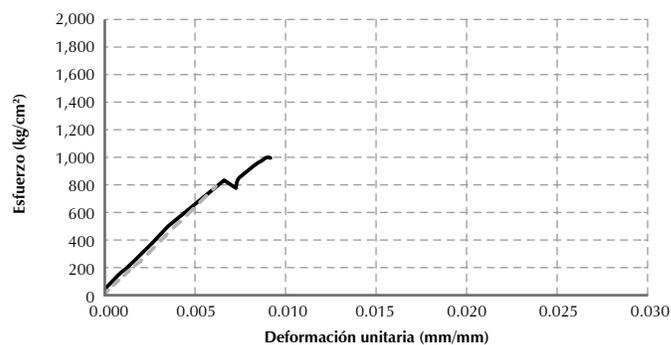


Figura 7. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAA03.

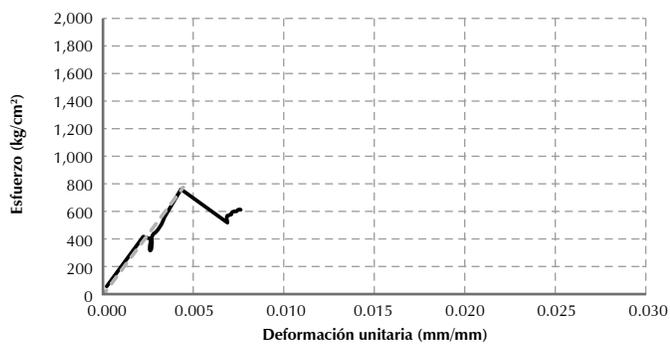


Figura 8. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAA04.

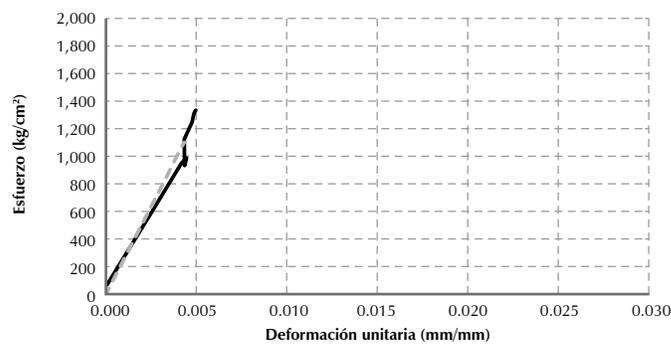


Figura 9. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAA05.

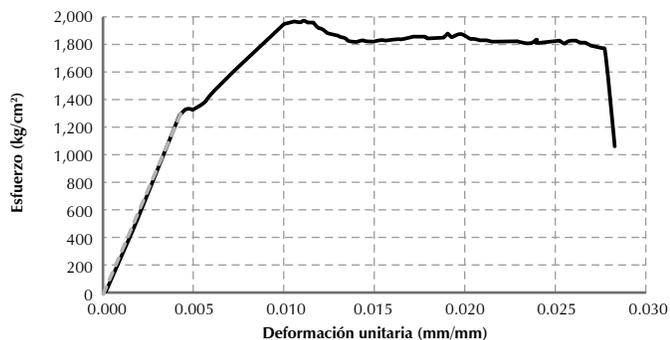


Figura 10. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAA06.

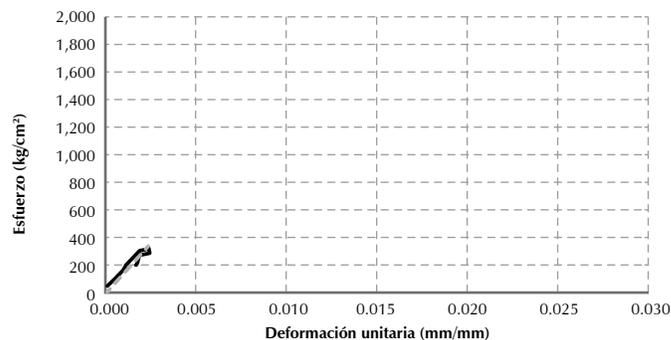


Figura 11. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAM01.

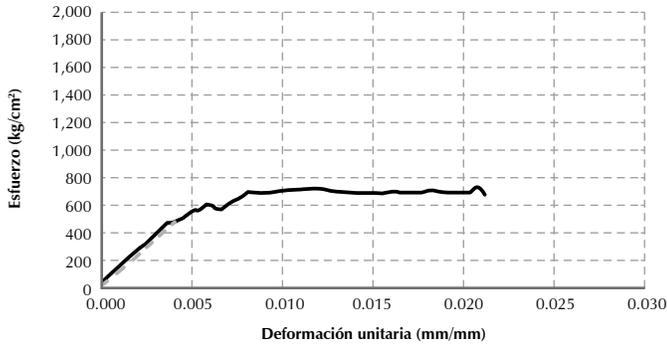


Figura 12. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAM02.

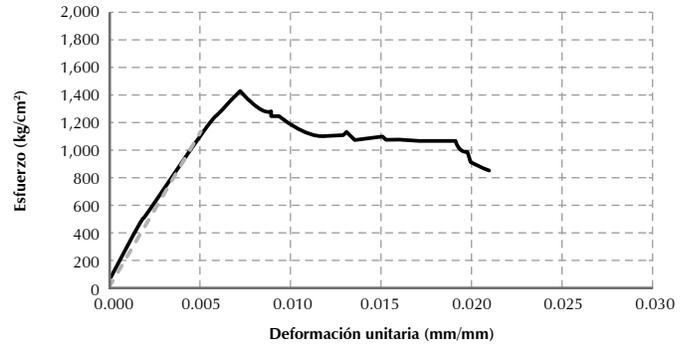


Figura 13. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAM03.

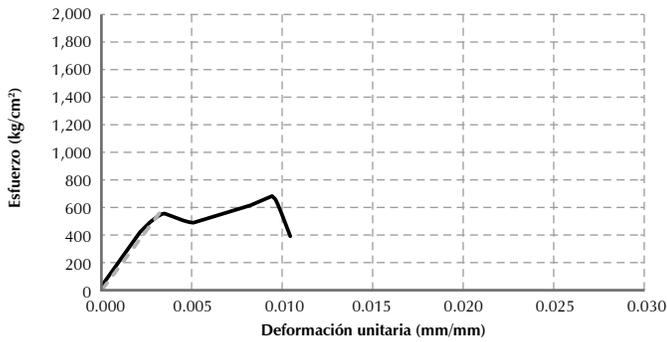


Figura 14. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAM04.

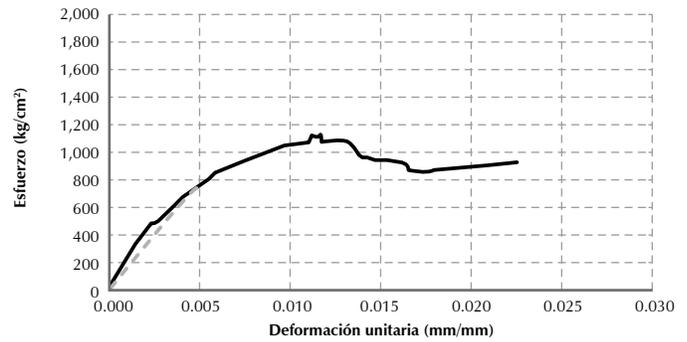


Figura 15. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLTAM05.

En la Figura 16 se indican las características geométricas de la sección transversal en la zona central de las probetas, la fuerza normal máxima, el esfuerzo normal máximo y el módulo de elasticidad, obtenidos con los datos provenientes de los ensayos. El esfuerzo se determinó con la expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

donde:

F es la fuerza normal soportada por la probeta, en kg.

A es el área de la sección transversal de la probeta en la zona central de calibración, en cm².

El módulo de elasticidad se obtuvo con referencia a la recta de ajuste especificada (pendiente σ/ϵ) en cada una de las gráficas anteriormente mostradas.

La falla en las probetas, a excepción de la OLLTAM01, se presentó en las reglillas ubicadas en la zona central, debida al esfuerzo

Figura 16. Ensayes a tensión paralela a la fibra en las probetas OLLTAA y OLLTAM					
Probeta	Ancho a (cm)	Espesor t (cm)	Fuerza Máxima F (kg)	Esfuerzo normal máximo σ (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad E (kg/cm ²)
OLLTAA01	0.74	0.47	577	1,659	216,555
OLLTAA02	0.86	1.36	694	593	137,203
OLLTAA03	0.87	0.52	445	983	127,904
OLLTAA04	0.76	0.50	294	774	180,606
OLLTAA05	0.82	0.67	729	1,328	244,759
OLLTAA06	0.67	0.54	718	1,985	303,848
OLLTAM01	0.62	1.18	246	337	149,898
OLLTAM02	0.62	0.94	424	727	117,848
OLLTAM03	0.74	1.05	1,124	1,446	218,563
OLLTAM04	0.62	1.13	482	688	175,591
OLLTAM05	0.69	1.22	940	1,116	154,776



Figura 17. Ensayo a tensión paralela a la fibra de las probetas OLLTAM.

normal a tensión inducido en esta zona, que ocurrió de manera súbita con una deformación muy pequeña en la zona calibrada central antes de que debiera ocurrir. La probeta OLLTAM01 presentó la falla en el pegamento ubicado en la zona de agarre de la probeta. El esfuerzo normal máximo promedio para las probetas OLLTAA fue de 1,221 kg/cm² con desviación estándar de 536 kg/cm² y el módulo de elasticidad promedio fue de 201,813 kg/cm² con desviación estándar de 67,170 kg/cm²; el esfuerzo normal máximo promedio para las probetas OLLTAM fue de 863 kg/cm² con desviación estándar de 427 kg/cm² y el módulo de elasticidad promedio fue de 165,639 kg/cm² con desviación estándar de 36,851 kg/cm².

ENSAYES A TENSIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Se llevaron a cabo ensayos a tensión perpendicular a la fibra en ocho probetas OLLTE (las dos primeras letras hacen referencia a la variedad *Bambusa oldhamii* Munro, la tercera a que son probetas elaboradas con reglillas o láminas, la cuarta y quinta a que es un ensayo a tensión perpendicular a la fibra). Las probetas se formaron con varias capas de reglillas de bambú unidas mediante adhesivo, con la fibra de las reglillas en la dirección longitudinal de éstas (Figura 18), perpendiculares a la aplicación de la carga. El área de la zona

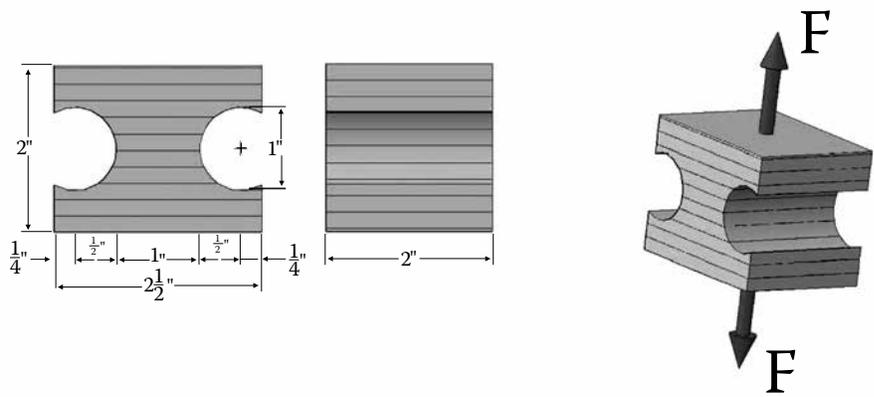


Figura 18. Geometría y esquema de ensayo de probetas OLLTE.

calibrada de falla se ubicó en la zona central y tuvo una forma rectangular de aproximadamente 12.5 cm². Se aplicó carga de tensión hasta la falla, la cual se registró para obtener el esfuerzo de falla.

En la Figura 19 se indican la fuerza máxima obtenida durante el ensayo y el esfuerzo normal a tensión determinados con la expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

donde:

F es la fuerza normal soportada por la probeta, en kg.

A es el área de la sección transversal de la probeta en la zona central de calibración, en cm².

La falla en las probetas se generó en la zona central debido al esfuerzo normal a tensión inducido en esta zona, que se presentó de manera súbita. El esfuerzo normal máximo promedio fue de 30 kg/cm² con desviación estándar de 16 kg/cm².

ENSAYES A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Se llevaron a cabo ensayos a compresión paralela a la fibra en cinco probetas OLLCA (las dos primeras letras hacen referencia a la variedad *Bambusa oldhamii* Munro, la tercera a que son probetas elaboradas con reglillas o láminas, la cuarta y quinta a que es prueba a compresión paralela a la fibra). Las probetas se formaron con varias capas de reglillas de bambú unidas mediante adhesivo, con la fibra de las reglillas en la dirección longitudinal de

Figura 19. Ensayes a tensión perpendicular a la fibra en las probetas OLLTE

Probeta	Fuerza Máxima F (kg)	Esfuerzo normal máximo σ (kg/cm ²)
OLLTE01	654	52
OLLTE02	322	25
OLLTE03	299	23
OLLTE04	281	22
OLLTE05	722	57
OLLTE06	161	12
OLLTE07	394	31
OLLTE08	237	18

éstas (Figura 20), paralelas a la aplicación de la carga. El área de la sección transversal es cuadrada, de aproximadamente 25 cm². Se aplicó carga de compresión hasta la falla de la probeta y se registró durante el ensaye la carga y la deformación correspondiente.

En las Figuras 21 a 25 se muestran las gráficas esfuerzo-deformación unitaria (línea continua) obtenidas en los ensayes, así como una recta de ajuste de los datos obtenidos (línea interrumpida) para cada una de las probetas.

En la Figura 26 se indican la fuerza normal máxima, el esfuerzo normal máximo y el módulo de elasticidad obtenidos con los datos provenientes de los ensayes (Figura 27).

El esfuerzo se determinó con la expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

donde:

F es la fuerza normal soportada por la probeta, en kg.

A es el área de la sección transversal de la probeta, en cm².

El módulo de elasticidad se obtuvo con referencia a la recta de ajuste especificada (pendiente σ/ϵ) en cada una de las gráficas anteriormente mostradas.

La falla en las probetas se presentó en la zona central, y fue debida al esfuerzo normal a compresión inducido en esta zona. El esfuerzo normal máximo promedio fue de 596 kg/cm² con desviación estándar de 172 kg/cm²; el módulo de elasticidad promedio fue de 72 732 kg/cm² con desviación estándar de 9 750 kg/cm².

ENSAYES A COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Se llevaron a cabo ensayes a compresión perpendicular a la fibra en cinco probetas OLLCE (las dos primeras letras hacen referencia a la variedad *Bambusa oldhamii* Munro, la tercera a que son probetas elaboradas con reglillas o láminas, la cuarta y quinta a que es prueba a compresión perpendicular a la fibra). Las probetas se formaron con varias capas de reglillas de bambú unidas mediante adhesivo, con la fibra de las reglillas en la dirección longitudinal de éstas (Figura 28), perpendiculares a la aplicación de la carga.

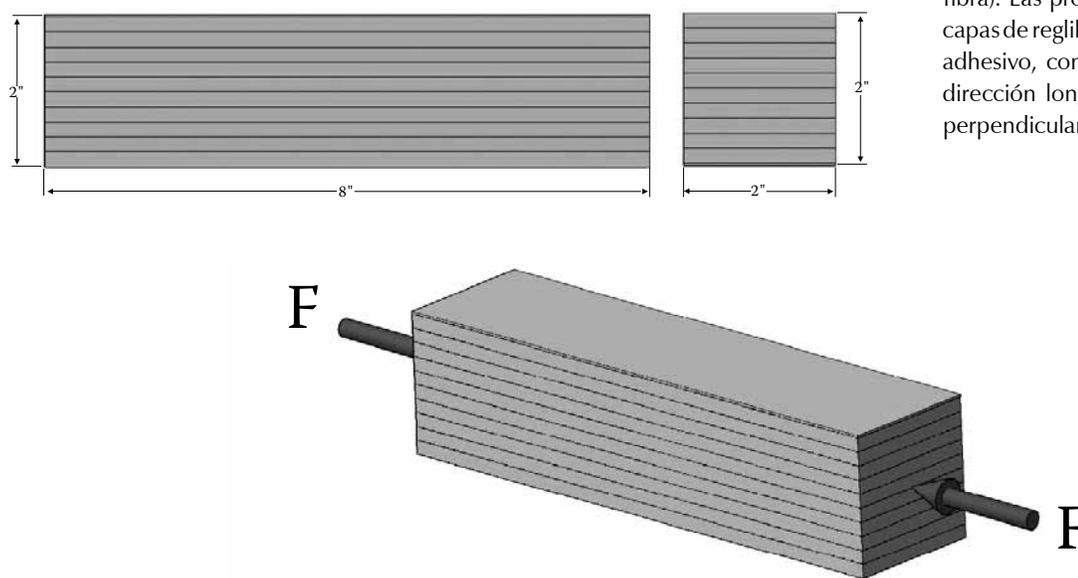


Figura 20. Geometría y esquema de ensayo de probetas OLLCA.

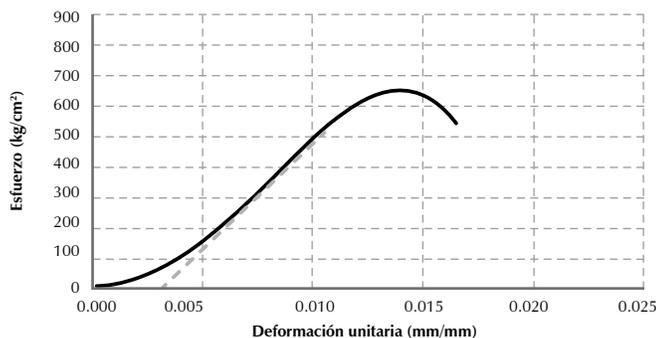


Figura 21. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCA01.

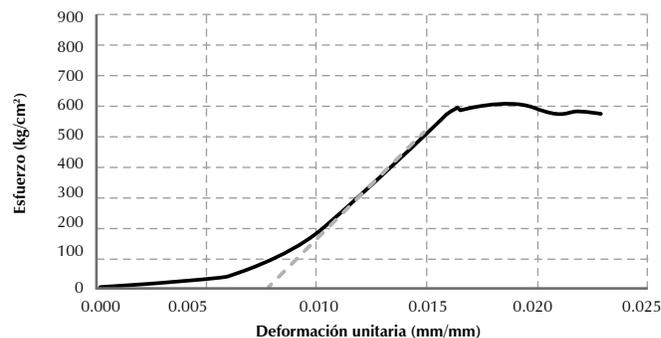


Figura 22. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCA02.

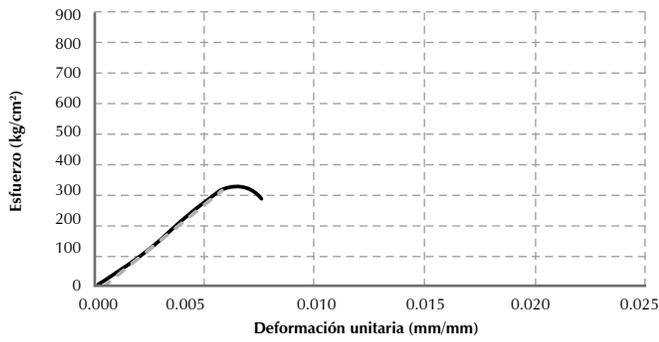


Figura 23. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCA03.

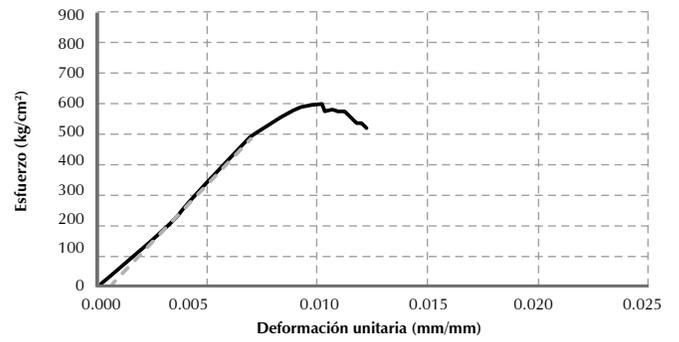


Figura 24. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCA04.

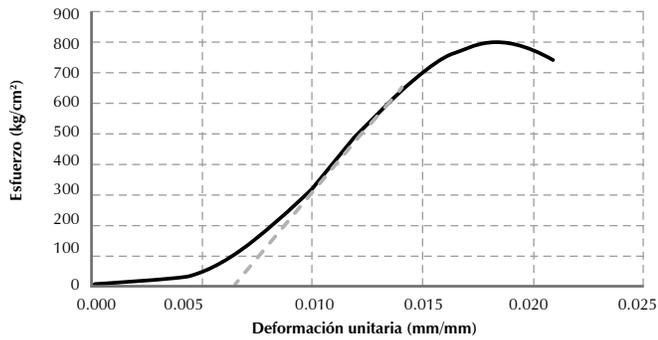


Figura 25. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCA05

Figura 26. Ensayes a compresión paralela a la fibra en las probetas OLLCA

Probeta	Fuerza Máxima F (kg)	Esfuerzo normal máximo σ (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad E (kg/cm ²)
OLLCA01	16,365	654	69,839
OLLCA02	15,137	605	72,772
OLLCA03	8,089	323	58,857
OLLCA04	15,032	601	76,656
OLLCA05	19,935	797	85,537



Figura 27. Ensaye a compresión paralela a la fibra de las probetas OLLCA.

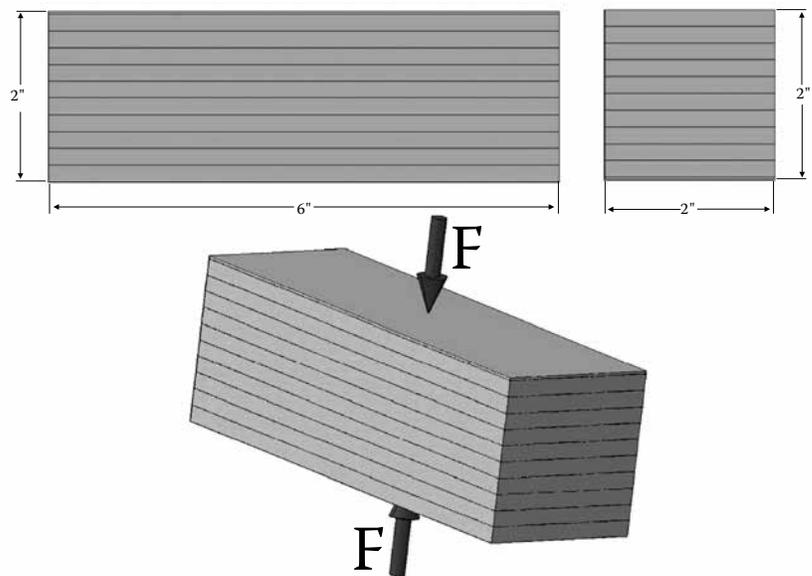


Figura 28. Geometría y esquema de ensayo de probetas OLLCA.

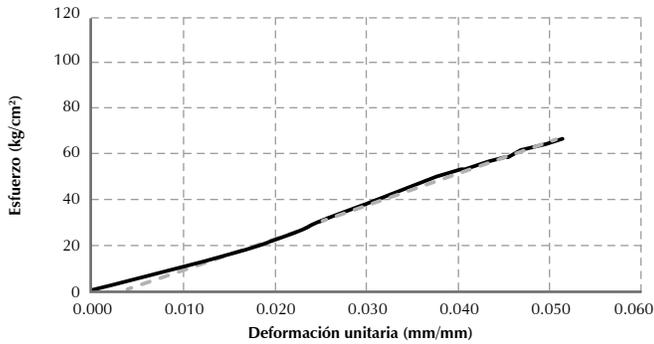


Figura 29. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCE01.

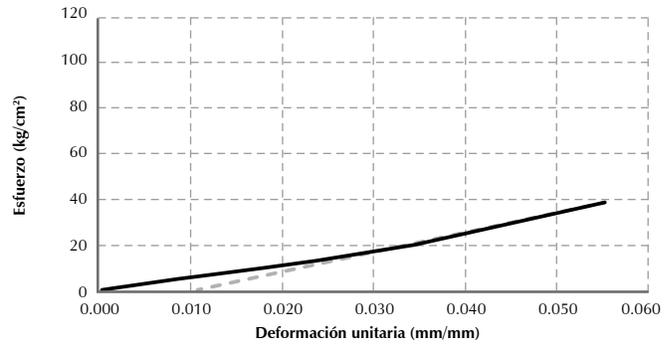


Figura 30. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCE02.

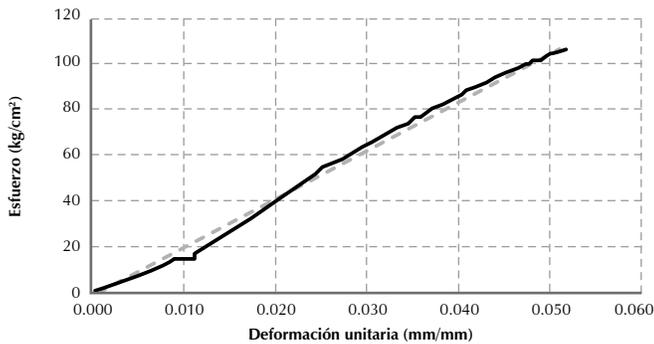


Figura 31. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCE03.

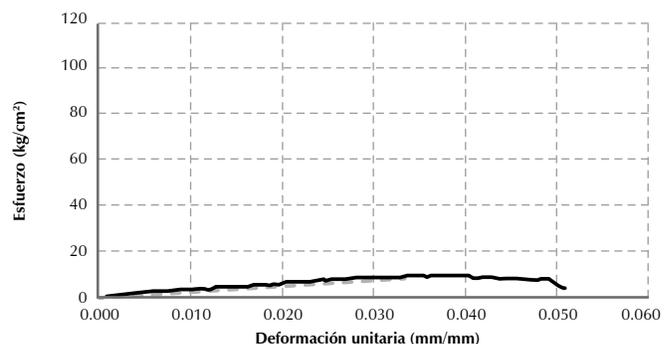


Figura 32. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCE04.

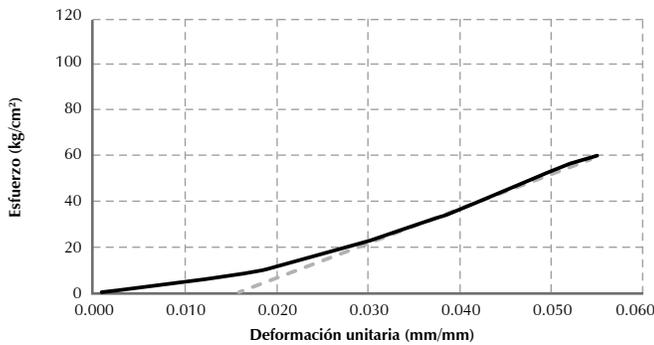


Figura 33. Gráfica $\sigma - \epsilon$ de OLLCE05.

El área de la sección transversal de ensaye fue cuadrada de aproximadamente 25 cm². De acuerdo con las normas aplicadas se tomó como carga máxima aquella que produjo una deformación paralela a la aplicación de la carga de 2.5 mm y se registró durante diferentes etapas del ensaye la carga y la deformación correspondiente.

En las Figuras 29 a 33 se muestran las gráficas esfuerzo-deformación unitaria (línea continua) obtenidas en los ensayos, así como una recta de ajuste de los datos obtenidos (línea interrumpida) para cada una de las probetas.

En la Figura 34 se indican la fuerza normal máxima, el esfuerzo normal máximo y el módulo de elasticidad obtenidos con los datos provenientes de los ensayos.

El esfuerzo se determinó con la expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Figura 34. Ensayes a compresión perpendicular a la fibra en las probetas OLLCE

Probeta	Fuerza Máxima F (kg)	Esfuerzo normal a compresión σ (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad E (kg/cm ²)
OLLCE01	1 675	67	409
OLLCE02	964	38	869
OLLCE03	2 699	107	2 155
OLLCE04	239	9	262
OLLCE05	1 493	59	1 512

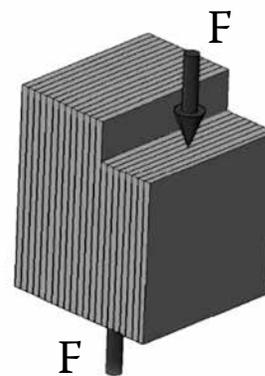
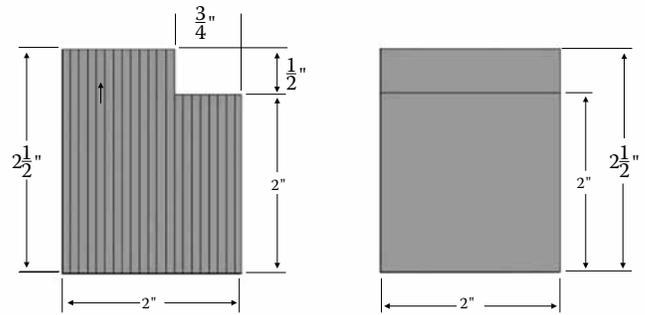
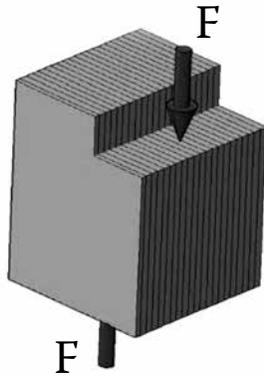
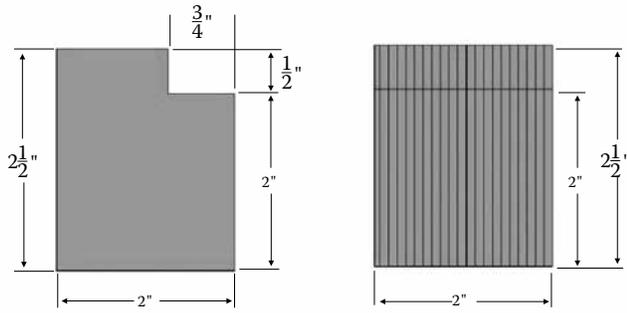


Figura 35. Geometría y esquema de ensayo de las probetas OLLVME.

Figura 36. Geometría y esquema de ensayo de las probetas OLLVMA.

donde:

F es la fuerza normal soportada por la probeta, en kg.

A es el área de la probeta en la zona central de calibración, en cm².

El módulo de elasticidad se obtuvo con referencia a la recta de ajuste especificada (pendiente σ/ϵ) en cada una de las gráficas anteriormente mostradas.

La falla en las probetas se presentó en la zona central, debida al esfuerzo normal a compresión inducido en esta zona. Es importante hacer notar que la probeta OLLCE04 tuvo una resistencia muy baja quizá porque las diferentes reglillas que la formaban no estaban completamente en contacto entre ellas, situación que no se observó en la parte externa de la probeta, por lo que este valor no es representativo del comportamiento de este tipo de probetas. El esfuerzo normal máximo promedio fue de 56 kg/cm² con desviación estándar de 36 kg/cm²; el módulo de elasticidad promedio fue de 1 241 kg/cm² con desviación estándar de 713 kg/cm².

ENSAYES A CORTANTE DIRECTO PARALELO A LA FIBRA

Se llevaron a cabo dos variantes en este tipo de ensayo: carga de corte directa en las probetas OLLVME (las dos primeras letras hacen referencia a la variedad *Bambusa oldhamii* Munro, la tercera a que son probetas elaboradas con reglillas o láminas, la cuarta a que es prueba a cortante, la quinta y sexta a que las reglillas o láminas son perpendiculares a la zona de falla); carga de corte directa en las probetas OLLVMA (las dos primeras letras hacen referencia a la variedad *Bambusa oldhamii* Munro, la tercera a que son probetas elaboradas con reglillas o laminados, la cuarta a que es prueba a cortante, la quinta y sexta a que las reglillas o láminas son paralelas a la zona de falla, la cual coincide con la zona del adhesivo). Se ensayaron cinco probetas OLLVME (Figura 35) y cinco probetas OLLVMA (Figura 36), las cuales se elaboraron uniendo con adhesivo las reglillas con la dirección de la fibra paralela al eje longitudinal de la probeta. El área de la zona de falla fue aproximadamente rectangular.

En la Figura 37 se indican las características geométricas de la zona de falla de las probetas, la fuerza cortante máxima y el esfuerzo cortante máximo obtenidas con los datos provenientes de los ensayos. El esfuerzo cortante se determinó con la expresión:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

donde:

F es la fuerza cortante soportada por la probeta, en kg.

A es el área de la zona de falla, en cm².

El esfuerzo cortante promedio de las probetas OLLVME fue de 46 kg/cm² con desviación estándar de 6 kg/cm². El esfuerzo cortante promedio de las probetas OLLVMA fue de 25 kg/cm² con desviación estándar de 3 kg/cm².

ENSAYES A FLEXIÓN

Se llevaron a cabo ensayos a flexión en cinco probetas OLLF (las dos primeras letras hacen

Figura 37. Ensayes a cortante directo en las probetas OLLVME y OLLVMA

Probeta	Ancho a (cm)	Peralte h (cm)	Fuerza Máxima F (kg)	Esfuerzo cortante máximo τ (kg/cm ²)
OLLVME01	5.17	4.76	1,027	41
OLLVME02	5.20	4.76	1,317	53
OLLVME03	5.20	5.03	1,357	51
OLLVME04	5.17	4.80	964	38
OLLVME05	5.18	5.17	1,238	46
OLLVMA01	4.94	4.91	498	20
OLLVMA02	5.06	4.96	667	26
OLLVMA03	4.95	4.97	621	25
OLLVMA04	5.03	4.97	625	25
OLLVMA05	5.04	4.89	759	30

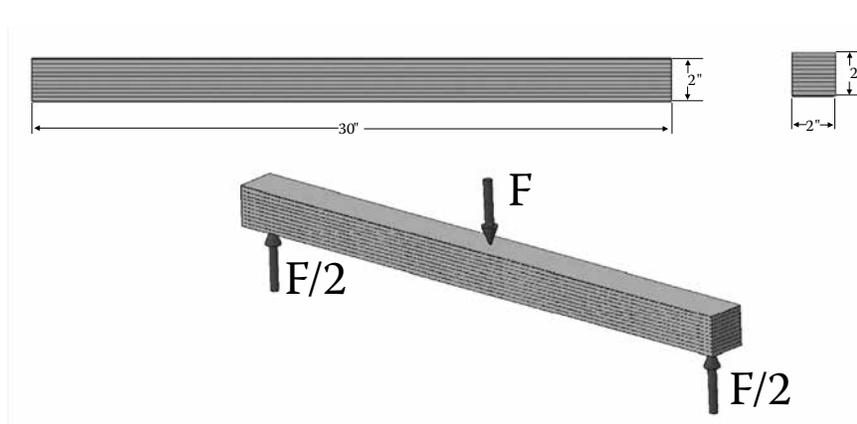


Figura 38. Geometría y esquema de ensayo de las probetas OLLF.

referencia a la variedad *Bambusa oldhamii* Munro, la tercera a que son probetas elaboradas con reglillas o láminas, la cuarta a que es una prueba a flexión). Las probetas se formaron con varias capas de reglillas de bambú colocadas en la dirección longitudinal de éstas (Figura 38). Se aplicó carga transversal hasta la falla de la probeta y durante el ensayo se registró la carga y el desplazamiento correspondiente en la zona central. La sección transversal de la probeta fue de aproximadamente 5 cm de base y 5 cm de peralte, la longitud entre apoyos de la viga fue de 71.12 cm.

En las Figuras 39 a 43 se muestran las gráficas carga F -deflexión vertical Δ al centro del claro obtenidas en los ensayos respectivos.

En la Figura 44 se indica la carga máxima obtenida durante el ensayo (Figura 45), así como el esfuerzo normal determinado con la expresión:

$$\sigma = \frac{3 F L}{2 b h^2}$$

donde:

- F** es la carga soportada por la probeta, en kg.
- L** es la longitud entre apoyos de la viga, en cm.
- b** es el ancho de la sección transversal, en cm.
- h** es el peralte de la sección transversal, en cm.

El esfuerzo normal máximo promedio fue de 307 kg/cm² con desviación estándar de 131 kg/cm².

Aunado a lo anterior se determinó el módulo de elasticidad de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E = \frac{F_{LP} L^3}{4 \Delta_{LP} b h^3}$$

donde:

- F_{LP}** es la fuerza en el límite proporcional, en cm.
- Δ_{LP}** es el desplazamiento vertical correspondiente a la fuerza en el límite proporcional, en cm.
- L** es la longitud entre apoyos de la viga, en cm.
- b** es el ancho de la sección transversal, en cm.
- h** es el peralte de la sección transversal, en cm.

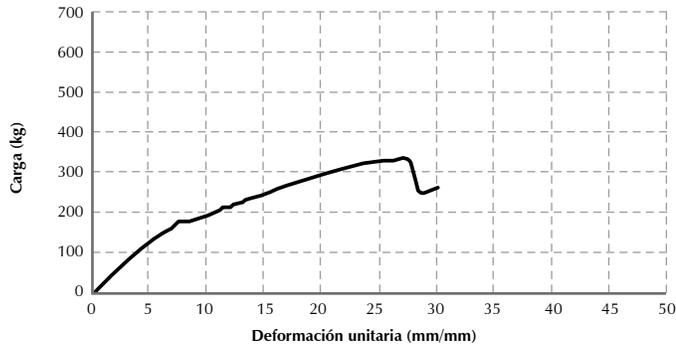


Figura 39. Gráfica F-Δ de OLLF01.

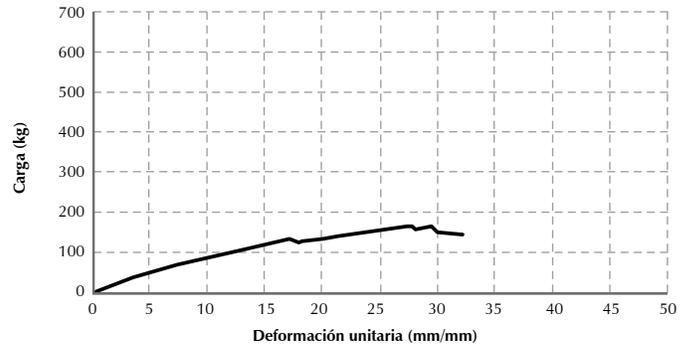


Figura 40. Gráfica F-Δ de OLLF02.

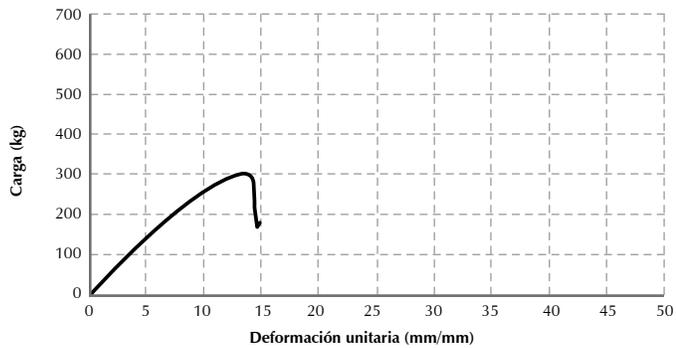


Figura 41. Gráfica F-Δ de OLLF03.

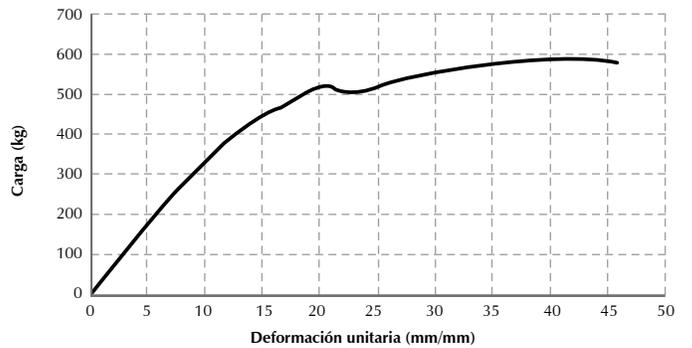


Figura 42. Gráfica F-Δ de OLLF04.

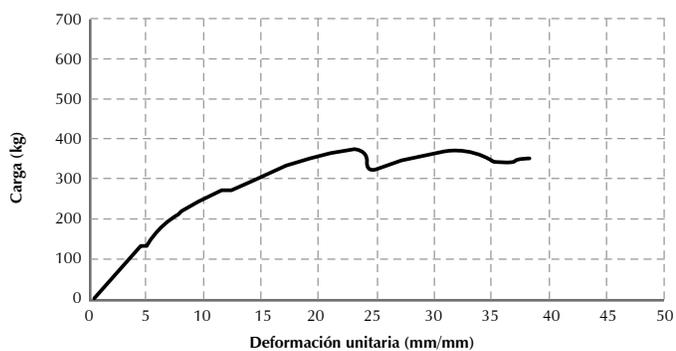


Figura 43. Gráfica F-Δ de OLLF05.

Figura 44. Ensayes a flexión en las probetas OLLF		
Probeta	Carga Máxima $F_{m\acute{a}x}$ (kg)	Esfuerzo normal σ (kg/cm ²)
OLLF01	336	287
OLLF02	169	144
OLLF03	313	267
OLLF04	596	508
OLLF05	384	327

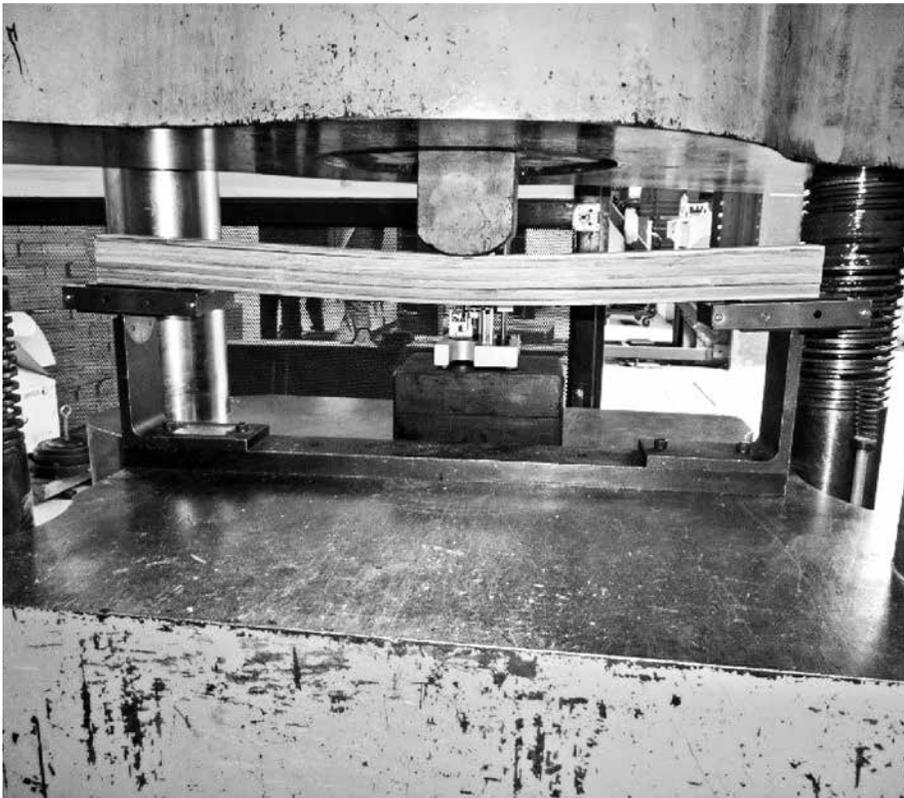


Figura 45. Ensayo a flexión de las probetas OLLF.

Figura 46. Ensayos a flexión en probetas de bambú laminado

Probeta	Carga límite proporcional F_{LP} (kg)	Deformación límite proporcional Δ_{LP} (mm)	Esfuerzo límite proporcional (kg/cm^2)	Módulo de elasticidad E (kg/cm^2)
OLLF01	174	7.41	148	33,802
OLLF02	135	20.78	115	9,354
OLLF03	125	4.23	106	42,626
OLLF04	400	12.28	341	46,888
OLLF05	235	8.59	200	39,371

En la Figura 46 se muestran la carga en el límite proporcional, el desplazamiento vertical y el esfuerzo normal correspondiente, así como el módulo de elasticidad calculado con la expresión anteriormente mencionada.

El módulo de elasticidad promedio fue de $34,408 \text{ kg}/\text{cm}^2$, con desviación estándar de $14,798 \text{ kg}/\text{cm}^2$. El tipo de falla que se presentó en las probetas fue debido a compresión en la zona superior. Es importante hacer notar que el momento de inercia utilizado para los cálculos fue el de la sección transversal total.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Se llevaron a cabo ensayos mecánicos en probetas de laminados de *Bambusa oldhamii* Munro basados en la normatividad para probetas de madera de la ASTM. Los ensayos fueron tensión paralela y perpendicular a la fibra, compresión paralela y perpendicular a la fibra, cortante directo paralelo a la fibra, y flexión.

En los ensayos de las probetas sometidas a tensión paralela a la fibra se ensayaron dos tipos de probetas: OLLTAA y OLLTAM. El esfuerzo normal máximo promedio para

las probetas OLLTAA fue de $1221 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $536 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y el módulo de elasticidad promedio fue de $2011813 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $671170 \text{ kg}/\text{cm}^2$. El esfuerzo normal máximo promedio para las probetas OLLTAM fue de $863 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $427 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y el módulo de elasticidad promedio fue de $1651639 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $361851 \text{ kg}/\text{cm}^2$. La gráfica esfuerzo-deformación unitaria muestra un comportamiento lineal prácticamente hasta el esfuerzo máximo; se presentó la falla típica por tensión en el material ubicado en la zona central en la mayoría de las probetas, la cual ocurrió de manera súbita con una deformación muy pequeña en la zona calibrada antes de que ésta se genere.

En los ensayos de las probetas sometidas a tensión perpendicular a la fibra el esfuerzo normal máximo promedio fue de $30 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $16 \text{ kg}/\text{cm}^2$. La falla se presentó en la zona central de manera súbita.

Respecto a los ensayos de las probetas sometidas a compresión paralela a la fibra se obtuvo un esfuerzo normal máximo promedio de $596 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $172 \text{ kg}/\text{cm}^2$; el módulo de elasticidad promedio fue de $721732 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $91750 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

En los ensayos de las probetas sometidas a compresión perpendicular a la fibra se obtuvo un esfuerzo normal máximo promedio de $56 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $36 \text{ kg}/\text{cm}^2$; el módulo de elasticidad promedio fue de $11241 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $713 \text{ kg}/\text{cm}^2$. La gráfica esfuerzo-deformación unitaria muestra un comportamiento lineal en todo su registro, deformándose la probeta al aplastamiento de forma gradual. Es importante hacer notar que una de las probetas ensayadas muestra una resistencia más baja de lo que se hubiera esperado, esto pudo deberse a que las diferentes reglillas que la formaban no estaban completamente en contacto entre ellas. Los resultados numéricos aquí presentados consideraron los resultados de esta probeta.

En los ensayos de las probetas sometidas a cortante directo paralela a la fibra se ensayaron dos tipos de probetas: OLLVME y OLLVMA. El esfuerzo cortante promedio de las probetas OLLVME fue de $46 \text{ kg}/\text{cm}^2$ con desviación estándar de $6 \text{ kg}/\text{cm}^2$. El esfuerzo cortante promedio de las probetas OLLVMA



Figura 47. Productos elaborados con bambú.

fue de 25 kg/cm² con desviación estándar de 3 kg/cm². Es importante hacer notar que la zona de falla de las probetas OLLVMA coincide con la superficie del adhesivo, situación que podría explicar la menor resistencia de éstas.

En los ensayos de las probetas sometidas a flexión se obtuvo un esfuerzo máximo promedio de 307 kg/cm² con desviación estándar de 131 kg/cm². El módulo de elasticidad promedio de la zona recta de ajuste fue de 341 408 kg/cm², con desviación estándar de 141 798 kg/cm². El tipo de falla que se presentó en las probetas fue debido a compresión en la zona superior. Los cálculos llevados a cabo para el estudio de estas probetas se hicieron considerando el momento de inercia de la sección transversal total.

Las reglillas de bambú con las que se elaboraron las probetas tuvieron una forma geométrica de barra, con sección transversal rectangular y eje longitudinal recto. Para formar la sección transversal rectangular fue necesario eliminar las zonas curvas externas e internas de las tiras del culmo del cual se generaron. Se observó que las fibras se concentraban de una manera más apreciable en la curvatura externa de las tiras de bambú,

lo cual coincide con la zona externa de los culmos.

El contenido de humedad se situó en el rango de 14 a 16 por ciento.

En general, los resultados obtenidos presentan una dispersión apreciable, lo cual hasta cierto punto era de esperarse por tratarse de un material orgánico cuyas características geométricas y propiedades mecánicas se ven afectadas por las condiciones ambientales en las que se desarrolla este material. En algunos casos, la variación fue mayor debido a que se presentó la falla en la zona de unión de las reglillas.

Los resultados obtenidos no hacen referencia al tramo del culmo del cual se elaboró la probeta ensayada –parte baja, media o alta– debido a que no se contó con esta información.

Considerando los resultados obtenidos en esta investigación, se demostró que el bambú de la especie *Bambusa oldhamii* Munro presenta buenas características físicas y mecánicas para elaborar tableros de bambú laminado, los que a su vez se pueden utilizar para el diseño y la fabricación de una gran variedad de objetos.

FUENTES CONSULTADAS

ASTMD 143-94 (2007). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. EUA: American Society for Testing and Materials (ASTM International).

ISO 22157-1. Bamboo (2004). *Determination of physical and mechanical properties*. International Standard.

Cortés Cortés, Juan Carlos (2009). *Evaluación de la influencia del tipo de pegante en el comportamiento mecánico de guadua laminada prensada pegada*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola.

Stamm, Jörg (2002). *Laminados de guadua*. Seminario-Taller Avances en la investigación sobre Guadua Pereira. Colombia.