



Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 2(4), 2005

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

# Influencia del apartamiento de la zona juvenil y el encolado en verde sobre la calidad de la madera de cuatro especies forestales de plantación

Rafael Serrano Montero\*

## Resumen

El presente proyecto investiga la calidad de vigas laminadas estructurales producidas de la zona juvenil del fuste del árbol, utilizando un proceso de apartamiento de la médula y encolado en verde en comparación con vigas sólidas de control. Para el desarrollo de este proyecto se seleccionaron en forma aleatoria 20 árboles por especie: melina (*Gmelina arborea* (L.) Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.), laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) y ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.). De cada árbol se cortaron dos trozas de 2,5 m de longitud. De la parte central de cada troza se obtuvo un módulo de 10 x 10 cm, el 50% de los módulos fue dividido en dos partes sobre la médula, obteniéndose dos piezas de aproximadamente 5 x 10 cm. Estas piezas fueron encoladas en condición verde con adhesivos de resinas de poliuretano de dos marcas comerciales. Una vez concluido este proceso, todas las piezas fueron secadas en cámara, con la intención de obtener un contenido de humedad final cercano al 15%. Posteriormente las vigas fueron sometidas a ensayos de resistencia mecánica en flexión estática (ASTM-D-198) y a esfuerzo cortante de la línea de cola (ASTM-905). En general, desde el punto de vista de torceduras y grietas, el comportamiento fue dependiente principalmente del tipo de viga, favoreciéndose las vigas laminadas sobre las vigas sólidas de control, excepto para la teca. En tres especies se cumplen las premisas sobre las que se planteó el proyecto, en el sentido que el efecto del tratamiento aplicado genera vigas menos distorsionadas y agrietadas que las fabricadas con madera sólida de la parte central de las trozas, que es donde se encuentra la madera juvenil. Desde el punto de vista de resistencia mecánica en flexión estática (módulo de ruptura MOR), no se detectaron diferencias significativas de resistencia entre las vigas sólidas y las vigas laminadas. En cuanto al módulo de elasticidad (MOE), las vigas laminadas presentan una mayor flexibilidad que las vigas sólidas. En general se determinó poca diferencia entre las probetas de las vigas laminadas y de madera sólida para el esfuerzo cortante, excepto para la teca, en donde las probetas sólidas tienden a mostrar una mayor resistencia. En conclusión, se puede indicar que las vigas laminadas estructurales de madera juvenil poseen buenas características y propiedades y las mismas podrían ser utilizadas en diversas aplicaciones en los sectores de construcción y de procesamiento secundario de la madera.

**Palabras clave:** Madera, Vigas laminadas de madera, Torceduras, Grietas, Apartamiento de médula, Encolado en verde, Adhesivo poliuretano, Resistencia mecánica, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* L.f., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Cupressus lusitanica* Mill., Costa Rica.

\* Instituto Tecnológico de Costa Rica, [jserrano@itcr.ac.cr](mailto:jserrano@itcr.ac.cr)

## Abstract

**Influence of turning the pith inside out from the juvenile zone and gluing in the green condition over wood quality from four timber plantation species.** This study examines the quality of laminated beams obtained from the juvenile zone of the tree stem; the laminated beams were manufactured by an inside-out (moving the pith out) process as compared to solid pieces of control. A sample of twenty trees for each species; melina (*Gmelina arborea* (L.) Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.), laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) y ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) were randomly selected and from the tree stem and logs of 2,50 m in length were cut. From the central part of the logs (near the pith) a piece of 10 x 10 cm was produced, 50% of the squares were further divided by the pith into two pieces of 5 x 10 cm. Those pieces were glued up in green condition using polyurethane adhesive from two commercial brands. Once the process was ended, all the pieces were dried in a conventional kiln with the intention of obtaining a final moisture content around 15%. After that, the beams were mechanically tested (static bending) using the ASTM-D-198 and the ASTM-905 for determining shearing resistant of the glue line. In general, warping and checking were dependant on the type of beam, laminated beams performed better compared to the solid ones, except for teak. In three species, the bases under research were fulfill, this means that the applied treatment produced beams with less distortion and checking than the beams fabricated from solid wood from the central part of the logs which is the juvenile area. From the point of view of mechanical resistant for static bending (Module of rupture MOR), no significant differences were detected between solid beams and laminated ones. Generally, shearing resistance showed few differences between laminated beams compared to solid beams, except for teak that tended to have a higher value. In conclusion, it may be said that the laminated beams made up using juvenile wood have good characteristics and properties, these beams can be used in several applications in the construction sector as well as in the secondary wood industry.

**Key words** Wood, laminated wood beams, Warping, Checking, Inside out pith, Green gluing of wood, Polyurethane adhesive, Mechanical resistance, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* L.f., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Cupressus lusitanica* Mill., Costa Rica

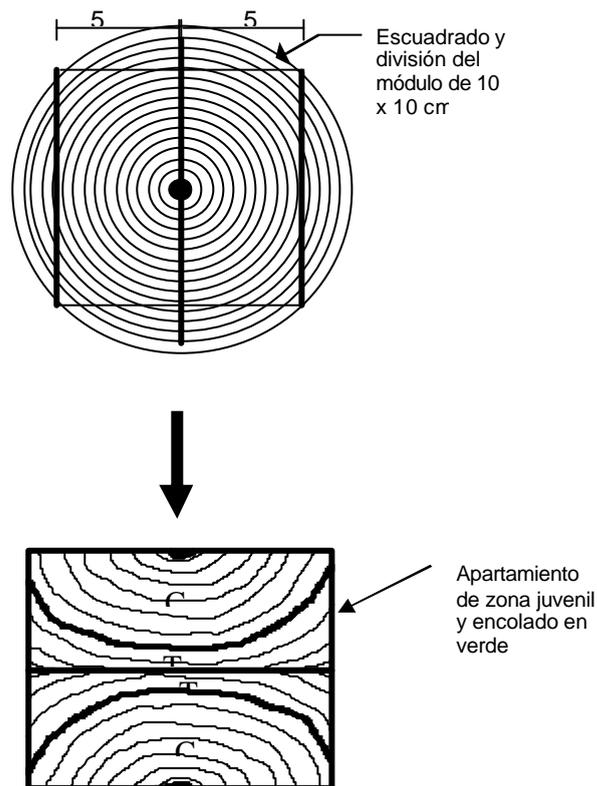
## INTRODUCCIÓN

Los problemas de torceduras y agrietamientos en las piezas de madera sólida son de gran importancia para los usuarios de la madera. En los mercados actuales, el grado de satisfacción del usuario o cliente determina la calidad de un producto y su permanencia en el mercado. La existencia de niveles elevados de torceduras en las maderas, ha hecho que un gran número de usuarios en el mundo estén utilizando materiales sustitutivos (Perstorper *et al*, 1995a, b). Por lo tanto, el comportamiento dimensional (torceduras) y los niveles de agrietamiento en la madera sólida, deben mejorarse para que este material siga siendo considerado como una materia prima importante.

A partir de 1979, Costa Rica experimentó un proceso de establecimiento de plantaciones forestales; como resultado de dicho proceso ya se está observando que parte de la disminución de la materia prima proveniente del bosque natural, está siendo compensada con un incremento de la producción de madera proveniente de plantaciones. Una proyección reciente estimó en 362.000.00 m<sup>3</sup> por año (69% melina y 31% teca) la cantidad de materia prima disponible de las principales especies plantadas en el país hasta el año 2010 (Sage y Quirós, 2001). El consumo anual de madera en troza en la industria forestal en nuestro país ha variado entre 80000 y 1000000 m<sup>3</sup> por año; de este volumen actualmente solo unos 116000 m<sup>3</sup> provienen de bosques naturales, el resto

proviene de plantaciones forestales y terrenos agrícolas sin bosque, principalmente de potreros (ONF, s.f.).

Existe evidencia bien documentada sobre las diferencias entre las propiedades de las maderas provenientes de plantaciones forestales, bosques secundarios y bosque natural adulto (Rendle, 1960, Zobel y van Buijtenen, 1989; Zobel y Sprague, 1998). En general, los árboles de menores diámetros tienen proporciones altas de madera juvenil, madera de reacción y tensiones de crecimiento, lo cual tiene un efecto negativo en la calidad de la madera producida con esta materia prima (Maeglin, 1987). La madera juvenil es propensa a desarrollar mayores problemas de estabilidad dimensional y rajaduras que la madera adulta. La liberación de las tensiones de crecimiento durante el procesamiento en aserrío también genera problemas similares; sin embargo, dado que la madera juvenil y las tensiones de crecimiento interactúan, dicho fenómeno se puede utilizar mediante una configuración particular en un proceso especial, mediante el cual se esperaría una reducción de tales distorsiones (Figura 1). Específicamente, las torceduras generadas en las piezas aserradas, debidas a la liberación de las tensiones de crecimientos, podrían ser contrarrestadas por las elevadas contracciones longitudinales (tensiones de secado), observadas en piezas con madera juvenil, lo cual presumiblemente disminuiría la magnitud de las torceduras iniciales. A su vez, la exposición de las caras radiales mediante el apartamiento o separación de la zona juvenil, se sospecha que reduciría los niveles de agrietamiento en comparación con los observados en las piezas de madera sólida.



**Figura 1.** Representación del proceso de apartamiento de la zona juvenil.

Los resultados obtenidos por Patterson y Xie (1998) y Serrano y Cassens (2001), empleando madera juvenil de bosques templados, indican que mediante la aplicación de procesos nuevos

como el propuesto en este proyecto, se podría mejorar el comportamiento de la madera juvenil. Aplicar estos procesos a las maderas tropicales de plantación de diámetros menores, pareciera una línea de acción razonable. Es por ello que el presente proyecto, investiga la calidad de vigas laminadas estructurales producidas de la zona juvenil del fuste del árbol, utilizando un proceso de apartamiento de la médula y encolado en verde en comparación con vigas sólidas de control.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado en el presente estudio proviene de raleos de especies de cuatro plantaciones forestales, a saber: melina (*Gmelina arborea* (L.) Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.), laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) y ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.). Una muestra aleatoria de 20 árboles por especie fue utilizada para la presente investigación (Figura 2). Dicha muestra proviene de una población de árboles cuyo diámetro medio a la altura de pecho estuviera entre 18 y 28 cm. De cada árbol se cortaron dos trozas de 2,5 m de longitud (troza de la base y segunda troza).



**Figura 2.** Marcado y numeración de árboles en una plantación de *Gmelina arborea* (L.) Roxb. Guápiles, Limón.

Las dos trozas obtenidas de cada árbol fueron asignadas en forma aleatoria para obtener los especímenes de control y los que recibieron el tratamiento. Una vez cumplido este proceso de selección, las trozas fueron escuadradas mediante aserrío (aserradero para diámetros menores del Centro de Investigación en Investigación Bosque-Industria del Instituto Tecnológico de Costa Rica), para obtener un módulo de 0,1 x 0,1 x 2,5 m de cada troza. A la mitad de las piezas se les aplicó el siguiente proceso: el módulo de 0,1 x 0,1 x 2,5 m fue dividido en dos partes sobre la zona medular, para ello se utilizó la sierra circular de corte recto obteniéndose dos piezas de alrededor de 5 x 10 cm. Las piezas de 0,05 x 0,1 x 2,5 m se unieron mediante un adhesivo, de tal manera que al unir las caras radiales de la zona juvenil (medular) quedaran separadas/expuestas y la zona tangencial, o sea la zona externa cerca a la corteza, quedaran en el interior de la pieza encolada (Figura 3). Para este proceso se utilizó adhesivo a base de resinas de poliuretano<sup>2</sup>, el cual se aplicó sobre una de las caras. Este es un adhesivo de un solo componente (no requiere ser diluido) y su curado se da por medio de la humedad contenida en el ambiente y en la madera, por lo que puede ser usado sobre madera con altos contenidos de humedad (verde). Otras condiciones requeridas para realizar el proceso de adhesión se indican seguidamente:

- Tiempo abierto de ensamble después de aplicado: 20 a 30 minutos dependiendo de la temperatura, humedad del ambiente y humedad de la madera.
- Presión de cerrado de 12,32 kg/cm<sup>2</sup> (175 lb/pulg<sup>2</sup>) por dos horas, mediante prensa de platos con control de tiempo y presión.

<sup>2</sup> Dos marcas comerciales fueron utilizadas: Resistol 5003 de HB Fuller y Reactive 8000 de Franklin International. Para las vigas laminadas de ciprés se usó solamente Resistol 5003.

Una vez concluido este proceso, tanto las vigas sólidas de 10 x 10 cm (control) como las piezas que recibieron tratamiento fueron secadas en cámara (Marca Nardi de 25 m<sup>3</sup> de capacidad, con caldera de leña e intercambiadores de calor por medio de agua caliente, control automático del proceso de secado) con la intención de lograr un contenido de humedad final cercano al 15%.

Posterior al proceso de secado, a las vigas de control y las encoladas se les midieron las torceduras (arqueadura y alabeo), el número de grietas, la longitud de la grieta más larga y la profundidad máxima de grieta. Estas determinaciones se efectuaron de acuerdo con los lineamientos de Milota (1991) y Serrano (1999). Las mediciones realizadas para determinar la magnitud de las torceduras y el agrietamiento, son consideradas las variables de respuesta para efectuar las comparaciones entre tipos de vigas y especie.

Para determinar la resistencia mecánica de ambos tipos de vigas, 11 vigas fueron seleccionadas al azar (5 vigas de control de madera sólida y 6 piezas tratadas-encoladas -3 por cada tipo de adhesivo-), a las cuales se les aplicó el ensayo de flexión estática. Se determinó el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE). Dichos ensayos se realizaron mediante la norma D-198-84 de ASTM (1989).



**Figura 3.** Aplicación de adhesivo (a), vista transversal de viga encolada (b) y vigas sólidas de control (c). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Posteriormente, se seleccionaron aleatoriamente 6 piezas encoladas laminadas por especie (tres por cada marca de adhesivo) y se prepararon tres probetas de cada pieza para aplicar los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante (cizallamiento) de la línea de cola. Estos ensayos se realizaron de acuerdo con la norma D-905-49 de ASTM (1977).

Dado el carácter exploratorio del presente proyecto, se determinó una estimación de los costos de producción de las vigas laminadas (tratadas-encoladas).

Los datos fueron evaluados mediante un diseño factorial y se empleó la hoja electrónica (Excel) y paquetes estadísticos especializados (SAS y MINITAB) para el procesamiento de datos y análisis de resultados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan principalmente para las especies melina, teca y laurel y se harán comentarios relativos al comportamiento del ciprés, dado que en la fabricación de las vigas laminadas de esta especie solo se utilizó el adhesivo HBFuller (HB). El ciprés fue la primera especie ensayada y en el momento de realizar las pruebas no se disponía del adhesivo de la marca Franklin International (FK).

### Grietas y torceduras de las vigas por especie

En el Cuadro 1 se presentan las variables de torceduras y grietas para vigas de las especies evaluadas.

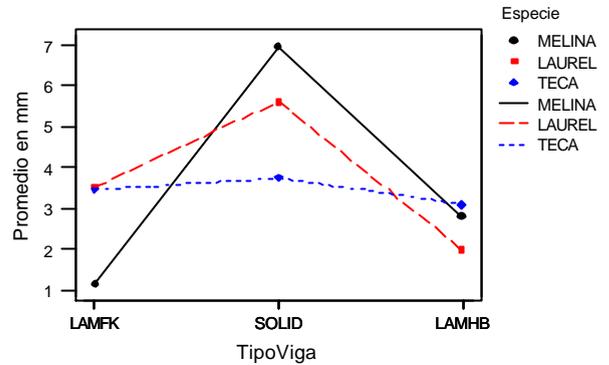
**Cuadro 1.** Valores de torceduras y grietas de acuerdo con el tipo de viga por especie.

Especie (s) *	Tipo de viga	Arqueadura (mm)	Alabeo (mm)	Número de grietas	Longitud de la grieta más larga (cm)	Profundidad máxima de grieta (cm)
melina, teca y laurel	Lam FK	2,68	1,76	5,2	48,15	1,88
melina, teca y laurel	Lam HB	2,68	1,76	5,6	47,50	1,97
melina, teca y laurel	Sólidas	5,35	1,45	6,97	69,81	3,57
melina	todas	3,62	3,83	5,53	50,76	2,95
teca	todas	3,40	0,55	5,00	57,20	2,55
laurel	todas	3,69	0,59	7,23	57,21	1,92
melina	Lam FK	1,19	3,95	6,00	46,25	2,18
melina	Lam HB	2,81	4,27	3,90	21,90	1,76
melina	Sólida	6,87	3,27	6,70	84,15	4,90
teca	Lam FK	3,37	0,77	4,67	75,52	2,37
teca	Lam HB	3,30	0,33	4,43	65,55	2,35
teca	Sólida	3,52	0,56	5,93	30,53	2,93
laurel	Lam FK	3,48	0,57	4,94	22,69	1,08
laurel	Lam HB	1,94	0,68	8,45	55,08	1,80
laurel	Sólida	5,65	0,52	8,30	94,76	2,88
ciprés	Lam HB	5,28	1,73	3,24	23,38	0,43
ciprés	Sólida	5,32	3,28	6,65	75,11	1,69

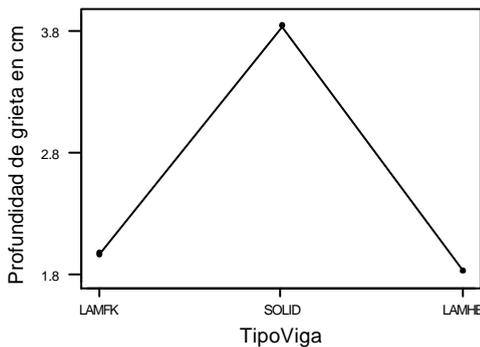
**Nota:** Lam, Laminada; FK, Adhesivo Franklin International; HB, Adhesivo HB Fuller.

\*En el ciprés sólo se utilizó el adhesivo HB.

Para ilustrar el comportamiento, de las cinco variables evaluadas se presentan gráficamente la arqueadura y la profundidad de grieta máxima (Figuras 4 y 5).



**Figura 4.** Interacción entre el tipo de viga y la especie para la arqueadura.



**Figura 5.** Efecto del tipo de viga sobre la profundidad máxima de grieta.

Mediante la evaluación estadística de la arqueadura o torcedura de cara, se logró determinar la presencia de diferencias significativas por tipo de viga y para la interacción del tipo de viga y especie. Esta última variable es la que realmente tiene la mayor importancia y se puede observar en la Figura 4.

En general se da una tendencia de menores magnitudes de arqueadura para las vigas laminadas en comparación con las vigas sólidas de control. En las vigas laminadas y sólidas de tecla, la diferencia es mínima y no significativa, mientras que las vigas sólidas de melina presentaron las mayores magnitudes de arqueadura. Sin embargo, esta especie fue la más beneficiada en las vigas laminadas, ya que presentó los menores valores de arqueaduras, especialmente con el adhesivo FK. Hay que tomar en cuenta que las vigas de melina se mantuvieron con altos contenidos de humedad (mayores a 30%), por lo que la magnitud de estas torceduras en las vigas sólidas probablemente están mayormente relacionadas con la liberación de las tensiones de crecimiento al momento del aserrío y no por secado. En ensayos similares con la especie "tulipero" ("yellow poplar", *Liriodendron tulipifero*) se determinó que una alta proporción de las torceduras tienen origen en la liberación de las tensiones de crecimiento durante el aserrío (Serrano, 1999). Es importante indicar que la madera de melina presenta un secado muy lento y heterogéneo, especialmente en piezas de espesores mayores a 5 cm y en el presente caso el tamaño fue de 10 x 10 cm.

En cuanto a la magnitud de la profundidad máxima de grieta, solo se presentaron diferencias significativas por tipo de viga. En la Figura 5 se puede observar que las vigas sólidas presentan



magnitudes de profundidad máxima de grieta significativamente superiores en comparación con las vigas laminadas, independientemente del tipo de adhesivo utilizado.

En términos generales, desde el punto de vista de torceduras y grietas, el comportamiento ha sido dependiente principalmente de las especies y del tipo de viga. Este último factor aparece como el más importante y favorece a las vigas laminadas sobre las vigas sólidas de control con excepción de la teca. En otras palabras, en melina, laurel y ciprés se cumplen las premisas sobre las que se planteó el proyecto, en el sentido de que el efecto del tratamiento (separar o apartar la médula y aplicar adhesivo en verde) ofrece mejores resultados, o sea, vigas menos distorsionadas y agrietadas, que la fabricación de vigas sólidas de la parte central de las trozas, que es donde se encuentra la madera juvenil.

Cuando se evaluaron las cuatro especies (incluyendo ciprés), las torceduras y grietas se comportaron también dependientes de la especie y del tipo de viga. Cuando se compara el tipo de viga, las piezas laminadas tienden a presentar menores distorsiones y grietas que las vigas sólidas de control. También se presentaron algunos resultados atípicos, lo que demuestra la complejidad del comportamiento de los materiales naturales como la madera.

#### **Flexión estática y módulo de elasticidad de las vigas por especie**

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de flexión estática para el módulo de ruptura (MOR) y del modulo de elasticidad (MOE) por especie y tipo de viga. Los datos de MOR y MOE reportados en el presente estudio deben ser considerados en forma cautelosa, dado la cantidad limitada de vigas utilizadas en los ensayos.

**Cuadro 2** Valores de resistencia mecánica (MOR y MOE) de acuerdo con el tipo de viga y especie.

Especie (s) *	Tipo de viga	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )
melina, teca y laurel	Lam FK	409	76902
melina, teca y laurel	Lam HB	357	78083
melina, teca y laurel	Sólidas	375	88062
melina	todas	298	68461
teca	todas	504	108945
laurel	todas	340	65641
melina	Lam FK	302	62459
melina	Lam HB	306	71829
melina	Sólida	285	71094
teca	Lam FK	526	100641
teca	Lam HB	459	106494
teca	Sólida	526	119701
laurel	Lam FK	399	67606
laurel	Lam HB	306	55926
laurel	Sólida	313	73392
ciprés	Lam HB	261	57963
ciprés	Sólida	309	58301

**Nota:** Lam, Laminada; FK, Adhesivo Franklin International; HB, Adhesivo HB Fuller; MOR, Módulo de ruptura, MO, Módulo de elasticidad.

\*En el ciprés sólo se utilizó el adhesivo HB.

En cuanto al MOR se presentaron diferencias significativas por especie, independientemente del tipo de viga. Lo anterior es muy interesante, dado que no se detectaron diferencias significativas entre las vigas sólidas y las vigas laminadas de la especie particular, por lo que desde el punto de vista de resistencia mecánica en flexión se pueden considerar similares. De acuerdo con Patterson y Xie (1998), es razonable esperar una menor resistencia de las vigas laminadas como las fabricadas y ensayadas en el presente estudio, dado que al mover la médula y la madera juvenil a la parte externa de la viga se verán expuestas a esfuerzos mecánicos más elevados. Sin embargo, tanto en el estudio mencionado como en el presente trabajo, esto no ha sucedido de esa forma. La diferencia detectada por especie es considerada normal, ya que por ejemplo, la teca es una madera con un mayor peso específico y por lo tanto presenta una mayor resistencia mecánica.

En cuanto al módulo de elasticidad (MOE), las vigas sólidas presentan magnitudes significativamente superiores que las vigas laminadas, o sea, que las vigas laminadas son más flexibles. Esto significa que a igual carga y dimensiones, la viga laminada sufrirá una mayor deflexión, por lo que eventualmente se tendría que utilizar una menor luz entre apoyos. Las causas de dicho fenómeno podrían ser objeto de investigación adicional.

El comportamiento de las vigas de ciprés fue muy similar, las vigas laminadas no presentaron diferencias significativas con respecto al MOR, en comparación a las vigas sólidas, siendo a su vez dichas vigas laminadas más flexibles.

### Esfuerzo cortante de las vigas de acuerdo al tipo de adhesivo

En el Cuadro 3 se presentan los resultados del esfuerzo cortante, de acuerdo con el tipo de probeta y adhesivo utilizado para las especies evaluadas.

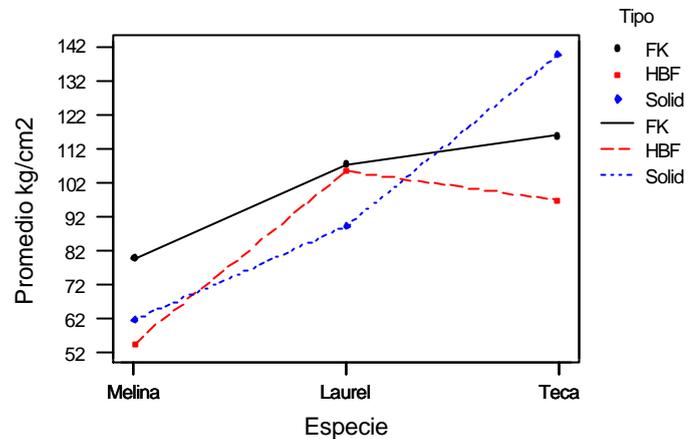
**Cuadro 3.** Resistencia al esfuerzo cortante de acuerdo con el tipo de adhesivo y por especie.

Especie (s), Tres	Tipo de probeta y adhesivo	Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Especie (s), Cuatro	Tipo de probeta y adhesivo	Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )
melina, teca y laurel	FK	100,36	-	-	-
melina, teca y laurel	HB	84,95	melina, teca, laurel y ciprés	HB	90,90
melina, teca y laurel	Sólida	94,97	melina, teca, laurel y ciprés	Sólidas	98,65
melina	Sólida, FK y HB	64,05	melina	Sólida y HB	58,11
teca	Sólida, FK y HB	115,16	teca	Sólida y HB	118,12
laurel	Sólida, FK y HB	100,68	laurel	Sólida y HB	97,19
-	-	-	<b>ciprés</b>	Sólida y HB	105,69
melina	FK	80,67	-	-	-
melina	HB	54,34			
melina	sólida	57,02			
teca	FK	115,07			
teca	HB	93,66			
teca	sólida	136,74			
laurel	FK	105,24			
laurel	HB	106,84			
laurel	sólida	89,96			
-	-	-	<b>ciprés</b>	HB	106,82
-	-	-	ciprés	sólida	104,55

**Nota:** FK, Adhesivo Franklin International; HB, Adhesivo HB Fuller.

Se determinaron diferencias significativas por tipo de viga (probeta usada) y por especie, y la interacción de estos factores resultó también significativa, que es la combinación importante de evaluar. En la Figura 6 se puede observar la interacción en referencia. Para la melina los valores tienden a ser menores y no existe diferencia de resistencia al es fuerzo cortante de la línea de cola entre las probetas con adhesivo HB y las probetas sólidas, mientras que la resistencia con el adhesivo FK tiende a ser más alta. En cuanto al laurel se presenta una resistencia al esfuerzo cortante similar para los dos tipos de adhesivos, mientras que la resistencia de la madera sólida es inferior. En relación a la teca sucede todo lo contrario, la resistencia de la madera sólida fue superior a la resistencia de las uniones con los dos tipos de adhesivos, aunque el adhesivo FK tiende a presentar una mayor resistencia. Este comportamiento ilustra lo complejo de estas relaciones, lo cual es usual cuando se evalúan materiales con una alta variabilidad como el caso de la madera.

En general existe poca diferencia entre las probetas de las vigas laminadas y las probetas de las vigas de madera sólida para el esfuerzo cortante, excepto para la teca, en la cual las probetas sólidas tienden a presentar una mayor resistencia.



Fk = Adhesivo Franklin internacional    HBF = Adhesivo HB Fuller

**Figura 6.** Interacción entre la especie y tipo de probeta encolada o sólida para el esfuerzo cortante para tres especies.

#### Estimación de costos

En el Cuadro 4 se presenta un desglose de costos estimados de la viga laminada típica de 10 x 10 cm x 2,50 m (4 x 4 pulg. x 3 varas medida nominal) para las maderas de melina y teca. Los costos indicados contemplan la adquisición de la madera aserrada verde, el costo del adhesivo a base de poliuretano y para los demás costos se contempla la compra de servicios. Estos costos se deben considerar de manera cautelosa, dado que este producto no se está fabricando a escala industrial y los mismos pueden variar en forma significativa para aquellas empresas que dispongan de la materia prima y que cuenten con el proceso propio.

**Cuadro 4.** Costos estimados de producir vigas laminadas de melina y teca.

<b>Rubro de costo</b>	<b>Melina</b>	<b>Teca</b>
Categoría diamétrica de trozas (cm)	15 – 30	20 – 30
Costo de madera aserrada verde (colones / PMT*)	110	80
Costo de viga (12 pulgadas madereras ticas PMT)**	1320	960
Costo de partir la viga sólida a la mitad (colones) (reaserrío de pieza 0,1 x 0,1 x 2,5 m)	75	75
Costo de adhesivo (57 g) / unión; Costo promedio indicado por los proveedores (colones)	400	400
Costo de armado y prensado / viga (colones)	200	200
Costo de secado de las vigas (12 PMT) (colones)	600	600
Costo de cepillado 4 caras / 2,5 m (colones)	125	125
Costo de preservado / viga (colones) Con preservante tipo CCA -Ret 6 Kg por m <sup>3</sup> .	700	700
Costo de Transporte / viga (colones) (1500 unid. de 9,2 PMT medida final / camión)***	100	100
Costo de mercadeo (colones)	175	175
Costo total / viga (colones)	3695	3335
Viga de 0,9 x 0,9 x 2,5 m (3,5 x 3,5 pulg x 3 vrs)		
Ganancia (25% del costo total) (colones)	925	835
<b>Precio de venta al público / viga</b>	<b>4620</b>	<b>4170</b>

\* Fuente: Informe comercial Zona Atlántica (Desde el Bosque, 2003)

\*\* Pieza de 0,1 x 0,1 x 2,5 m (4 x 4 pulg. x 3 varas)

\*\*\* Camión de 25 toneladas / 200 km.

- Información valorada con personal del CIIBI con experiencia industrial.

- Referencia de moneda local: 1 US\$ = 400 colones.

El precio al público de la viga sólida de tamaño similar de pino chileno (*Pinus radiata*), que es un producto similar en sus dimensiones y en los tratamientos recibidos de secado y curado, es de 4650 colones. Ambos precios, el de las láminas evaluadas en el estudio y la de pino son parecidos, pero levemente menor para la viga laminada desarrollada en este proyecto.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista de torceduras y grietas, el comportamiento ha sido dependiente principalmente de la especie y del tipo de viga. Este último factor aparece varias veces como el factor importante y favorece a las vigas laminadas sobre las vigas sólidas de control con excepción de la teca. En tres de las especies evaluadas se cumplen las premisas sobre las que se planteó el proyecto, en el sentido que el efecto del tratamiento (separar o apartar la médula y aplicar adhesivo en verde) ofrece mejores resultados, o sea vigas menos distorsionadas y agrietadas que las fabricadas con madera sólida de la parte central de las trozas, que es donde se encuentra la madera juvenil. La interacción de los factores antes mencionados es significativa y frecuente, lo que se explica presumiblemente por altas variaciones dentro de las especies.

En cuanto a los ensayos de flexión estática (resistencia mecánica a través del módulo de ruptura –MOR–) en general se presentaron diferencias significativas por especie, independientemente del

tipo de viga. Lo anterior es muy interesante, dado que no se detectaron diferencias significativas entre las vigas sólidas y las vigas laminadas de la especie particular, por lo que desde el punto de vista de resistencia mecánica en flexión se pueden considerar similares. Era razonable esperar una menor resistencia de las vigas laminadas, como las fabricadas y ensayadas en el presente estudio, dado que al mover la médula y la madera juvenil a la parte externa de la viga se verían expuestas a esfuerzos mecánicos más elevados. Sin embargo, esto no sucedió de esa forma, la diferencia detectada por especie es considerada normal, ya que por ejemplo, la teca es una madera con un mayor peso específico y por lo tanto presenta una mayor resistencia mecánica.

En relación con el módulo de elasticidad (MOE), se presentaron diferencias significativas para el tipo de viga y por especie, la teca se diferencia de la melina, el laurel y el ciprés al presentar valores de MOE significativamente superiores (mayor rigidez). En cuanto al MOE por tipo de viga, las vigas sólidas presentaron magnitudes significativamente superiores que las vigas laminadas, o sea, estas últimas son más flexibles. Este resultado es congruente con los dos adhesivos utilizados y pareciera confirmar que efectivamente las vigas laminadas presentan una mayor flexibilidad que las vigas sólidas. Esto significa que a igual carga y dimensiones de madera, la viga laminada sufrirá una mayor deflexión, por lo que eventualmente se tendría que utilizar una menor luz entre apoyos. Las causas de dicho fenómeno podrían ser objeto de investigación adicional.

Los resultados del esfuerzo cortante para las uniones encoladas y para probetas de madera sólida, revelaron diferencias por especie y la interacción especie y tipo de viga (probeta usada) fue significativa. Se observa que la melina tiende a presentar una menor resistencia al esfuerzo cortante en comparación con las otras especies. En general existe poca diferencia entre las probetas de las vigas laminadas y las probetas de las vigas de madera sólida para el esfuerzo cortante, excepto para la teca, donde las probetas sólidas tienden a mostrar una mayor resistencia. El comportamiento de la teca fue similar con los dos tipos de adhesivos.

En conclusión se puede indicar que las vigas laminadas estructurales de madera juvenil poseen buenas características y propiedades y las mismas podrían ser utilizadas en diversas aplicaciones en los sectores de construcción y de procesamiento secundario de la madera.

## AGRADECIMIENTO

El autor desea agradecer a las empresas Envaco S.A., Flor y Fauna S.A., Industriales del Ambiente S.A., H.B. Fuller Centroamérica S.A., WASA S.A. (distribuidor de Franklin International) y al proyecto REDES del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el aporte y apoyo para la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM (American society for testing and materials). 1989. Standard methods of static tests of timbers in structural size. ASTM D-198-84, Vol 04.09, Philadelphia, USA, 80-98 p.
- ASTM (American society for testing and materials). 1977. Standard methods of static tests of timbers in structural size. ASTM D-905-49 (1976), Part 22, Philadelphia, USA, 225-228 p.
- CCF (Cámara Costarricense Forestal). 2003. Información comercial. Lista de precios de las especies melina y teca en distintas zonas de Costa Rica. Desde el Bosque, CCF, Año 5, / No. 11 / Abril 2003.
- Maeglin, R. 1987. Juvenile wood, tension wood, and growth stress effects on processing hardwood. *In* Annual Hardwood Symposium of the Hardwood Council, (15<sup>th</sup>, Memphis, Tennessee, US). Proceedings. Memphis, US, The Council. pp. 100-108.



- Milota, MR. 1991. Method for measurement of bow and crook. *Forest Products Journal*. 4(9):65-68.
- ONF (Oficina Nacional Forestal, Costa Rica). s.f. *Impacto económico del uso de la madera en Costa Rica*. Heredia, C.R, Editorial Comunicaciones Melenio S.A. 19 p.
- Perstorper, MPJ; *et al.* 1995a. Quality products from Norway spruce. Part 1: Optimization, key variables and experimental study. *Wood Sci. & Tech.* 29:157-170.
- \_\_\_\_\_. 1995b. Quality products from Norway spruce. Part 2: Influence of spatial position and growth characteristics on warp. *Wood Sci. & Tech.* 29:339-352.
- Patterson, DW; Xie, X. 1998. Inside-out beams from small-diameter Appalachian hardwood logs. *Forest Products Journal*. 48(1):76-80.
- Rendle, BJ. 1960. Juvenile wood and adult wood. *J. Inst. Wood Sci.* 5:58-61.
- Sage, LF; Quirós, R. 2001. Proyección del volumen de madera para aserrío proveniente de las plantaciones de melina y teca y de otras fuentes. San José, CR, FAO-MINAE-FONAFIFO. 23 p. (Proyecto TCP/COS/006(A): Mercadeo e industrialización de madera proveniente de plantaciones forestales).
- Serrano, JR. 1999. Longitudinal growth strain effect on lumber warp from small yellow poplar logs. Ph.D. Dissertation. West Lafayette, Indianapolis, US, Purdue University. 297 p.
- Serrano, JR; Cassens, D. 2001. Reducing warp and checking in plantation grown yellow poplar 4 by 4's by reversing part positions and gluing in the green condition. *Forest Products Journal*. 51(11-12):37-40.
- Zobel, BJ; Buijtenen; JJP van. 1989. *Wood variation, its causes and control*. Berlin, DE, Springer-Verlag. 363 p.
- Zobel, BJ; Sprague, JR. 1998. *Juvenal wood in forest trees*. Berlin, DE, Springer-Verlag. 300 p.