

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAMINADOS DE BAMBÚ GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNT

José Juan Guerrero C.¹, Rafael Sabanero García²

RESUMEN

En este trabajo se determinaron las propiedades mecánicas básicas de probetas de bambú laminado, para lo cual se ensayaron probetas de bambú de la especie Guadua Angustifolia Kunt a tensión paralela a la fibra, compresión paralela y perpendicular a la fibra, cortante paralelo y perpendicular a la fibra, y flexión, basados en la normatividad de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Los resultados indican que este material podría ser una buena opción para la fabricación de elementos estructurales.

ABSTRACT

In this paper were tested several specimens of bamboo laminate of the species Guadua Angustifolia Kunt for tension, compression, shear, bending stresses according to the existent normativity of the American Society for Testing and Materials (ASTM). The results show that this material can be a good option for the production of structural elements.

INTRODUCCIÓN

El uso de nuevos materiales en ingeniería para la elaboración de elementos que satisfagan alguna necesidad es una de las acciones que se llevan a cabo en la actualidad como una medida de generar alternativas a los materiales tradicionales. 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, cortado en tiras a lo largo de su eje longitudinal para usarlo como elemento de relleno en las paredes de viviendas, con formas variadas para la elaboración de utensilios que satisfagan alguna necesidad de la vida común, etc. En la actualidad se está explorando el usarlo de diferentes maneras, siendo los laminados de bambú una opción potencial para la fabricación de diferentes elementos. En este sentido, el bambú laminado puede tener un alto potencial de uso en la fabricación de placas para mobiliario de casa y oficina, en elementos para piso (duela), en perfiles usados en la industria de la construcción que presenten una sección transversal similar a los existentes en la actualidad elaborados con otros materiales (madera., acero), etc. Como una forma de determinar los alcances y potencial de uso de los laminados de bambú, en este trabajo se obtuvieron las propiedades mecánicas básicas de probetas de bambú laminado de la especie Guadua Angustifolia Kunt, una de las especies de bambú que tiene diferentes usos estructurales y que en nuestro país se cultiva en varias regiones. Los ensayos mecánicos llevados a cabo en este estudio fueron tensión paralela a la fibra, compresión paralela y perpendicular a la fibra, cortante paralelo y perpendicular a la fibra, y flexión, basados en la normatividad de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Cada una de las probetas

¹ Profesor-Investigador, Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Materiales, Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, México 02200, D.F. jjgc@correo.azc.uam.mx

² Alumno de la carrera de Ingeniería Civil. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco..

para los ensayos a tensión se formaron a partir de una sola lámina y las probetas de los ensayos restantes se formaron con varias capas de láminas de bambú, alternando la dirección longitudinal entre capas sucesivas y manteniendo la dirección longitudinal de las láminas en una misma capa, similar a como se fabrica la madera contrachapada. Las láminas de bambú con que se formaron las probetas tenían una sección transversal rectangular y eje longitudinal recto. El adhesivo usado para pegar las láminas del bambú fue el Acetato de Polivinilo (PVA), pegamento de uso común para diferentes materiales. Los culmos de bambú de los cuales se extrajeron las láminas tenían una edad entre 5 y 7 años y características geométricas adecuadas para su uso en productos laminados con este material. Durante los ensayos se registró la carga aplicada y las deformaciones correspondientes, así como el comportamiento mecánico del material. Se determinó el contenido de humedad en porcentaje y la densidad del material.

LÁMINAS DE BAMBÚ

Las láminas de bambú tuvieron una forma geométrica de barra con sección transversal rectangular y eje longitudinal recto. Las láminas se obtuvieron cortando tiras de bambú en la dirección longitudinal del culmo. Una vez obtenidas estas tiras se eliminaba la curvatura natural que presentaban para que la sección transversal de las láminas tuviera una forma rectangular constante a lo largo de toda su longitud, por lo cual el espesor final, entre 0.5 cm y 1.3 cm, siempre fue inferior al espesor del culmo del que se obtuvieron y su ancho fue de aproximadamente 3cm (figura 1).

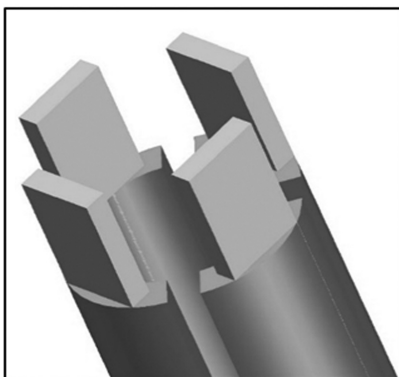


Figura 1. Láminas de bambú.

La maquinaria utilizada para el proceso de corte, cepillado y acabado de las láminas de bambú 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 llevaron a cabo ensayos a tensión paralela a la fibra (figura 2) en 10 probetas de bambú de la especie *Guadua Angustifolia* Kunt de acuerdo a la norma ISO22157, para lo cual se estipuló una longitud calibrada de 50.8mm en la zona central, montar la probeta en la máquina de ensaye, sujetar con las mordazas ambos extremos y aplicar la carga con una velocidad de 0.01 mm/seg hasta la falla de la probeta.

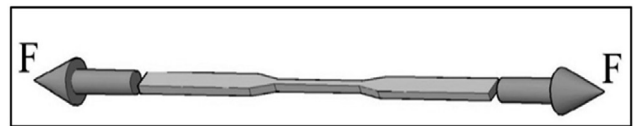


Figura 2. Esquema de ensayos de AnLTPa.

Las probetas tuvieron una sección transversal rectangular, con un espesor constante y ancho diferente en la zona central y en los extremos, siguiendo las recomendaciones para la elaboración de estas probetas establecidas en Guerrero, et al, 2014 (figura 3). Cada una de las probetas se formó a partir de una sola lámina de bambú.

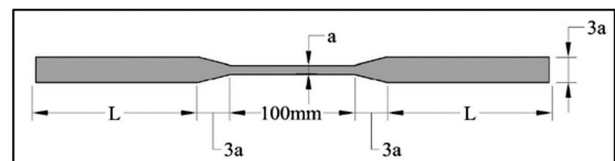


Figura 3. Geometría de las probetas AnLTPa.

En la figura 4 se muestra la gráfica esfuerzo – deformación unitaria (línea continua) obtenidas en los ensayos, así como una recta de ajuste de los datos obtenidos (línea interrumpida) de una de las probetas ensayadas. En la tabla 1 se indica el esfuerzo normal máximo y el módulo de elasticidad obtenidos con los datos provenientes de los ensayos. El esfuerzo se determinó con la ecuación 1.

$$\sigma = \frac{F_{\text{máx}}}{A} \quad (1)$$

dónde:

$F_{\text{máx}}$ es la carga máxima soportada por la probeta
 A es el área de la sección transversal de la probeta en la zona central de calibración
 El módulo de elasticidad se obtuvo con referencia a la recta de ajuste especificada para cada una de las gráficas obtenidas.

Tabla 1. Ensayes a tensión paralela a la fibra en probetas de bambú laminado.

Probeta	Esfuerzo normal máximo (MPa)	Módulo de elasticidad E (MPa)
AnLTPa01	90.08	4,483.74
AnLTPa02	56.19	2,669.35
AnLTPa03	50.00	3,408.11
AnLTPa04	38.83	2,378.15
AnLTPa05	99.54	4,584.59
AnLTPa06	69.29	3,105.78
AnLTPa07	31.93	2,544.06
AnLTPa08	64.45	2,670.91
AnLTPa09	54.35	3,526.70
AnLTPa10	49.90	2,941.69

El esfuerzo normal máximo promedio fue de 60.46 MPa con desviación estándar de 21.23 MPa; el módulo de elasticidad promedio fue de 3,231.31 MPa con desviación estándar de 778.04 MPa. La falla en las probetas se presentó en la zona central debida al esfuerzo normal a tensión inducido en esta zona (figura 5), la cual ocurrió de manera súbita con una deformación muy pequeña antes de que esta se genere.

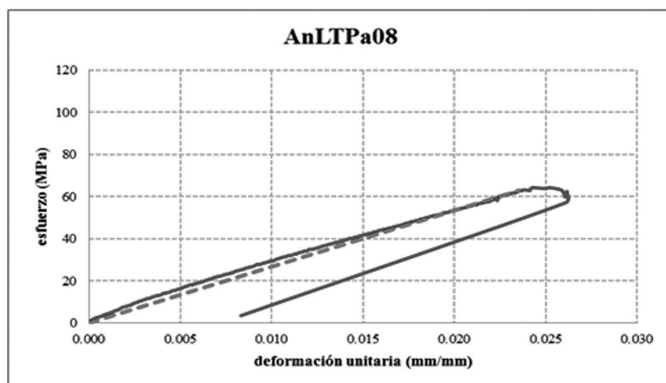
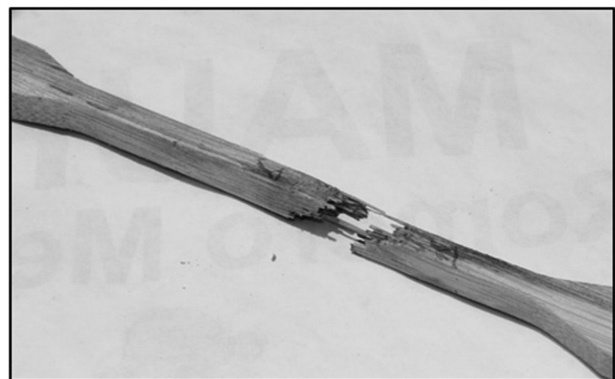


Figura 4. Gráfica de AnLTPa08.

ENSAYES A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Se llevaron a cabo ensayos a compresión paralela a la fibra en 10 probetas. Se aplicó carga creciente de compresión hasta la falla de la probeta y se registró la carga y la deformación correspondiente en diferentes etapas, así como su comportamiento estructural. En la figura 6 se muestran las dimensiones de la probeta y el esquema general de ensayos. Se formó la probeta con varias capas de láminas de bambú alternando la dirección longitudinal de estas. Se colocó una primera capa con la dirección longitudinal de la lámina paralela a la aplicación de la carga y la siguiente con la dirección longitudinal perpendicular a ella. La dirección longitudinal de las capas externas coincidían con la dirección de la carga, por lo que el número de capas siempre fue una cantidad impar y el número de capas no fue constante para todas las probetas, ya que no todas las láminas que se usaron tenían el mismo espesor. Una vez que se cortaron las láminas al tamaño de la probeta, se formó la probeta pegando las láminas entre ellas por medio de PVA (figura 7). Cuando el pegamento secaba, se ajustaban las dimensiones finales de la sección transversal y la longitud para que fueran similares a las originalmente planeadas.



Falla de la probeta AnLTPa04.

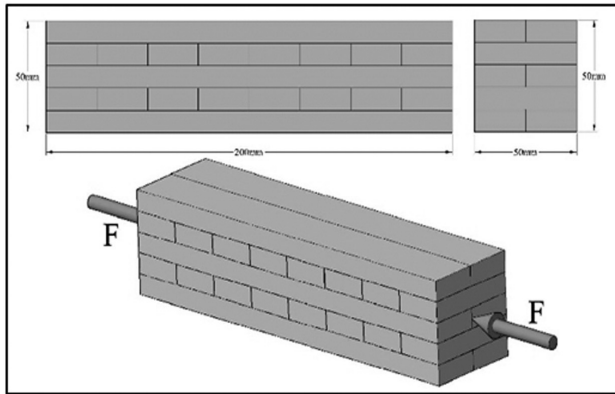


Figura 6. Esquema de ensayos de AnLCPa.



Figura 7. Fabricación de probetas AnLCPa.

En la figura 8 se muestra la gráfica esfuerzo – deformación unitaria (línea continua) obtenidas en los ensayos, así como una recta de ajuste de los datos obtenidos (línea interrumpida) de una de las probetas ensayadas. En la tabla 2 se indican el esfuerzo normal y el módulo de elasticidad obtenidos con los datos provenientes de los ensayos. El esfuerzo se determinó con la ecuación 2.

$$\sigma = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \quad (2)$$

dónde:

$F_{m\acute{a}x}$ es la carga máxima soportada por la probeta
 A es el área de la sección transversal de la probeta en la zona central de calibración

Tabla 2. Tabla de Ensayes a compresión paralela a la fibra en probetas de bambú laminado

Probeta	Esfuerzo normal máximo (MPa)	Módulo de elasticidad E (MPa)
AnLCPa01	23.33	3,944.13
AnLCPa02	21.78	3,933.51
AnLCPa03	27.53	4,620.48
AnLCPa04	25.84	4,374.60
AnLCPa05	24.70	4,345.60
AnLCPa06	22.60	4,096.26
AnLCPa07	21.71	3,186.67
AnLCPa08	23.68	3,949.91
AnLCPa09	24.62	4,277.46
AnLCPa10	22.40	3,824.25

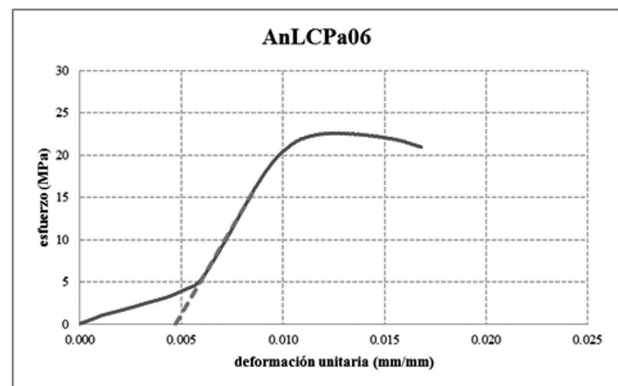


Figura 8. Gráfica de AnLCPa08



Figura 9. Falla de la probeta AnLCPa02.

El módulo de elasticidad se obtuvo con referencia a la recta de ajuste especificada para cada una de las gráficas obtenidas.

El esfuerzo normal máximo promedio fue de 23.82 MPa con desviación estándar de 1.82 MPa; el módulo de elasticidad promedio fue de 4,055.29

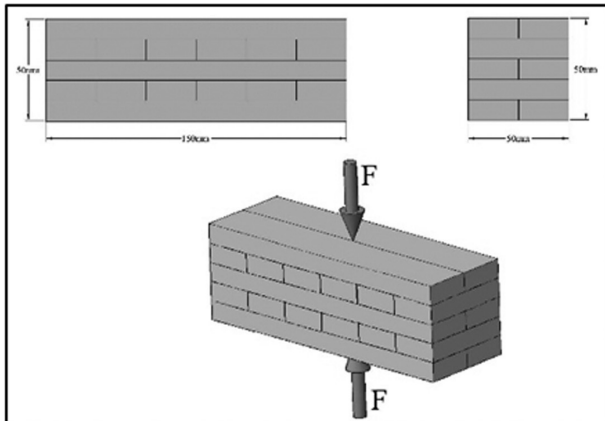


Figura 10. Esquema de ensayos de AnLCPe.

MPa con desviación estándar de 394.81 MPa. La falla en las probetas se inició con el aplastamiento de las diferentes capas que la integraron, y a continuación la separación entre ellas, que no necesariamente coincidió en la zona de unión entre las capas, es decir, en el pegamento usado para unir las, sino en las fibras de las láminas de bambú vecinas a estas zonas (figura 9), la cual ocurrió de manera gradual.

ENSAYES A COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Se llevaron a cabo ensayos a compresión perpendicular a la fibra en 10 probetas. Se aplicó carga creciente de compresión hasta la falla de la probeta y se registró la carga y la deformación correspondiente en diferentes etapas, así como su comportamiento estructural. De acuerdo a las normas aplicadas, se tomó como carga máxima aquella que producía una deformación paralela a la dirección de la aplicación de la carga de 2.5 mm. En la figura 10 se muestran las dimensiones de la probeta y el esquema general de ensayos. Se formó la probeta con varias capas de láminas de bambú alternando la dirección longitudinal de estas. Se colocó una primera capa con la dirección longitudinal de la lámina paralela a la dirección longitudinal de la probeta y la siguiente con la dirección longitudinal perpendicular a ella. En todas las probetas las capas externas mantuvieron la dirección longitudinal de las láminas coincidiendo con la dimensión mayor de las probetas, por lo que el número de capas siempre fue una cantidad impar y el número de capas no fue constante para todas las

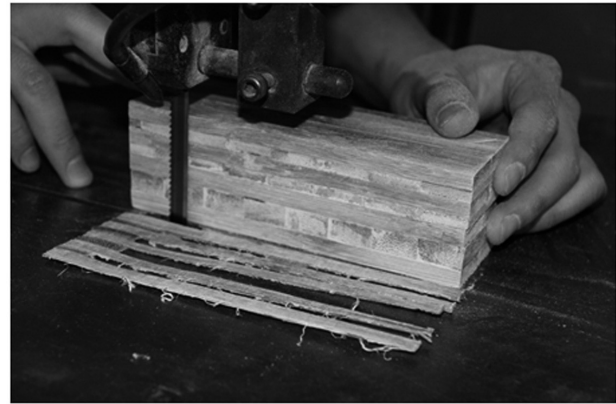


Figura 11. Fabricación de probetas de AnLCPe.

probetas, ya que no todas las láminas que se usaron tenían el mismo espesor. Una vez que se cortaron las láminas al tamaño de la probeta, esta se formó pegando las láminas entre ellas por medio de PVA (figura 11). Cuando el pegamento secaba, se ajustaban las dimensiones finales de la sección transversal y la longitud para que fueran similares a las originalmente planeadas.

En la figura 12 se muestra la gráfica esfuerzo – deformación unitaria (línea continua) obtenidas en los ensayos, así como una recta de ajuste de los datos obtenidos (línea interrumpida) de una de las probetas ensayadas. En la tabla 3 se indican el esfuerzo normal y el módulo de elasticidad obtenidos con los datos provenientes de los ensayos. El esfuerzo se determinó con la ecuación 3.

$$\sigma = \frac{F_{\text{máx}}}{A} \quad (3)$$

dónde:

$F_{\text{máx}}$ es la carga máxima soportada por la probeta

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

El módulo de elasticidad se obtuvo con referencia a la recta de ajuste especificada para cada una de las gráficas obtenidas.

El esfuerzo normal máximo promedio fue de 3.53 MPa con desviación estándar de 0.94 MPa; el módulo de elasticidad promedio fue de 69.42 MPa con desviación estándar de 16.54 MPa. Los ensayos llevados a cabo tomaron como referencia de la capacidad de carga una deformación en la dirección de la aplica-

Tabla 3. Ensayes a compresión paralela a la fibra en probetas de bambú laminado

Probeta	Esfuerzo normal máximo (MPa)	Módulo de elasticidad E (MPa)
AnLCPe01	5.40	97.20
AnLCPe02	2.54	50.90
AnLCPe03	2.29	45.90
AnLCPe04	3.39	67.89
AnLCPe05	3.85	77.05
AnLCPe06	3.78	75.57
AnLCPe07	3.94	78.75
AnLCPe08	2.74	54.76
AnLCPe09	2.98	59.59
AnLCPe10	4.33	86.63

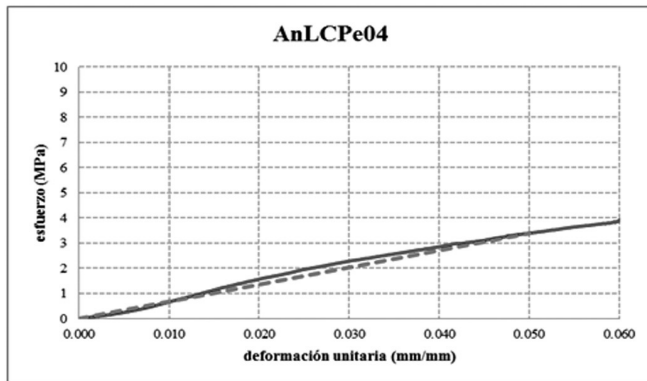


Figura 12. Gráfica de AnLCPe04.



Figura 13. Aspecto final en probetas AnLCPe.

ción de la carga de 2.5mm, generándose una zona deformada en la probeta con la forma del área proyectada del dispositivo de carga utilizado (figura 13), la cual ocurrió de manera gradual.

ENSAYES A CORTANTE PARALELO A LA FIBRA

Se llevaron a cabo ensayos a cortante paralelo a la fibra en 10 probetas. Se aplicó carga creciente hasta la falla de la probeta y se registró la carga y el comportamiento estructural que se presentó durante el ensaye. En la figura 14 se muestran las dimensiones de la probeta y el esquema general de ensayes.

Se formó la probeta con varias capas de láminas de bambú alternando la dirección longitudinal de estas. Se colocó una primera capa con la dirección longitudinal de la lámina paralela a la dirección de la carga y la siguiente con la dirección longitudinal perpendicular a ella. Todas las probetas mantuvieron la misma orientación de las capas externas y se usaron 7 capas para su elaboración. Una vez que se cortaron las láminas al tamaño de la probeta, esta se formó pegando las láminas entre ellas por medio

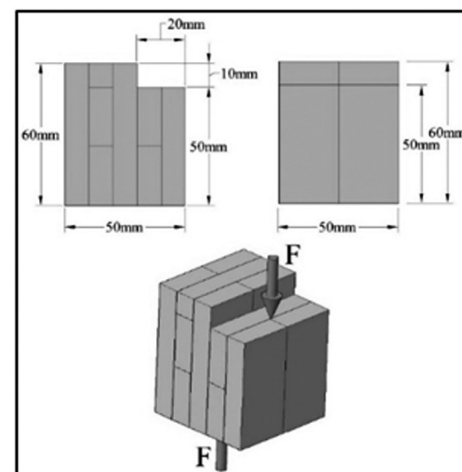


Figura 14. Esquema de ensayos de AnLVPa.



Figura 15. Fabricación de probetas AnLVPa.

de PVA (figura 15). Cuando el pegamento secaba, se ajustaban las dimensiones finales para que fueran similares a las originalmente planeadas.

En la tabla 4 se indica el esfuerzo cortante máximo obtenido con los datos provenientes de los ensayos. El esfuerzo cortante se determinó con la expresión 4.

$$\tau = \frac{F_{\text{máx}}}{A} \quad (4)$$

dónde:

$F_{\text{máx}}$ es la carga máxima soportada por la probeta
A es el área de la zona de falla

El esfuerzo cortante máximo promedio fue de 4.01 MPa con desviación estándar de 0.57 MPa. La falla se presentó paralela a la aplicación de la carga, generán-

Tabla 4. Ensayes a cortante paralelo a la fibra en probetas de bambú laminado.

Probeta	Esfuerzo cortante máximo (MPa)
AnLVPa01	4.18
AnLVPa02	4.20
AnLVPa03	4.12
AnLVPa04	3.50
AnLVPa05	5.02
AnLVPa06	4.10
AnLVPa07	4.20
AnLVPa08	4.41
AnLVPa09	3.41
AnLVPa10	2.98



Figura 16. Aspecto final en probetas AnLVPe.

dose en las proximidades de la zona de unión de las capas (figura 16), la cual ocurrió de manera gradual.

ENSAYES A CORTANTE PERPENDICULAR A LA FIBRA

Se llevaron a cabo ensayos a cortante perpendicular a la fibra en 10 probetas. Se aplicó carga creciente hasta la falla de la probeta y se registró la carga y el comportamiento estructural que se presentó durante el ensaye. En la figura 17 se muestran las dimensiones de la probeta y el esquema general de ensayos. Se formó la probeta con varias capas de láminas de bambú alternando la dirección longitudinal de las capas, todas ellas perpendiculares a la dirección de aplicación de la carga. Las probetas mantuvieron la misma orientación de las capas externas y se usaron 7 capas para su elaboración. Una vez que se cortaron las láminas al tamaño de la probeta, esta se formó pegando las láminas entre ellas por medio de PVA (figura 18). Cuando el pegamento secaba, se ajustaban las dimensiones finales para que fueran similares a las originalmente planeadas.

En la tabla 5 se indican las características geométricas de la sección transversal de las probetas, el número de capas que la integraron, la fuerza normal máxima, el esfuerzo normal máximo y el módulo de elasticidad obtenidos con los datos provenientes de los ensayos. El esfuerzo normal se determinó con la expresión 5.

$$\tau = \frac{F_{\text{máx}}}{A} \quad (5)$$

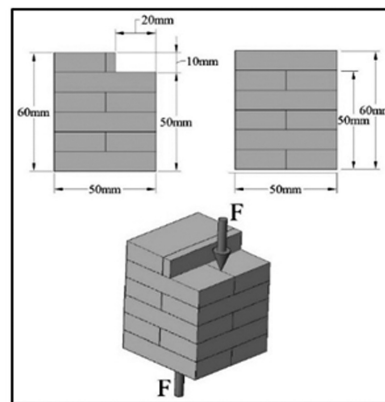


Figura 17. Esquema de ensayos de AnLVPe.



Figura 18. Fabricación de probetas AnLVPe.



Figura 19. Aspecto final en probetas AnLVPe.

Tabla 5 Ensayes a cortante perpendicular a la fibra en probetas de bambú laminado.

Probeta	Esfuerzo cortante máximo (kg/cm ²)
AnLVPe01	3.83
AnLVPe02	2.08
AnLVPe03	3.14
AnLVPe04	2.00
AnLVPe05	5.19
AnLVPe06	4.25
AnLVPe07	4.49
AnLVPe08	3.98
AnLVPe09	2.79
AnLVPe10	4.26

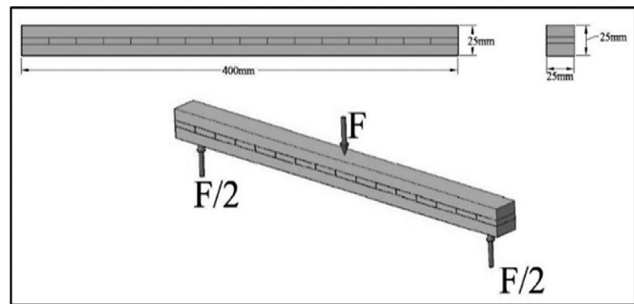


Figura 20. Esquema de ensayos AnLM.

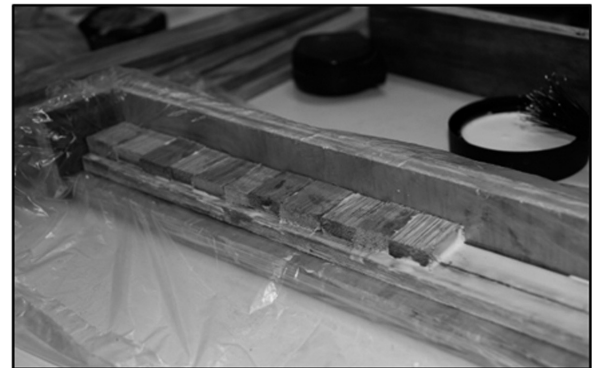


Figura 21. Fabricación de probetas AnLM.

dónde:

$F_{\text{máx}}$ es la carga máxima soportada por la probeta
 A es el área de la zona de falla

El esfuerzo cortante máximo promedio fue de 3.60 MPa con desviación estándar de 1.06 MPa. La falla se presentó en la zona de unión de las diferentes capas (figura 19), separándose las capas que se encontraban junto a la zona de carga.

ENSAYES A FLEXIÓN

Se llevaron a cabo ensayos a flexión en 10 probetas. Se aplicó carga transversal creciente hasta la falla de la probeta, se registró la carga y el desplazamiento correspondiente en la zona central, así como el comportamiento estructural que se presentó durante el

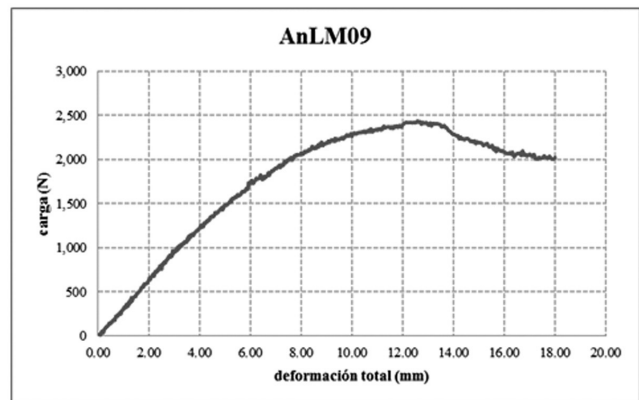


Figura 22. Gráfica F-Δ de AnLM09

ensaye. En la figura 20 se muestran las dimensiones de la probeta y el esquema general de ensayos, la longitud entre apoyos fue de 355.60 mm.

La probeta se formó con tres capas de láminas de bambú alternando la dirección longitudinal de estas. Las capas exteriores se pusieron con el eje longitudinal de las láminas coincidiendo con el eje longitudinal de las probetas y la capa intermedia perpendicular a las exteriores. Una vez que se cortaron las láminas al tamaño de la probeta, esta se formó pegando las láminas entre ellas por medio de PVA (figura 21). Cuando el pegamento secaba, se ajustaban las dimensiones finales de la sección transversal y la longitud para que fueran similares a las originalmente planeadas. En la figura 22 se muestra la gráfica carga F -deflexión vertical Δ al centro del claro obtenidas en los ensayos de una de las probetas.

En la tabla 6 se indica el esfuerzo normal máximo y el módulo de elasticidad obtenidos con los datos provenientes de los ensayos. El esfuerzo se determinó con la ecuación 6.

$$\sigma = \frac{3F_{\text{máx}}L}{2bh^2} \quad (6)$$

dónde:

$F_{\text{máx}}$ es la carga máxima soportada por la probeta

L es la longitud entre apoyos de la viga

b es el ancho de la sección transversal

h es el peralte de la sección transversal

El módulo de elasticidad se determinó con la ecuación 7.

Tabla 6. Ensayes a flexión en probetas de bambú laminado.

Probeta	Esfuerzo normal máximo (MPa)	Módulo de elasticidad E (MPa)
AnLM01	62.60	7,363.01
AnLM02	58.20	6,551.75
AnLM03	80.44	9,957.92
AnLM04	75.03	8,669.46
AnLM05	77.35	8,629.58
AnLM06	68.65	9,270.53
AnLM07	63.81	7,829.50
AnLM08	72.50	8,694.42
AnLM09	72.05	7,122.09
AnLM10	79.17	9,125.91

$$E = \frac{F_{LP} L^3}{4 \Delta_{LP} b h^3} \quad (7)$$

dónde:

F_{LP} es la carga en el límite proporcional

Δ_{LP} es el desplazamiento vertical correspondiente a la carga en el límite proporcional

El esfuerzo normal máximo promedio fue de 70.98 MPa, con desviación estándar de 7.51 MPa. El módulo de elasticidad promedio fue de 8,321.42 MPa, con desviación estándar de 1,070.41 MPa. El tipo de falla que se presentó en las probetas fue debido a compresión en la zona superior, aunque en algunos casos estuvo acompañada por la separación de la capa intermedia con las capas superior e inferior y por la fractura de las láminas de la capa intermedia (figura 23). Es importante hacer notar que el momento de inercia utilizado para los cálculos es el de la sección transversal total.



Figura 23. Aspecto final en probetas AnLM.

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD DEL MATERIAL

Se obtuvo el contenido de humedad en porcentaje y la densidad del material de los culmos utilizados para la elaboración de las probetas. El contenido de humedad del material en porcentaje se hizo de acuerdo a lo señalado por la norma ISO22157, para lo cual se obtienen piezas de los culmos utilizados para la elaboración de las probetas, determinar el peso de las piezas después de haber ensayado las probetas y someterlas posteriormente a una temperatura de

103 ± 2 °C durante 24 horas. Finalmente se pesan las piezas. Se determinó el contenido de humedad en porcentaje con la siguiente expresión 8.

$$H_m = \frac{p_h - p_s}{p_s} \times 100 \quad (8)$$

dónde:

p_h es el peso de la pieza antes del secado
 p_s es el peso de la pieza después del secado

La densidad del material se obtuvo con relación al peso seco del material aplicando la siguiente expresión:

$$D_m = \frac{p_s}{V} \quad (9)$$

dónde:

V es el volumen de la pieza

El contenido de humedad tuvo un valor promedio de 10.84%, con una desviación estándar de 0.63%. La densidad del material tuvo un valor promedio de 5.41 kN/m³, con una desviación estándar de 0.68 kN/m³.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Se llevaron a cabo ensayos mecánicos en probetas de laminados de bambú basados en la normatividad ASTM. Los ensayos fueron tensión paralela a la fibra, compresión paralela y perpendicular a la fibra, cortante paralelo y perpendicular a la fibra, y flexión. En la tabla 7 se indican los esfuerzos máximos promedio para cada uno de los

Tabla 7. Ensayes a flexión en probetas de bambú laminado.

Probetas	Esfuerzo máximo promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio E (MPa)
AnLTPa	60.46	3,231.31
AnLCPa	23.82	4,055.29
AnLCPe	3.53	69.42
AnLVPa	4.01	---
AnLVPe	3.60	---
AnLM	70.98	8,321.42

ensayos llevados a cabo, así como el módulo de elasticidad promedio para aquellas pruebas en que se determinó.

- En los ensayos de las probetas sometidas a tensión paralela a la fibra (AnLTPa) la gráfica esfuerzo deformación unitaria muestra un comportamiento lineal prácticamente hasta la falla, presentándose la falla por tensión en la zona central, la cual ocurrió de manera súbita con una deformación muy pequeña antes de que esta se genere.
- En los ensayos de las probetas sometidas a compresión paralela a la fibra (AnLCPa) la falla se inició con el aplastamiento de las diferentes capas que la integraron y a continuación la separación entre ellas, la cual no necesariamente se presentó por la falla del pegamento usado para unir las.
- En los ensayos de las probetas sometidas a compresión perpendicular a la fibra (AnLCPe) la gráfica esfuerzo deformación unitaria muestra un comportamiento lineal en todo su registro, deformándose al aplastamiento la probeta de forma gradual.
- En los ensayos de las probetas sometidas a cortante paralelo a la fibra (AnLVPa) la falla se presentó paralela a la aplicación de la carga, generándose en las proximidades de la zona de unión de las capas, la cual ocurrió de manera gradual.
- En los ensayos de las probetas sometidas a cortante perpendicular a la fibra (AnLVPe) la falla se presentó en las proximidades de la zona de unión de las capas que se encontraban cercanas a la zona de carga.
- En los ensayos de las probetas sometidas a flexión (AnLM) el tipo de falla que se presentó en las probetas fue debido a compresión en la zona superior, aunque en algunos casos estuvo acompañada por la separación de la capa intermedia con las capas superior e inferior y por la fractura de las láminas de la capa intermedia. El momento de inercia utilizado para los cálculos es el de la sección transversal total.
- Las láminas 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 concen-

traban 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 tuvo un valor promedio de 10.84%, con un valor mínimo de 9.61% y un valor máximo de 12.77%. La desviación estándar fue de 0.63%.
- La densidad del material tuvo un valor promedio de 5.41 kN/m³, con un valor mínimo de 3.82 kN/m³ y un valor máximo de 7.01 kN/m³. La desviación estándar fue de 0.68 kN/m³.
- En general, los resultados obtenidos presentan una dispersión apreciable, lo cual hasta cierto punto es de esperarse por tratarse de un material orgánico cuyas características geométricas y propiedades mecánicas se ve influenciado por las características ambientales en las cuales se desarrolla este material.
- 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.

REFERENCIAS

ISO 22157-1. Bamboo —“Determination of physical and mechanical properties”. INTERNATIONAL STANDARD. First edition 2004-06-01.

Guerrero Correa José Juan, Quiroz Soto Arturo y Terán Gilmore Amador. “Propiedades mecánicas del bambú”. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, 2014, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Norma ASTM D 143-94 ,2000, “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber” American Society for Testing and Materials (ASTM International).