

# Caracterización y evaluación de la madera de diámetros menores de *Pinus maximinoi* para la fabricación de secciones compuestas como elemento de construcción

María Elena Ortiz P. & Luis Quiroa

gigeortiz@yahoo.com

Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** La madera constituye hoy día uno de los recursos renovables de mayor importancia. Se ha limitado la madera en ocasiones a usos poco trascendentales. En el ámbito constructivo se le ha otorgado usos secundarios como formaletas o parales, siendo el uso más común en nuestro medio la elaboración de jabas de madera para tomates, polines, y palos de escoba entre otros. El presente estudio formula el uso de la madera juvenil (diámetros menores) *Pinus maximinoi* como un elemento estructural de carácter principal otorgándole de esta manera un valor agregado al uso del mismo. El presente proyecto consistió en promover la construcción de vigas compuestas de diámetros menores (madera juvenil) aunado a vigas de sección compuesta madera madura de *Pinus maximinoi* como una solución alterna a las convencionales. Se requirió el diseño de las vigas en madera laminada en diámetros menores para desarrollar los especímenes de secciones compuestas y para determinar la aptitud de elemento compuesto y caracterización del *Pinus maximinoi*. Se evaluaron las características anatómicas, físicas y mecánicas de los diámetros menores (15-25 cm) de *Pinus maximinoi* y se determinó su aptitud en la fabricación de elementos compuestos con fines estructurales como producto de valor agregado.

**PALABRAS CLAVE:** *Pinus maximinoi*, polines, diámetros menores, losas compuestas, madera laminada

**Evaluation of *Pinus maximinoi* wood from small diameter tree components used as construction elements in composite sections**

**ABSTRACT:** Wood constitutes one of the renewable resources of greatest importance. Wood has been limited to little transcendental uses. In the field of construction, wood has been given secondary uses like formwork or props, being the most common use the elaboration of wooden crates for tomatoes, poles, and broomsticks among others. The present study formulates the use of the juvenile wood of *Pinus maximinoi* as a main structural element giving thus an added value. The present project consisted in promoting the construction of composite sections consisting of a wooden laminated beam composed of juvenile and mature wood of *Pinus maximinoi* as an alternate solution to the conventional ones. Laminated wood beams were designed in order to characterize the suitability of the compounded element. The anatomical, physical and mechanical characteristics of the juvenile wood (15-25 cm) of *Pinus maximinoi* were evaluated and its aptitude in the manufacture of composite structural elements as a added value product, was established.

**KEY WORDS:** *Pinus maximinoi*, poles, juvenile wood, mature wood, mixed slab, laminated wood

## Introducción

La madera de diámetros menores (madera juvenil) es la que posee un diámetro entre 10 y 20 cm en el extremo más delgado de una troza. Esta madera es producto de los tratamientos silviculturales como podas y raleos. En la actualidad en Guatemala la industria forestal primaria está fundamentalmente orientada a la producción de madera aserrada (principalmente de coníferas), se caracteriza por poseer un bajo nivel tecnológico que no permite transformar

los diámetros menores con rentabilidad, situación que determina que los compradores exijan un diámetro superior a ocho pulgadas en la punta de la troza. Eso implica un fuerte desperdicio de madera en el bosque natural y un limitado uso comercial para las trozas de diámetro menores a 20 cm.

Desde el punto de vista de la administración, la industria forestal no ha logrado desarrollar las diferentes etapas del proceso administrativo que se reflejan en una oferta irregular de materia prima, un bajo nivel tecnológico, una demanda inestable, una baja capacidad operativa del personal, bajos

niveles de inversión y bajo nivel de desarrollo empresarial (Kiuru, 2003).

Álvarez, M. citado por el INAB en su publicación (2008) analizó la cantidad de madera demandada y la capacidad instalada por la industria de aserrío de diámetros menores (rango de 8 a 18 cm) de las especies *Pinus maximinoii* H.E. Moore (Pinaceae), *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl (Pinaceae), *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénéclauze) (Pinaceae) y *Tectona grandis* L.f. (Verbenaceae) provenientes de la región forestal II, Guatemala, integrada por los departamentos de Alta y Baja Verapaz y el municipio de Ixcán, Quiché. La metodología aplicada consistió en recopilar información, identificar el área y el grupo de interés, identificando 33 industrias a encuestar para la obtención de los siguientes datos: La estimación de demandada es de 174,293.76 m<sup>3</sup>/año, aproximadamente 14,524.48 m<sup>3</sup>/mes, de esta sumatoria 12,081.40 m<sup>3</sup> pertenecen a la especie de *Pinus maximinoii*, 2,203.13 m<sup>3</sup> a la especie de *Pinus oocarpa*, 225.13 m<sup>3</sup> a la especie de *Pinus caribaea* y 14.82 m<sup>3</sup> de la especie *Tectona grandis*. La capacidad instalada para procesar diámetros menores es de 19,573.19 m<sup>3</sup>/mes, 234,878.3 m<sup>3</sup>/año, lo que constituye una utilización equivalente al 74.21% de la capacidad instalada. Asimismo, determinó que los productos obtenidos de diámetros menores, para las industrias evaluadas, son 66% de tarimas, el 15% cajas de tomate, camastrones el 13%, madera impregnada 3% y cabos un 3%. De las industrias evaluadas, 70% mencionan que si están capacitados para procesar nuevos productos de diámetros menores que demandara el mercado, el resto no tienen la maquinaria ni la infraestructura necesaria para su elaboración.

El desarrollo de la madera juvenil se da durante los primeros años de crecimiento de los árboles (aproximadamente hasta los veinte o veinticinco años), por esta razón, la madera extraída del primer y segundo raleo posee una gran proporción de madera juvenil, por lo tanto, no posee las mismas características y propiedades físicas y mecánicas que la madera proveniente de un bosque maduro posee y ya han sido determinadas. Por tanto, a la madera juvenil no podrá dársele los mismos usos que se le dan a la madera proveniente de bosques maduros. Es necesario determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera joven, proveniente de los raleos de plantaciones forestales, para determinar usos alternativos a los que actualmente se le dan, teniendo en consideración el área del fuste de donde provenga (albura o duramen). Al determinar usos alternativos para la madera proveniente de los raleos efectuados en las plantaciones, considerando sus propiedades físicas y mecánicas se puede llegar a suplir la demanda de madera en el mercado nacional para determinadas aplicaciones e incrementar el aporte al mercado internacional, disminuyendo en un futuro la presión ejercida sobre los bosques naturales, principales fuentes de origen de la madera empleada.

En la industria, las exigencias de las propiedades físicas y mecánicas son tan diversas, que una de estas cualidades, puede significar una desventaja a veces y otras puede ser una ventaja, por ejemplo, la madera empleada para la elaboración de cerillos, mondadientes o palillos, lápices, paletas para helados, cajas, tarimas, marcos, molduras, etc. no precisan de las mismas propiedades. En la actualidad, el único mercado establecido para los diámetros menores de pino es el de tarimas o pallets, existen otros mercados aunque con menor predominancia como cajas de tomate. Por otro lado, el precio de un producto de mayor valor agregado, como elementos compuestos se encuentra cercano a los 6 Q/PT (Quetzales por pie tablar) y además se

garantiza un mayor tiempo de vida de la madera en uso. En conclusión el aumento significativo del precio de mercado junto con la reducción de costos de fabricación de elementos compuestos puede ser una alternativa viable para aumentar la renta del suelo de la actividad forestal asegurando que dicho territorio no será utilizado en el futuro para otras actividades no agrícolas.

La madera laminada se define como un material de innovación en la construcción formado por láminas de 3/4 de pulgadas de espesor y longitudes diversas encoladas para la obtención de elementos resistentes de sección generalmente rectangular. Se caracteriza por ser un material liviano, homogéneo, estable, de un mínimo mantenimiento, altamente resistente al fuego, aislante térmico - acústico y su prefabricación en origen permite un montaje rápido y uso estructural y arquitectónico apto para cubrir grandes luces.

El desarrollo de secciones compuestas madera laminada con madera juvenil y madura se justifica como desarrollo del trabajo a elaborar ya que posee la ventaja de ser un sistema económico, novedoso y con capacidad de cubrir luces grandes en losas. Con esta investigación, se proporcionará información técnica para las distintas industrias existentes en la región y en el país, logrando una diversificación en los productos obtenidos con la madera proveniente de plantaciones forestales jóvenes.

## Materiales y Métodos

Las propiedades físicas a medir fueron la densidad básica, anhidra y saturada medida en base a la norma ASTM D 2395 - 02. Las contracciones: radial, tangencial y longitudinal serán llevadas a cabo en base a la norma ASTM D143 - 94. Las propiedades mecánicas a determinar fueron: Módulo de elasticidad, módulo de ruptura en base a la norma ASTM D 2555 - 98. También se determinarán las propiedades de flexión estática, compresión paralela y perpendicular a la fibra. Todas las anteriores siguiendo la metodología expuesta en la norma ASTM D143 - 94.

Las pruebas de laboratorio se dividieron en varias etapas. En la primera etapa se utilizaron especímenes de madera juvenil, dimensiones de probetas empleadas según Norma ASTM D 143-94. Las condiciones se muestran en el cuadro 1 y, en la gráfica 1, se ilustran las probetas de ensayo.

En la etapa siguiente se emplearon especímenes de madera juvenil en secciones compuestas. Se determinó el número y espesor de láminas con el propósito de definir el peralte en: (a) las vigas testigos constituidas de 100 % de láminas de *Pinus maximinoii* maduro, y (b) las vigas compuestas de prueba. Se determinó la longitud de las vigas en función de la capacidad de los gatos hidráulicos. (Capacidad máxima de 50 mil libras). Se determinó el ancho de las vigas en función de dimensiones netas disponibles de 3 1/2 pulgadas (89 milímetros).

**Cuadro 1.** Probetas de madera laminada.

Prueba Realizada	Dimensión de la barra en mm
Flexión Estática	50 x 50 x 760
Compresión paralela a la fibra	50 x 50 x 200
Compresión perpendicular a la fibra	50 x 50 x 150
Dureza radial, tangencial y longitudinal	50 x 50 x 150

Finalmente se fabricaron vigas en madera laminada: (a) tres vigas testigo 100 % de madera madura, y (b) tres vigas compuestas con un núcleo en madera juvenil. Las vigas fueron conformadas por 12 láminas de 25 milímetros de grosor para una altura total de  $12 \times 25 = 300$  milímetros.

Se admitió que la distribución de los esfuerzos es lineal - rango elástico de los esfuerzos de acuerdo a la gráfica 2.

Se admiten las definiciones siguientes:

$\sigma_{xm}$  es el esfuerzo normal máximo en la madera madura (fibra superior, respectivamente inferior),  $\sigma_{xj}$  es el esfuerzo normal máximo en la madera juvenil.

Relación geométrica entre esfuerzos

$$\frac{\sigma_{xm}}{\frac{h}{2}} = \frac{\sigma_{xj}}{\frac{h}{6}}$$

$$\sigma_{xm} = 3 \sigma_{xj}$$

$$\sigma_{xj} = \frac{1}{3} \sigma_{xm} \text{ o } 33\% \text{ de } \sigma_{xm}$$

Eso significa que el esfuerzo máximo en la madera juvenil es el 33 % del esfuerzo normal máximo de la madera madura.

En lugar de una repartición 1/3 de un núcleo con madera juvenil y 2/3 con madera madura, o sea 4 laminas de madera madura, 4 de madera juvenil y 4 de madera madura (repartición 4/4/4), se podría haber escogido una repartición 3/6/3.

En este caso, la relación entre esfuerzos hubiera sido:

$$\frac{\sigma_{xm}}{\frac{h}{2}} = \frac{\sigma_{xj}}{\frac{h}{4}}$$

$$\sigma_{xm} = 2 \sigma_{xj}$$

$$\sigma_{xj} = \frac{1}{2} \sigma_{xm} \text{ o } 50\% \text{ de } \sigma_{xm}$$

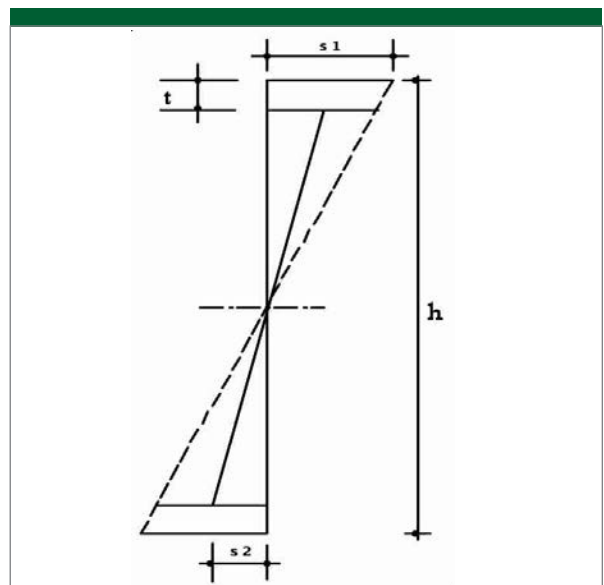
Se decidió no considerar este caso por la cercanía de los esfuerzos de la madera juvenil a sus valores últimos.

**Cuadro 2.** Vigas en madera 100 % madura.

	P ultimo (kN)	$\sigma$ ultimo (N/mm <sup>2</sup> )
Viga 1	58.69	22.29
Viga 2	41.92	16.43
Viga 3	67.08	25.24
Promedio		21.32



**Gráfica 1.** Probetas de pruebas previas a ser ensayadas



**Gráfica 2.** Distribución de los esfuerzos en la sección

## Resultados

Los resultados con las vigas se presentan en los cuadros 2 y 3. La viga No. 2 falló por agrietamiento inicial en el pegamento por lo que se consideramos que el resultado no es representativo. Al estudiar las vigas 1 y 3 únicamente, se nota que el esfuerzo promedio fue de  $23.77 \text{ N/mm}^2$ .

**Cuadro 3.** Viga compuesta 33 % madera juvenil, 67 % de madera madura.

	P ultimo (kN)	$\sigma$ ultimo (N/mm <sup>2</sup> )
Viga 4	58.69	24.34
Viga 5	60.09	24.60
Viga 6	57.30	24.93
Promedio		24.62



Gráfica 3. Falla de la viga # 2.



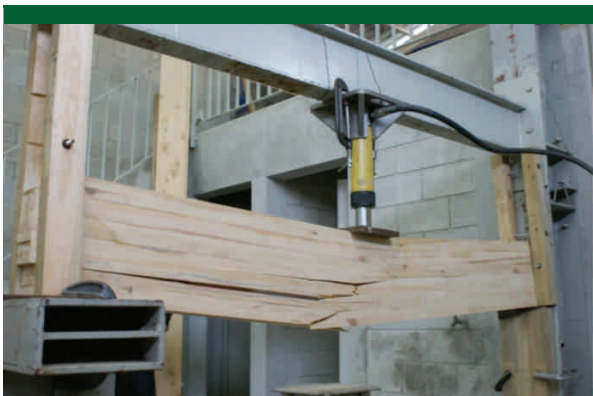
Gráfica 6. Ruptura típica por flexión (2).



Gráfica 4. Flexión típica.



Gráfica 7. Ruptura típica por flexión (3.).



Gráfica 5. Ruptura típica por flexión (1).

ocurre cuando las fibras extremas de la zona en tensión alcanzan su límite a la tensión y cuando la zona comprimida está todavía en su rango lineal elástico. Ocurre en vigas en madera cuya resistencia a la tensión es menor que su resistencia a la compresión. La ruptura es de tipo frágil; y (b) ruptura en la madera cuando la sección transversal se encuentra en un estado elástico-plástico. Eso ocurre cuando los esfuerzos en la fibra extrema de la zona de tensión alcanza su límite de tensión después de una cierta plastificación en la zona comprimida, sin que la zona de compresión haya alcanzado su deformación específica última por compresión. Aun que haya una cierta ductilidad en el comportamiento de la viga, las fibras fallen por tensión haciendo que el modo de ruptura es frágil.

Las vigas ensayadas respetaron los modos de ruptura antes mencionadas, como se observa en las gráficas 4 a 7. Visualmente, no se pudo identificar cual de los dos modos se trataba, por lo que se recomienda utilizar sensores para una lectura de las deformaciones específicas de la madera.

## Discusión de Resultados y Conclusiones

A excepción de la viga No. 2 que falló en una junta pegada, ver gráfica 3, el comportamiento de las vigas está conforme a las expectativas de falla en la zona de tensión ya que la meta para la flexión estática era de 24 N/mm<sup>2</sup>.

Existen dos mecanismos de rotura por flexión (mecanismo global) (a) ruptura de la madera en la zona de tensión cuando la sección transversal está en un estado lineal elástico. Esto

## Conclusiones

a) Los objetivos relacionados con la evaluación y aptitud de las características anatómicas, físicas y mecánicas de los diámetros menores de *Pinus maximinoi* se alcanzó a través de ensayos del laboratorio demostrando los esfuerzos y propiedades como se muestran en las tablas presentadas.

b) En la teoría se encuentran relaciones de esfuerzos de ruptura de la madera juvenil en comparación con la madera madura de especie blandas entre 0.5 y 0.90 y de los módulos de elasticidad entre 0.45 y 0.75. Debido a estas variaciones notables de la resistencia (flexión estática) como de la deformación (módulo de elasticidad), se debe tomar ciertas precauciones (consideración de seguridad estructural), al momento de usar un núcleo de madera juvenil en una sección compuesta, a través de las pruebas de laboratorio se determinó que las vigas de sección compuesta presentan una respuesta favorable para ser utilizados como elementos constructivos, aportando así un desarrollo de productos nuevos, innovando y proporcionando un valor agregado a la madera de diámetros menores de la especie *Pinus maximinoi*.

c) El presente estudio demostró que es posible de insertar un núcleo de una altura equivalente a 1/3 del peralte total de la viga sin que el uso de madera juvenil dentro de un compuesto de madera juvenil - madera madura afecte la resistencia global a la flexión. Esta relación de 1 a 3 con respecto al peralte induce una relación de 1 a 3 también con respecto a los esfuerzos. (33 % de  $\sigma_{xm}$ ). A su vez los ensayos confirmaron la resistencia última por flexión, cerca de 24 N/mm<sup>2</sup> que se esperara del *Pinus maximinoi* maduro cuando se utiliza esta madera en sección compuesta.

## Agradecimientos

Al Ing. Roberto Godo, Director del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala, por sus ideas innovadoras y su apoyo incondicional.

A la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT, por el apoyo financiero parcial del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología FONACYT, línea FODECYT, por la realización del proyecto FD 077-2009 llevado a cabo en el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UVG.

## Bibliografía

- INAB (2008) Estadísticas forestales Región II. Instituto Nacional de Bosques Cobán Alta Verapaz.
- Kiuru J. (2003). *Asistencia Técnica en industria forestal para asociaciones en Guatemala* Informe de consultoría. PROCAFOR-INAB. Guatemala.