

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Forestal

“Desarrollo de curvas laminadas-vaporizadas con especies de plantación de rápido crecimiento en Costa Rica”

Informe de Práctica de especialidad para optar por el grado de bachiller en Ingeniería Forestal

Por:
Mohammad Mahyar Shirazinia Riggioni

Profesor guía:
Dr. Roger Moya Roque

Cartago – 2007

RESUMEN

La madera es un material de uso múltiple y un recurso renovables, de ahí la importancia de conocer su trabajabilidad para distintos usos. El presente estudio tiene como objetivo investigar la susceptibilidad del doblado de 5 especies de reforestación comercial en Costa Rica (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Alnus acuminata* y *Terminalia oblonga*) y realizar ensayos posteriores para determinar características estructurales y de comportamiento de las curvas. Para esto se dobló madera laminada en radios de curvatura de 14 cm, 12 cm, 10 cm, 8 cm, 6 cm y 4 cm. Se determinó el porcentaje en que las curvas volvían a su posición original, ya que en todas las especies ocurrió una variación del radio con valores menores a 1%. También se comprobó que hay un aumento de humedad en las piezas luego del vaporizado.

En todas las especies fue posible construir curvas de 4 cm de radio, con la excepción de la *Tectona grandis* que dobló a 6 cm. Los valores de cortante de las líneas de cola fueron mayores a los valores de la resistencia de la madera sólida. La excepción fue jául que mostró menor resistencia que la madera sólida. Al exponer piezas de curvas a exposición cíclica acelerada y luego realizar el ensayo cortante, se dio un aumento de las resistencias de las líneas de cola, principalmente debido al curado total del adhesivo debido al secado de las piezas.

La especie que mostró peor comportamiento en cuanto a delaminaciones fue la *Tectona grandis*, mientras que el *Alnus acuminata* sufrió delaminaciones mínimas.

Palabras claves: Doblado de madera laminada, abertura, susceptibilidad de doblado, cortante, delaminación, maderas de plantación, especies tropicales.

ABSTRACT

Wood is an element of multiple uses and also a renewable source of raw material, because of this, it's important to understand the different uses and workability it may have. This study's goal is to evaluate wood bending of 5 species of commercial reforestation in Costa Rica (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Alnus acuminata* y *Terminalia oblonga*) and afterwards test to determine structural and behavior characteristics of the bended wood. For this, laminated wood was bended in curve radius of 14, 12, 10, 8, 6 y 4 cm. Evaluation on the percentage that curves would return to their original shape where performed, proving that in all species only around 1% of the radius had any variation. There was also an increase in the humidity in the laminations once they were vaporized.

In all species, it was possible to make curves of 4 cm in radius, with the exception of *T. grandis* which reported a minimum radius of 6 cm. The testing on the adhesive joint showed higher values than those reported in shear strenght of the solid wood with the exception of *A. acuminata*.

Pieces of laminated curves were also exposed to a cyclic accelerated exposition and then shear strenght was performed, showing an increase in the resistance of the adhesive joint, mainly because of a total curing of the laminations due to drying. The species that showed the worst

behavior in delaminating testing's, was *T. grandis*, while *A. acuminata* suffered the least delaminating of all species.

Key Words: Bending of laminated wood, aperture, shear strength, delaminating, Forest plantations, Tropical species.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÍNDICE	
GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE	
CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE	
FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE	
ANEXOS.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	11
METODOLOGÍA.....	12
Especies utilizadas y procedencia del material.....	12
Espesor de las laminas.....	13
Preparación de la materia prima.....	13
Preparación de los moldes.....	14
Vaporización de las laminas.....	14
Doblado de la madera.....	15
Laminados de las curvas.....	16
Evaluación de las curvas laminadas.....	17
Porcentaje de abertura.....	17
Delaminación.....	18
Evaluación en cortante del adhesivo.....	19
RESULTADOS Y ANALISIS.....	22
Susceptibilidad del doblado.....	22
Ensayos sobre la línea de cola.....	26
Delaminación de la línea de cola.....	33

CONCLUSIONES Y	
RECOMENDACIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXOS.....	44

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios científicos y tecnológicos de la madera se iniciaron a principios del siglo XX, principalmente en especies de climas templados de Norteamérica y Europa. Posteriormente estos estudios se extendieron a las maderas tropicales de alta resistencia y actualmente se van orientando a las maderas tropicales menos resistentes pero de crecimiento rápido (Araujo et al, 2005).

La madera es uno de los elementos constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado en la construcción de sus viviendas y otras edificaciones. Por lo mismo, la necesidad de la manipulación de la misma es primordial para lograr la trabajabilidad requerida en distintos usos. Entre las formas en que se puede manipular la madera, está el doblado de la misma, que es variable, ya que la flexibilidad es distinta entre diferentes especies, además el método utilizado también influye en esta variable.

Originalmente la técnica utilizada para elaborar piezas curvas desde bloques sólidos era mediante cortes, utilizada por los constructores de muebles (figura 1). Este proceso consiste en elaborar pequeños cortes equidistantes a los largo de la pieza a ser doblada. La dirección de doblado es siempre hacia el lado de los cortes (Pinillos, 2006).

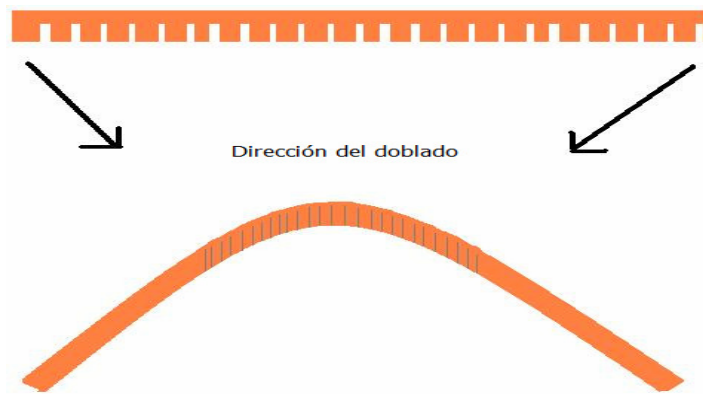


Figura 1. Dirección y doblado de la madera mediante cortes.

El pionero en el trabajo con la madera curvada fue Michael Thonet, quien a mediados de la década de 1830 aplicó el doblado a productos fabricando dos modelos de sillas. Estas sillas se observan en la figura 2A. La silla en la figura 2B es llamada Silla Número 14, que en su momento fue una obra maestra de diseño y consiste en 10 tornillos y seis elementos ensamblables. Este modelo de silla sigue existiendo hoy en día con el mismo diseño. Se han vendido más de 200 millones de unidades (Katsuragi, 2002).

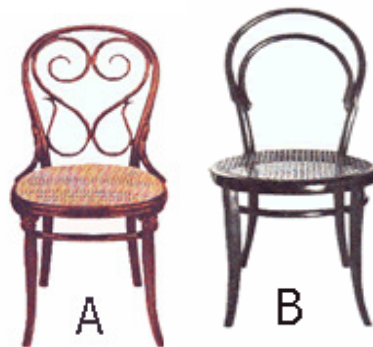


Figura 2. A: Con este diseño Michael Thonet en 1850 inicia su primera producción en serie.
B: Silla número 14.

Por la misma época, Samuel Gragg en Estados Unidos patenta su silla elástica usando vapor para lograr sus curvas. En Italia, en 1920 Carlo Ratti hace experimentos de doblado-laminado al unir piezas curvas con capas de

madera. Ya en los 1930 Alvaar Aalto y Marcel Breuer aplican esta técnica en el diseño de sillas y sillones de madera con formas curvas, inspirados en el mobiliario que anteriormente fueron diseñados con tubos de metal, convirtiéndose así en pioneros en el uso de esta técnica a nivel mundial (Pinillos, 2006).

El doblado de la madera también es aplicable a la construcción de espacios arquitectónicos. Los primeros diseños datan del año 1890. El suizo Karl Friedrich Otto Hetzer patentó en Alemania en 1906 la construcción de piezas curvas de madera laminada, principiando así el desarrollo de los arcos de madera a nivel mundial (Pinillos, 2006).

El doblado de la madera sólida implica ablandar las piezas para después doblarlas, y esto se logra sometiendo la madera a una etapa de vaporizado. Pero previo a esto, es necesario fabricar un molde con la forma que demanda el diseño del producto. Para el molde se puede utilizar materiales que pueden ser metal, plástico, madera, entre otros. El material a utilizar está en función de los recursos disponibles y de la cantidad de piezas que se desean producir (Pinillos, 2006).

En forma tradicional se fabrica un molde macho y otro hembra (Figura 3A). Entre ellos se coloca la pieza de madera reblandecida, aplicando presión entre ambos hasta que la madera se enfría; en ese momento se retiran los moldes y se obtiene la pieza de madera curvada, con las mismas características de resistencia que la pieza recta original. Otra opción es el uso de un molde macho y como contraparte un cinturón metálico para aplicar la presión mediante la tensión del cinturón, que al mismo tiempo impide que la

madera falle por tensión en la parte exterior de la curva (Figura 3B)(Martin, 2005).

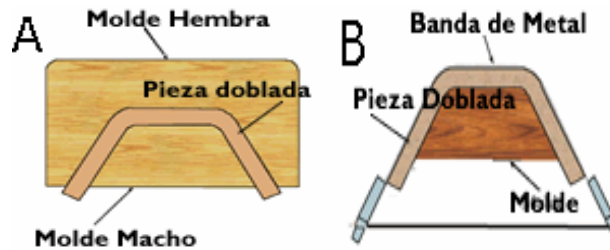


Figura 3. A: Moldes macho y hembra. B: Molde macho y cinturón metálico.

Para doblar las piezas mediante vaporizado, es necesario tener un recipiente que genere vapor, conectado a una cámara en donde se tienen las piezas de madera. La cámara requiere de soportes para las piezas de madera que se están vaporizando y un orificio para drenar el agua condensada en el interior (Figura 4). Para lograr resultados positivos dentro del proceso de vaporizado, es necesario que la madera sea de excelente calidad, carecer de defectos y tener grano recto, pues de lo contrario las piezas de madera que se doblen tendrán muchas imperfecciones después del proceso (Martin, 2005).

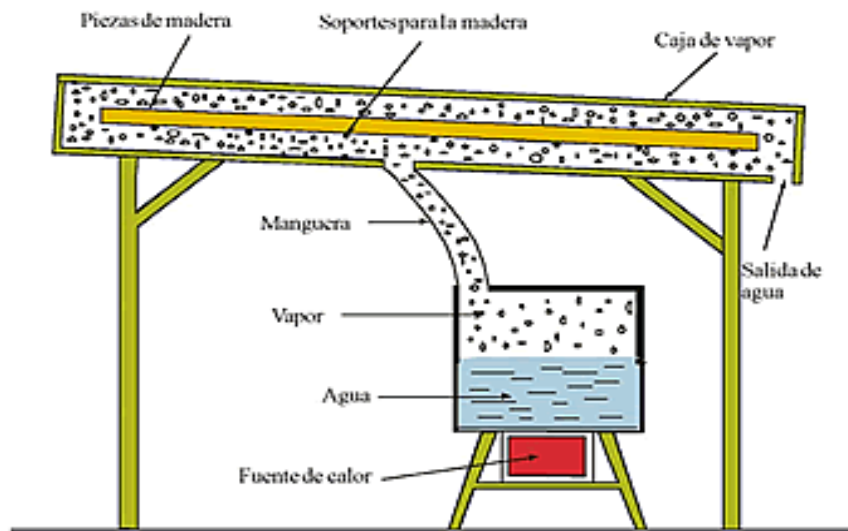


Figura 4. Cámara de vaporizado de la madera para el proceso de doblado.

Existe otro método denominado doblado laminado. Este método muestra ventajas con respecto al doblado de piezas sólidas ya que la materia prima que se requiere no es una pieza de madera sólida y los radios de curvatura que se pueden obtener para cada especie son menores lo que significa que se puede obtener piezas con mayor curvatura. En este proceso se usan varias láminas de madera con espesores entre 2 y 3 milímetros y el doblado se efectúa sin vapor. El proceso inicia con la selección de las láminas, las que deben tener un espesor uniforme para evitar posibles fallas y garantizar que la dimensión del grueso final de las piezas laminadas sea igual en todas. Es conveniente que las láminas tengan también una textura uniforme, para que en la aplicación del adhesivo, éste funcione correctamente. Además al momento de encolar, las fibras deben de quedar paralelamente colocadas. Al igual que en el proceso de doblado por vapor, es necesario fabricar moldes para colocar las láminas. Con los moldes listos y las láminas de madera cortadas en la dimensión apropiada, se inicia el proceso de doblado con la colocación de adhesivo en ambas caras de

cada una de las láminas; después se unen y son colocadas en el molde donde se les aplica presión para unir el conjunto de láminas (Figura 5). El siguiente paso es esperar el curado del adhesivo; una vez endurecido se retira la presión y se quita la pieza del molde (Stevens y Turner, 1970).

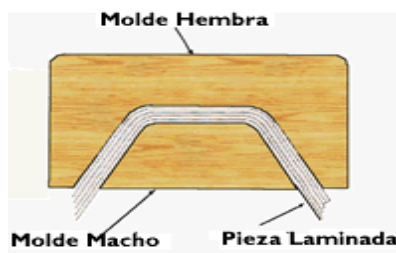


Figura 5. Doblado de madera laminada sin vaporizar.

Una variante en el método de laminado, consiste en realizar pequeños cortes en los extremos de dos piezas de madera sólida. El grosor de cada uno de los cortes puede ser de 2 a 3 milímetros quedando en forma de láminas de madera. Luego se aplica adhesivo en los espacios donde se efectuaron los cortes y se unen las dos piezas (Figura 6), para finalmente colocarlas en el molde siguiendo los mismos pasos que el proceso de laminado (Pinillos, 2006).

Es importante mencionar que cada especie de madera que se trate de someter a un doblado, ya sea mediante vaporizado o laminado, tendrá una respuesta diferente con relación al radio de curvatura que se proponga. Esto se debe a que cada especie tiene características anatómicas diversas, lo que determina que cada una pueda alcanzar radios mínimos de curvatura diferentes (Pinillos, 2006).



Figura 6. Proceso de uniones laminadas solo en los extremos de piezas sólidas.

La madera al doblarse genera fuerzas en su interior. Se da una fuerza de tensión en la parte más externa de la curva y una fuerza de compresión en la parte interior. La tensión es provocada por el estiramiento que sufre la madera, ya que la parte de afuera de la misma tendrá mayor longitud que la parte de adentro. Al vaporizar, se eleva la flexibilidad de la madera en la parte en compresión, ya que la flexibilidad no aumenta en madera en tensión. Esto convierte a la zona en tensión en el factor limitante del doblado (Stevens y Turner, 1970).

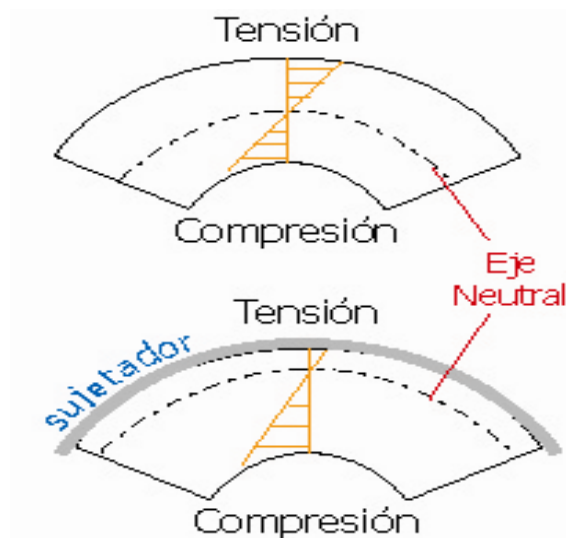


Figura 7. Fuerzas generadas en el doblado. La figura de arriba muestra una pieza sin vaporización y la figura de abajo una pieza luego del vaporizado.

Al crearse la curva, los defectos del mismo pueden verse presente en el área en compresión o en el área en tensión, que son las más comunes. La figura 8, muestra las fallas más comunes que se pueden observar al crear curvas en madera laminada. La primera curva presenta fallas en la madera en compresión y las segunda y tercera en la madera de tensión. Estas fallas pueden ser producidas por una alta humedad relativa, cuando el material no es flexible al rango de curvatura sometido o también por un vaporizado insuficiente (Katsuragi, 2002).

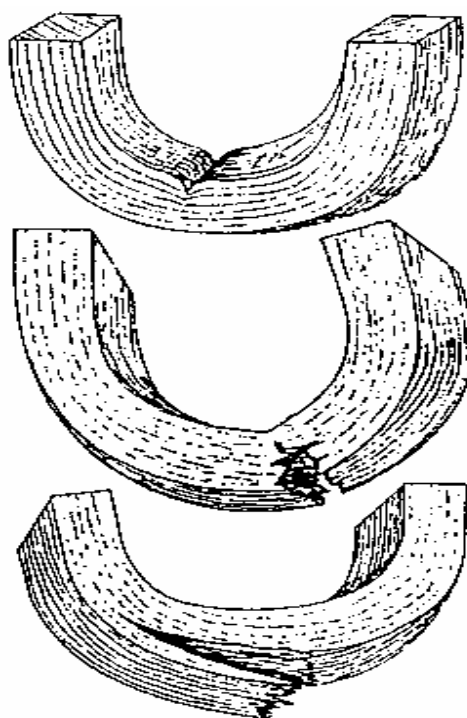


Figura 8. Fallas típicas en el doblado de la madera.

Los diseñadores y fabricantes de productos con madera que quieran elaborar piezas con formas curvas utilizando chapa en el proceso de laminado, necesitan conocer cuál es el radio mínimo de curvatura que pueden obtener en las piezas que procesarán. Este proceso de doblado laminado presenta una serie de ventajas y desventajas con respecto al doblado de piezas de madera sólida (Stevens y Turner, 1970). Estas son:

Ventajas:

- Se logran curvas más cerradas debido al espesor de las láminas.
- Madera con defectos, tales como nudos que en el doblado de madera sólida presentarían limitaciones, pueden eventualmente ser incorporada al proceso productivo.
- Se puede lograr un ahorro de materia prima ya que las dimensiones de las piezas pueden ser menores que en madera sólida.
- Para piezas largas se puede utilizar el proceso de end-jointing, que no afecta las propiedades de la pieza si se hace correctamente.
- Se puede lograr formas más definidas que en madera sólida.
- Se puede doblar sin vaporizado, pero en piezas sólidas es más difícil.

Desventajas:

- Es necesario el uso de equipo especializado en la preparación de las láminas.
- Implica un mayor costo en un proceso productivo.
- La presencia de la línea de cola puede disminuir el atractivo estético.

La madera laminada doblada puede ser utilizada en mueblería, diseños decorativos e interiores. Algunos usos de este material se reflejan en las siguientes figuras (Katsuragi, 2002).



Figura 9. Usos de la madera con curvatura, en mueblería y usos estéticos.

Doblado de diferentes especies de madera.

Los investigadores del Instituto de Ecología, A. C. en Veracruz, México, utilizaron el proceso del doblado laminado para evaluar el radio mínimo de curvatura en 34 especies de madera en México. Las maderas utilizadas tenían un rango de densidad relativa de 0,19 a 0,90, así evaluando en madera blanda y madera dura. La metodología utilizada consistió en elaborar láminas de 2 a 3 mm de espesor, luego encolar con PVA 8 láminas y aplicar presión con radios de curvatura de 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2 y 1 cm. Además, evaluaron los defectos en la parte interior y exterior de la curva. Solo encontraron que una madera logró el radio mínimo de 1 cm, que es el caso de *Ceiba pentandra*, conocida por ser madera blanda y de baja densidad. También lograron establecer, que la densidad no es directamente proporcional al radio de curvatura alcanzado, ya que en *Manilkara zapota* con una densidad relativa de 0,90 lograron un radio de curvatura de 8 cm mientras que una madera como la de *Schizolobium parahybum* lograron un radio de 14 cm a pesar de tener una densidad de 0,35.

En Chile, en la tesis de grado "Determinación de características del curvado de madera sólida", investigaron el comportamiento de *Nothofagus pumilio* y *Laurelia philipiana* al ser dobladas luego del vaporizado. En el proceso, aumentaron el contenido de humedad de la madera para alcanzar un 35%, para luego someterla al doblado. Concluyeron que un aumento en la humedad de la pieza disminuye el tiempo de vaporizado. Además, a menores espesores, los radios de curvatura alcanzados por las piezas son menores y un vaporizado correcto permite el doblado necesario (Martin, 2005).

Reforestación y especies utilizadas en Costa Rica.

Las plantaciones forestales han sido históricamente, fuentes de materia prima para la industria, construcción y otros usos. En los últimos años, además se han reconocido los beneficios ambientales que prestan a la sociedad tales como fijación de carbono, recuperación de sitios degradados, mano de obra a sitios deprimidos, entre otros. Por este motivo en las últimas décadas, la sociedad costarricense decidió, impulsar mecanismos financieros para favorecer el manejo sostenible de las plantaciones forestales. Lo anterior permitió crear una base silvicultural importante para la producción de los bienes y servicios que se originan en dichos sistemas. No obstante, en los últimos años, se han producido desajustes en la producción de madera, que están poniendo en peligro su sostenibilidad (Arce et al, 2004).

En Costa Rica, las plantaciones surgen a partir de 1979 como resultado de la implementación de un programa de incentivos por parte del gobierno. En este proceso de reforestación, se utilizó gran variedad de especies, algunas nativas y otras exóticas, como la teca y la melina, que fueron introducidas gracias a su rápido crecimiento. En los próximos años en Costa

Rica, una gran cantidad de madera que será utilizada provendrá de plantaciones forestales. En especial la teca y la melina, que son especies ampliamente utilizadas en la reforestación (Moya et al, 2000).

La melina es una especie de gran potencial dentro de las plantaciones forestales. Para el año 2000, el 60% de las plantaciones en el país eran de melina. Además, presenta turnos de rotación cortos, lo que permite una recuperación de capital más rápidamente. (Moya et al, 2003) Otra especie de importancia debido a la buena calidad de la madera es la teca. Esta especie presenta una opción importante para finqueros que desean reforestar con turnos de rotación relativamente cortos (12-15 años).

En cuanto al jául, esta representa una importante especie de reforestación comercial para las zonas altas del país. Además es una especie pionera, crece rápido y forma rodales puros (Nichols et al, 1991). Es maderable pero presenta problemas en el manejo silvicultural ya que tiene grandes problemas de ataque de patógenos (Trujillo, 2002). La caoba tiene la ventaja de tener madera con buenas características de dureza y densidad, pero la desventaja de ser una especie de crecimiento lento, por lo que no ha tenido un auge importante a nivel de plantación. Además, sufre de constantes problemas fitosanitarios (Trujillo, 2002).

Según FONAFIFO, para 2004 existían en el país 45 000 hectáreas de plantaciones forestales. El uso de este recurso, previniendo el faltante de materia prima futura, debe ser sostenible (Arce et al, 2004).

OBJETIVOS

General:

- Determinar el radio mínimo de curvatura en el doblado y resistencia de las líneas de adhesión en madera laminada de 5 especies de reforestación comercial en Costa Rica (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Alnus acuminata* y *Terminalia oblonga*).

Específicos:

- Doblar las especies de teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*), caoba (*Swietenia macrophylla*), jául (*Alnus acuminata*) y surá (*Terminalia oblonga*) en radios de curvatura de 14, 12, 10, 8, 6 y 4 centímetros.
- Evaluar la susceptibilidad del doblado laminado luego de la vaporización en las mismas 5 especies a los radios de curvatura mencionados anteriormente.
- Evaluar el efecto de una exposición cíclica acelerada sobre la resistencia al esfuerzo cortante y delaminación de las curvas laminadas dobladas.

2. METODOLOGIA

2.1 Especies utilizadas y procedencia del material.

Las 5 especies utilizadas son teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*), caoba (*Swietenia macrophylla*), jául (*Alnus acuminata*) y surá (*Terminalia oblonga*), siendo estas especies de reforestación comercial en Costa Rica.

Las especies de plantación corresponden a un rango de edad que oscilan entre los 9 y 10 años. El *A. acuminata* es procedente de las cercanías del Volcán Irazú (N 09°57'54"- N 9°58'12" – W 83°54'18" - W 83°53'42") y la *S. macrophylla* y la *T. oblonga* provienen del Pacífico Norte de Costa Rica (N09 55' 06" – W86° 32' 25"). En estos casos las plantaciones tuvieron espaciamiento de siembra de 3 x 3 (1111 árboles /ha) y presentaban en el momento una densidad entre 338-575 árboles/ha, con diferentes niveles de manejo.

En cuanto a la *Tectona grandis*, este corresponde a un rango de edad de 12 a 13 años y es procedente de plantaciones del Pacífico Centro, específicamente de Parrita (N 09°30' - W 84°13'). El espaciamiento fue de un 3 x 3 y un tratamiento silvicultural escaso, basado en podas y raleos a los 6 años de edad en forma incompleta. La *Gmelina arborea*, con un rango de edad de 10 a 12 años, es procedente del Pacífico Sur (N 10°47'19" – W 83°57'07"). La densidad de la plantación fue de 368 arb/ha.

Cuadro 1. Información dasométrica general de las especies utilizadas.

Especie	Edad	Densidad	Altura	DAP	Manejo silvicultural
---------	------	----------	--------	-----	----------------------

	(Años)	(arb/ha)	total (m)	(cm)	
Caoba	10	480	16,7	21,5	Un raleo sanitario y un raleo al 50%
Jául	9	338	19	36,7	Dos raleos a la edad de 3 y 6
Melina	10 - 12	368	25,1	28	-
Surá	10	495-575	-	-	Un raleo sanitario y un raleo al 50%
Teca	12 - 13	475	21,85	25,15	Poda y raleo a los 6 años

Fuentes: Serrano, et al. 2007.
Muñoz, F. Moya, R. 2007.a
Muñoz, F. Moya,R: 2007.b

2.2 Espesor de las láminas.

El primer paso es definir aspectos de tamaño para la realización de las curvas. Como se trata de doblado laminado mediante un vaporizado para aumentar la plasticidad del mismo, se estableció que cada lamina tendrá una longitud de 50 cm, un ancho de 5 cm y un espesor de entre 2 y 3 mm. Esto luego de un periodo de ensayos preliminares.

2.3 Preparación de la materia prima.

Se seleccionaron las tablas de trozas aserradas anteriormente en otros proyectos de investigación (Moya et al, 2007 b y Serrano et al, 2007). El material utilizado fue escogido libre de nudos, quebraduras o pudriciones. En una primera etapa se dio un ancho de 5 cm a las piezas. Para esto se utilizó una sierra circular marca Rockwell/Delta de 12"-14". El siguiente paso consistió en dar espesor de 2 a 3 mm en la misma sierra utilizada en el paso anterior. Luego se sanearon las piezas, lo cual consistió en librar de cualquier imperfección a las láminas y se les dio el largo de 50 cm. Para esto se utiliza una sierra de corte transversal marca GHZ motor modelo T50350. Ya con las piezas dimensionadas, se procedió al último paso en la preparación de la materia prima que consistió en calibrar las mismas para que todas tengan el

mismo espesor. Para esto se utilizó una lijadora-calibradora marca Sandyauno modelo uno c-sc.



Figura 10. Proceso de preparación del espesor en sierra circular para espesor.

2.4 Preparación de los moldes.

Primeramente se dibujaron segmentos de círculos en papel de los radios de 4, 6, 8, 10, 12 y 14 cm. Se dibujó un tramo de 180° para los moldes. Para los moldes de 14 y 12 cm el ángulo fue de 105° . Posteriormente, se unieron 4 láminas de contrachapado de 1,5 cm de espesor (para un total de 6 cm) con PVA (polivenil-acetato) para darle a los moldes el espesor necesario. Al día siguiente, se procedió a cortar los moldes con ayuda de las plantillas de papel teniendo el cuidado de dejar el espacio adecuado para el espesor de la curva laminada. El corte se realizó en una sierra de cinta marca Rockwell/Delta serie 28-200. Posteriormente se lijó para dar una superficie totalmente lisa y de excelente acabado. El molde consistió de las siguientes partes: molde, contra-molde y soporte y base. Además se cortaron segmentos paralelos para posicionar las prensas (figura 11).

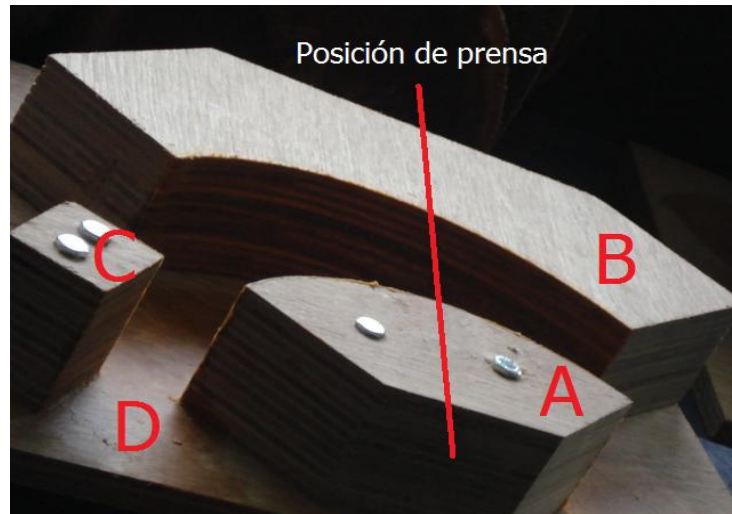


Figura 11. Molde con radio de curvatura de 12 cm. Partes: A-Molde, B-Contra-molde, C-soporte, D-base

2.5 Vaporización de las láminas

El vaporizador utilizado fue construido con teca. Las dimensiones de la cámara de vaporizado son 2 m de largo por 30 cm de alto y de ancho. Cuenta con un tanque de vapor de material no ferroso con capacidad para 19 litros de agua. La fuente de energía fue la electricidad.

Primeramente, se calentó la cámara 1 hora antes de introducir las láminas, donde la temperatura interna estimada es de 100°C. Una vez transcurrido este periodo, se introdujeron las láminas y fueron vaporizadas 3 horas en total.



Figura 12. Vaporizador utilizado. A: tanque de vapor. B: Cámara de vaporizado.

2.6 Doblado de la madera.

Inmediatamente que las láminas se retiraron de la cámara de vaporizado, estas se encolaron lo más rápido posible para mantener el efecto plastificador del vapor. Para esto, en las láminas se aplicó el adhesivo tipo poliuretano en una sola cara. Este adhesivo es utilizado en maderas con un alto contenido de humedad. En nuestro caso, a pesar de utilizar madera seca, esta tomó humedad en el vaporizador. De acuerdo con el fabricante, para el área a ser encolado que es de 265 cm², son necesarias 5,3 gramos de adhesivo (Ver anexo 4 para especificaciones del adhesivo).

2.7 Laminado de las curvas.

Una vez encoladas todas las láminas, se procedió con el prensado de las mismas en las curvas respectivas. Para esto fue necesario fijar los moldes en una mesa de trabajo con prensas. Además, se necesitaron prensas para mantener la presión entre el molde y el contra-molde. En total se fabricaron 116 curvas. Para cada radio se realizaron 4 repeticiones.

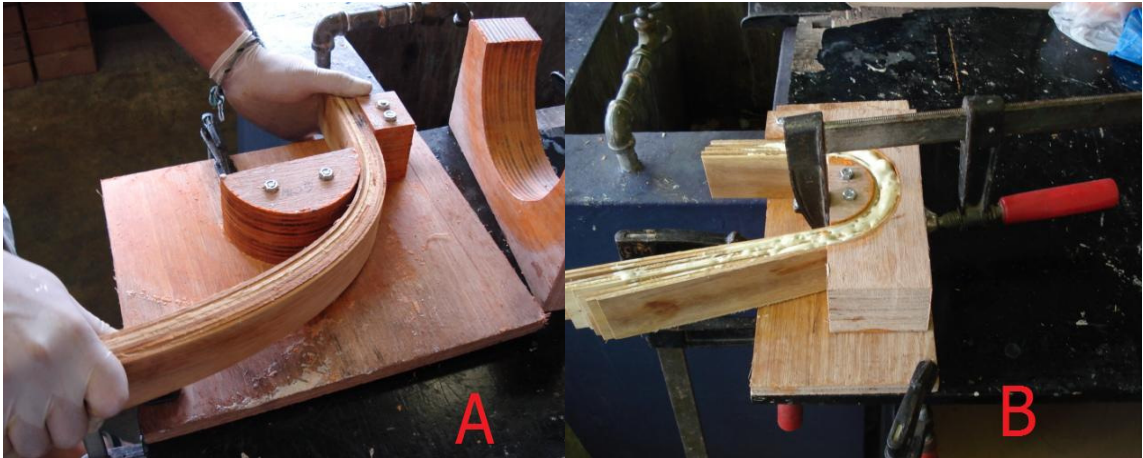


Figura 13. A: Doblado. B: Prensado

El tiempo de prensado es de aproximadamente 20 horas a temperatura ambiente, a pesar de que el fabricante del adhesivo tipo poliuretano establece 4 horas de curado. Una vez que se retiraron las prensas, las curvas fueron sometidas a un proceso de acabado, en donde se eliminaron los excesos de adhesivo y se lijó con el fin de obtener superficies lisas.



Figura 14. Curva de 10 cm con acabados.

En esta etapa se definen los radios mínimos de curvatura. Al realizar todo el proceso, las láminas logran una curvatura de acuerdo al molde.

Cuando se presenta una quebrantadura en las láminas y el conjunto de láminas no se logran cerrar entre el molde y contra-molde, se define que esa especie no logra la flexibilidad deseada bajo ese radio de curvatura. La figura 15 muestra un caso en donde no se logra la curva deseada.



Figura 15. Láminas quebradas indicando que la especie no logra la curva deseada.

2.8 Evaluación de las curvas laminadas.

Listas todas las curvas y determinado el radio mínimo de curvatura para cada especie se prosigue con la etapa de ensayos posteriores. El primer ensayo es la determinación del porcentaje de abertura de las curvas, aunque este se ejecuta en todo el proceso de fabricación. Luego las delaminaciones que sufren las curvas y por último el comportamiento del adhesivo a las condiciones del estudio.

2.8.1 Porcentaje de abertura.

Para medir el porcentaje de abertura, se crearon plantillas de papel con los radios originales. Luego la curva se colocaba encima de la plantilla y se dibujó el radio final de la curva por encima de la plantilla, quedando

mostrada la diferencia entre el radio original y el radio final de la curva. Con la medición de la diferencia entre los dos radio y utilizando la fórmula 1 se determinó el porcentaje de abertura.

$$\% A = \frac{R_i - R_f}{R_f} * 100 \quad (1)$$

En donde: % A: Porcentaje de abertura

Ri: Radio inicial

Rf: Radio final



Figura 16. Medición de abertura.

2.8.2 Delaminación.

La delaminación se produce cuando se da una separación entre alguna de las uniones de las láminas. Este ensayo consiste en preparar probetas de 7,5 cm de largo de las curvas. Se obtuvieron 2 probetas de cada curva. Se destinaron 2 curvas de cada radio de cada especie para este ensayo. Preparadas las probetas, estas se sumergieron en el tanque de vacío-presión con agua a temperatura ambiente. Luego se sometieron a un vacío

de entre 70 a 85 KPa por cinco minutos, posteriormente se les aplicó 550 KPa de presión por una hora. Este ciclo se repitió dos veces más. Al retirar las piezas de la autoclave, estas se secaron en un horno por 22 horas a 75 °C.

Una vez secas las probetas, estas fueron evaluadas. La evaluación consistió en enumerar las líneas de cola de 1 a 7 como lo muestra la figura 17. Una vez enumeradas, se evaluaron las uniones con delaminación. Esto se hizo para ambos lados de la probeta con el fin de determinar un promedio para cada probeta.



Figura 17. Enumeración para la medición de las delaminaciones

2.8.3 Evaluación de la línea de cola.

Para evaluar el comportamiento del adhesivo, se creó madera laminada sin curva, pero con las mismas condiciones de humedad y vapor. Esto quiere decir que las láminas fueron sometidas a vaporizado, encolado y prensado al igual que las curvas. La figura 18 muestra el prensado de las mismas.

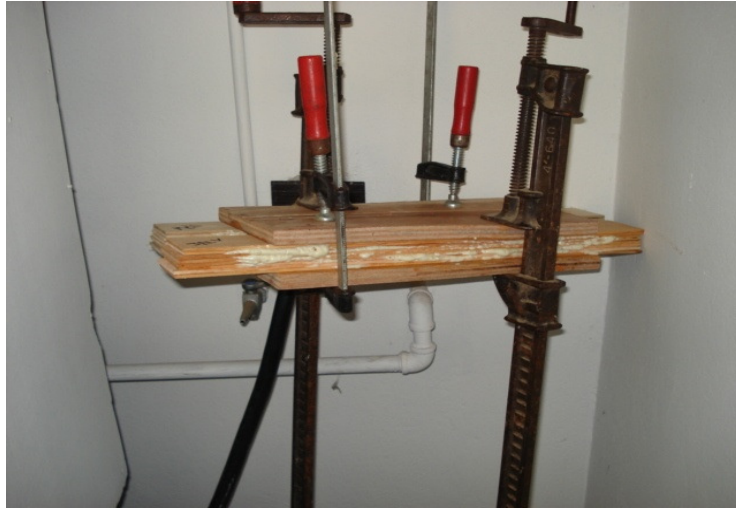


Figura 18. Prensado de las reglas utilizadas para evaluar línea de cola.

Una vez retiradas de las prensas, se les eliminó el exceso de adhesivo y se alistaron las probetas para el ensayo cortante siguiendo la norma ASTM D 905-03. Las probetas se sacaron de la parte central de cada regla de madera laminada. Se fabricaron dos reglas, y de cada una de ellas se obtuvieron 3 probetas de 6,3 cm de largo (figura 19). Del total de probetas, la mitad se utilizaron para un ensayo cortante inmediato en húmedo y la otra mitad fue sometido a una exposición cíclica acelerada de acuerdo a las normas ASTM D 2559 y luego se les aplicó el ensayo cortante.

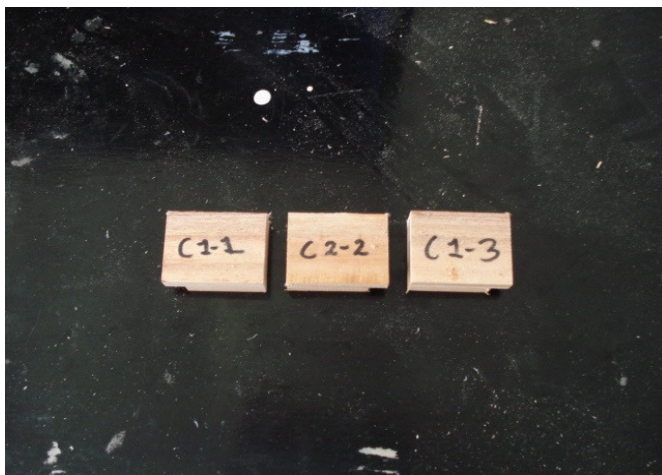


Figura 19. Probetas para ensayos sobre la línea de cola.

Se determinó el esfuerzo máximo requerido para lograr fallo en la línea de cola. Esto se realizó con una máquina de ensayos universal marca Tinius Olsen. Luego se determinó el porcentaje de falla en el adhesivo de cada probeta de acuerdo a la norma ASTM D 5266-92.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Susceptibilidad de doblado.

En el cuadro 2 se observan los resultados de los ensayos de doblado. La única especie que no logra un radio mínimo de curvatura de 4 cm es la teca, siendo las demás especies susceptibles de doblar hasta este radio cuando se vaporiza las láminas de 2-3 mm de espesor. En la teca, como se observa en el cuadro 3, presenta el mayor valor de módulo de elasticidad y de ruptura. Esto confirma que esta especie es la menos flexible, de todas, al doblado en radios muy bajos. Además muestra que la tensión interna es la mayor de las 5 especies. Se observa también, que la caoba, con el peso específico más alto de todas las especies utilizadas, tiene un módulo de elasticidad significativamente menor a la teca, por lo que se espera que tenga una mayor flexibilidad que la teca, patrón que se confirma en el doblado ya que esta especie sí logra un radio de 4 cm de curvatura. Todas las demás especies se comportan dentro de los rangos esperados de flexibilidad, ya que en estos se lograron radios de curvatura mínimo de 4 cm (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultado del doblado de 5 especies de reforestación comercial en Costa Rica para diferentes radios de curvatura.

Especie	Radios (cm)					
	14	12	10	8	6	4
Teca	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Melina	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jául	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Caoba	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Surá	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Es importante hacer mención que la madera que se utilizó para la fabricación de las curvas fue secada al horno antes de los ensayos, por lo que su contenido de humedad es menor al 13%. Sin embargo, el rango de humedad de las especies luego del vaporizado aumenta, siendo la teca y la caoba las de menor aumento, que además son los de mayor peso específico. El promedio de contenido de humedad al final del vaporizado es de 18,02% (Cuadro 3). Esto quiere decir que las especies durante la vaporización sufren un proceso de aumento del contenido de humedad que se deposita en sus paredes celulares, siendo un factor clave para el aumento de la flexibilidad de la madera.

Cuadro 3. Algunas propiedades físicas y mecánicas de las maderas utilizadas para el doblado.

Especie	Radio mínimo de curvatura (cm)	Peso específico		Contenido de humedad %		Módulo de Elasticidad X 10 ³ (Kg/cm ²)	Módulo de Ruptura (Kg/cm ²)
		Básico de la madera	Al 18% de CH *	Antes del doblado	Después del doblado		
Teca	6	0,54	0,65	8,0	16,8	120	900
Melina	4	0,34	0,46	7,5	17,8	71	305

Jául	4	0,33	0,4 5	9,5	19,7	68	463
Caoba	4	0,59	0,5 7	13,3	16,6	80	630
Surá	4	0,59	0,5 2	6,5	19,2	62	500
Promedio				8,96	18,02		

* Incluye peso de adhesivo y madera.

CH: Contenido de humedad

Comparando estas especies con otras de un peso específico semejante que fueron sometidos a un doblado laminado, se observa que los radios de curvatura son menores en las especies de teca, caoba, surá, jául melina, que puede ser explicado por el vaporizado. El cuadro 4 muestra los resultados de otros estudios en cuanto al doblado de la madera en especies forestales mexicanas. Se puede observar, que en todos los casos, para especies de peso específico semejante a las especies de este estudio, se obtuvieron radios de curvaturas mayores. Esto demuestra la importancia del vaporizado para ablandar la madera y lograr mayor flexibilidad.

Cuadro 4. Radios de curvatura para varias especies de México.

Especie	Peso específico básico	Radio mínimo de curvatura (cm)
<i>Cedrela odorata</i>	0,33	10
<i>Schizolobium parahybum</i>	0,35	14
<i>Persea americana</i>	0,40	8
<i>Pinus patula</i>	0,49	12
<i>Fraxinus udei</i>	0,53	8

<i>Quercus Sartorii</i>	0,53	6
<i>Manilkara zapota</i>	0,90	8

Fuente: Pinillos et al. 2007.

La abertura se define como el porcentaje en que la curva o madera laminada tiende a su posición original. Entre los 6 radios de curvatura tratados en este estudio, los radios de 4, 6, 8 y 10 cm no presentaron abertura alguna. Los radios de 12 y 14 cm sí presentan abertura (Cuadro 5). La especie que más tiende a su radio original en el radio de 12 cm es la teca. En el radio de 14 cm, el que más tiende a perder radio original es el surá. Estas aberturas no representan ni un 1 %, siendo un valor poco significativo. En el caso de la Teca, que tiene el valor más alto de abertura con un 0,731%, el mayor valor se produce en la muestra con radio 12 cm, en donde el radio final fue de 12,15 cm, mostrando un incremento de 1,5 mm y representando un porcentaje de abertura de 1,25%. (Anexo 1, cuadro 12).

Cuadro 5. Resumen de porcentaje de abertura en las distintas especies para los radios de 12 cm y 14 cm

Especie	Porcentaje de apertura para radio de 12 cm (%)	Porcentaje de apertura para radio de 14 cm (%)
Teca	0,731	0,171
Melina	0,315	0,072
Jául	0,315	0,143
Caoba	0,548	0,171
Surá	0,458	0,458

Para los valores de porcentajes de abertura de los radios de 12 y 14 cm, se realizó un estudio estadístico para mostrar si existían diferencias estadísticas entre las especies (Cuadro 6). Dicho análisis mostró que a pesar que la teca en el radio de 12 cm y el surá en el radio de 14 cm presentan los mayores

porcentajes de abertura, estos no fueron estadísticamente diferentes con las aberturas obtenidas en las especies de melina, jául y caoba, en los radios mencionados.

Cuadro 6. Resultados del análisis estadístico para radio de 12 cm y 14 cm para las 5 especies.

Radio de curvatura	Día	Grados de libertad Modelo	Grados de libertad Error	Cuadrados medios Error	Valor F	Valor P
12 cm	0	4	15	0,074	0,52	0,72
	2	4	15	0,099	1,60	0,23
	4	4	15	0,105	1,47	0,26
	6	4	15	0,105	1,47	0,26
	8	4	15	0,105	1,47	0,26
14 cm	0	4	15	0,019	0,77	0,56
	2	4	15	0,028	0,58	0,68
	4	4	15	0,055	0,41	0,80
	6	4	15	0,055	0,41	0,80
	8	4	15	0,055	0,41	0,80

Nota: un valor de $P > 0,05$ muestra una diferencia significativa.

El comportamiento del porcentaje de abertura posterior a su prensado es mostrado solo para los radios que presentaron problemas (12 cm y 14 cm) ya que los demás radios no presentaron abertura alguna (Anexo 1). La figura 20A muestra el comportamiento de la abertura que se dio en el radio de 12 cm en los primeros 8 días después del prensado de la curva en las 5 especies estudiadas. Se observa que a partir del día 4 se estabiliza en todas las especies, por lo que podemos deducir que esos primeros 4 días son los críticos en cuanto a la posible abertura. Esto muestra que el adhesivo se rigidiza completamente luego de 96 horas, ya que el valor se mantiene constante para todas las especies. Este comportamiento se confirma (Figura 20B) en el radio de curvatura de 14 cm, en donde se da el mismo fenómeno. La única

especie que no presenta abertura en el tiempo es el jául. Otro aspecto importante que observar es que en algunos casos, no hay una buena estabilización una vez prensadas las curvas de 12 y 14 cm (Figura 20 A y B). Por esto, en algunas curvas, al realizar la primera medición, los valores iniciales distan de cero. Esto se debe a que no ocurrió un prensado adecuado, por lo que esta operación es parte fundamental de cualquier curva deseada.

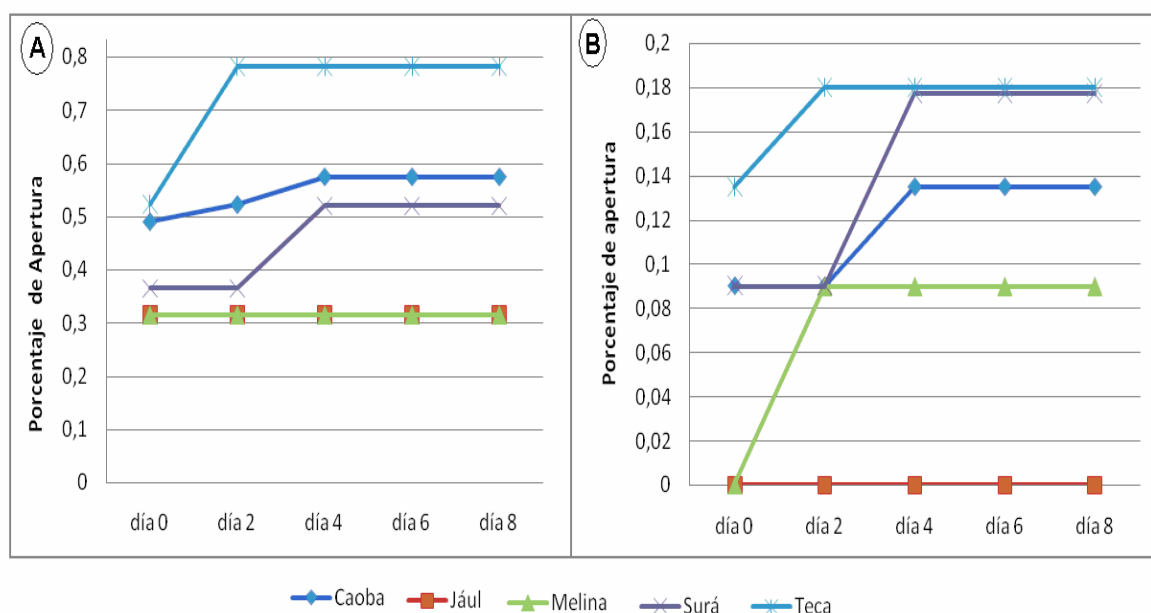


Figura 20. Porcentaje de abertura en el tiempo. A: Radio de 12 cm. B: Radio de 14 cm.

Con respecto al análisis estadístico de la abertura en el tiempo (Cuadro 6), notamos que los valores de P, que son los indicadores de diferencias significativas, se mantienen muy por encima de los 0,05 necesario para que haya alguna diferencia significativa, por lo tanto esto indica que no existe diferencia significativa entre los valores de abertura en los días de medición en las 5 especies en el radio de curvatura de 12 cm. Igual sucede con el radio de curvatura de 14 cm.

4.2 Ensayos sobre la línea de cola.

En la figura 21 se observan los resultados del ensayo cortante. Las especies con mejores características de resistencia fueron la teca y la caoba, ambos con un promedio mayor a 117 Kg/cm². Esto a pesar de que la teca muestra valores de delaminación mayor que cualquier otra especie (se detalla sobre este aspecto en el apartado 4.3) y con los conocidos problemas de encolado que tiene la teca debido a la gran cantidad que extractivos que contiene y la poca compatibilidad que presenta con algunos adhesivos (Moya, 1990). En tanto que el jául presentó los valores más bajos de esfuerzo para fracturar la línea de cola con 56,4 Kg/cm². Es importante hacer notar que estos valores fueron obtenidos de piezas laminadas vaporizadas que presentaron un contenido de humedad de 18,02% (cuadro 3).

Al realizar el estudio estadístico, se observó que solo existe diferencia significativa entre algunas especies. El jául es significativamente diferente con respecto a la teca y la caoba, pero no con la melina y el surá.

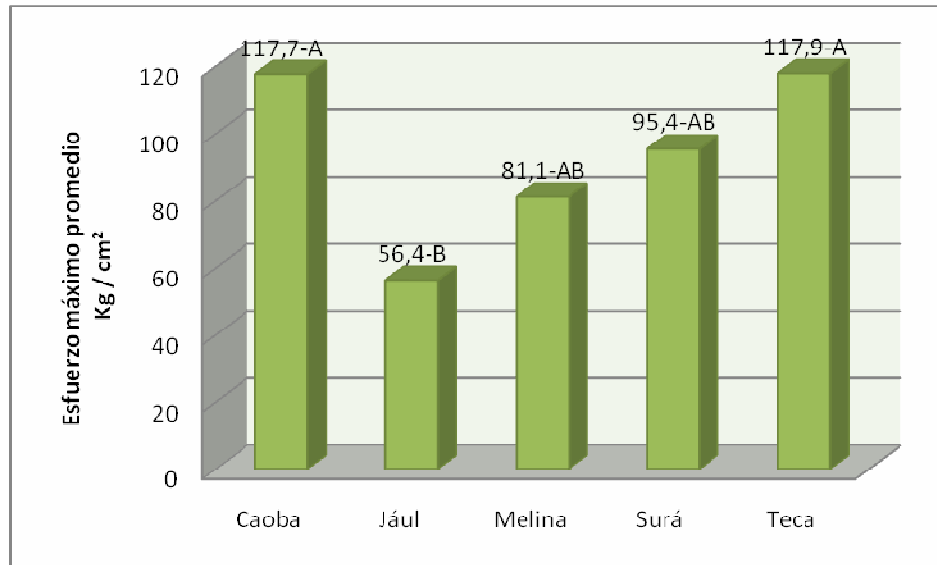


Figura 21. Esfuerzo máximo promedio por especie al realizar ensayo cortante.
 Nota: Las letras muestran las especies con diferencia significativa entre ellos.

Después de la prueba cortante, cada pieza fue sometida a una verificación para determinar el porcentaje de falla en adhesivo. El jául, que tuvo el desempeño más pobre en cuanto al esfuerzo máximo para fallar en la línea de cola (Figura 21), también tuvo el mayor porcentaje de falla en el adhesivo, confirmando aún más su bajo valor en el esfuerzo cortante. En tanto la melina presentó el menor valor de falla en el adhesivo (Figura 22), sugiriendo un buen curado del adhesivo y uniones fuertes entre el adhesivo y la madera, pero por ser una madera de bajo peso específico y densidad, este no presenta valores altos en la resistencia al cortante.

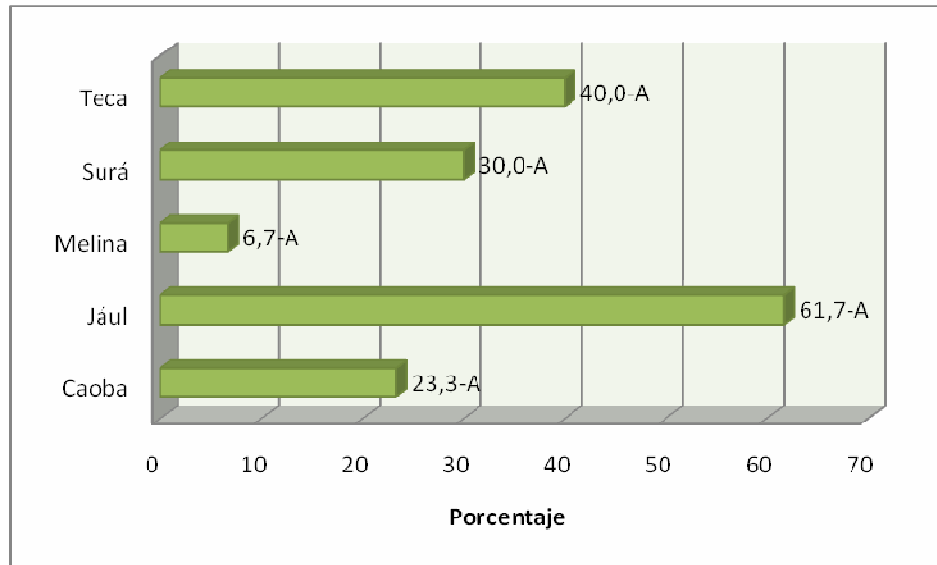


Figura 22. Porcentaje de falla en el adhesivo luego de realizado el ensayo cortante.

No obstante, a pesar de estas diferencias, se encontró que no existe diferencia significativa entre ninguno de los valores en las fallas del adhesivo. De ahí que todos los resultados tengan una A. En este caso no hubo diferencia significativa debido a que el ensayo realizado consistió de solo 3 probetas, dando poca validez estadística. Se requiere de mayor número de ensayos para demostrar que en efecto los valores son confiables y mejorar los resultados en la determinación de diferencias significativas.

Al realizar el ensayo de exposición cíclica acelerada y luego someter a ensayo cortante se determinó que en un 80% de los casos el esfuerzo máximo aumentaba respecto al mismo esfuerzo aplicado con las láminas que denominamos húmedas. Esto se debe al hecho de que no hay humedad dentro de las paredes celulares, produciéndose una mejor difusión aumentando las fuerzas adhesivas entre las moléculas del sustrato y del adhesivo. Los resultados de los ensayos cortantes con la madera anhidra se observa en la figura 23. Al igual que en la condición de humedad, la caoba y

la teca muestran los valores más altos de resistencia y el de jául el de menor resistencia.

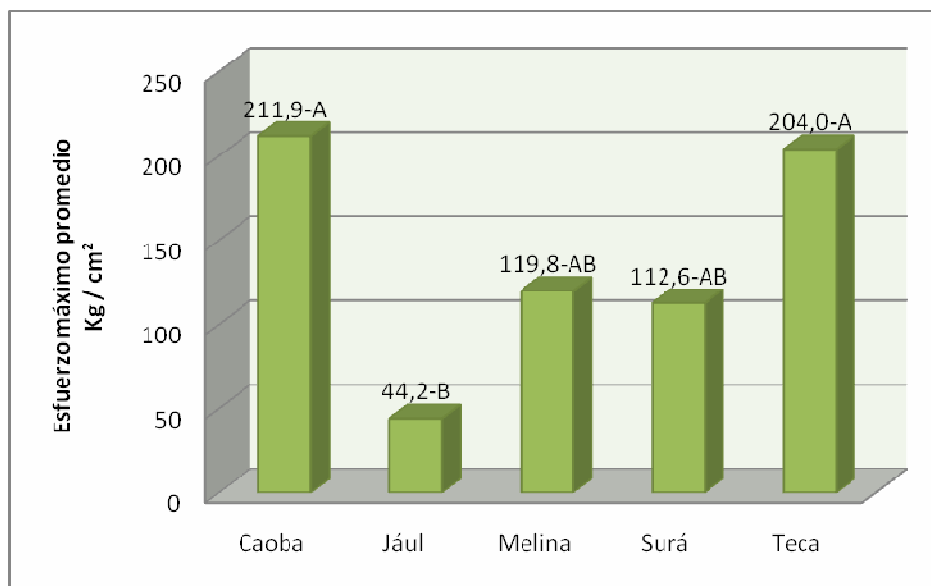


Figura 23. Esfuerzo máximo promedio por especie al realizar ensayo cortante con probetas en seco envejecidos.

Al determinar si existen diferencias estadísticas, se observa que el jául es la especie con más bajo valor de cortante, pero no es significativamente diferente a la melina y el surá pero significativamente diferente de la teca y la caoba (Figura 23) y no se comprueba una diferencia estadísticamente significativa con melina y surá.

Se puede inferir que el tipo de madera influye directamente sobre la resistencia de las líneas de cola por las tensiones internas producidas en la madera, pero en condiciones estables de humedad y espacios interiores, estos factores pudieran verse disminuidos.

Al verificar el porcentaje de falla en adhesivo en esta condición, luego del ensayo cortante, se constata que la teca muestra el peor comportamiento teniendo la mayor falla en el adhesivo (Figura 24). Sin embargo, estos no difieren significativamente de los valores obtenidos para jául, melina y surá. En tanto, la caoba presentó menos porcentaje de falla del adhesivo, pero nuevamente no fue diferente de jául, melina y surá.

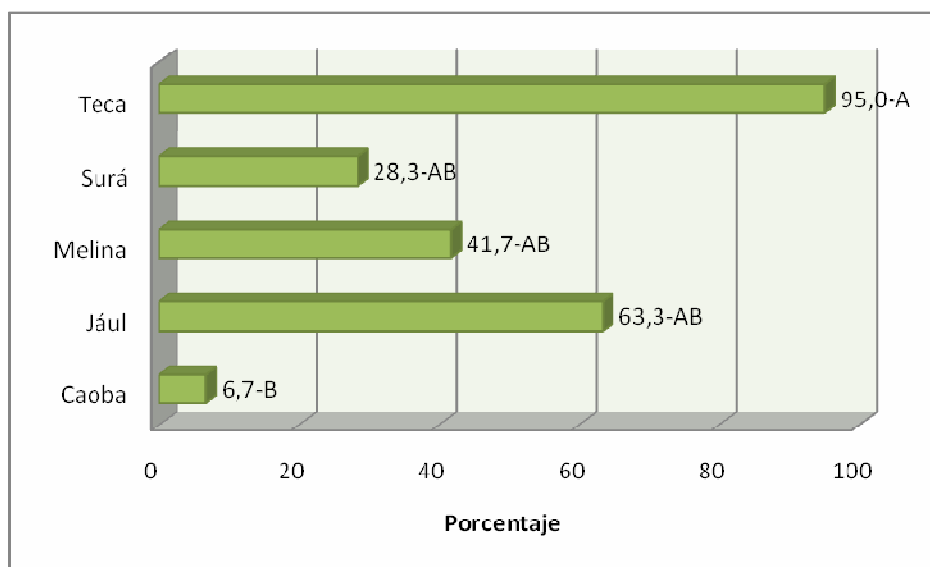


Figura 24. Porcentaje de falla en el adhesivo luego de realizado el ensayo cortante con probetas secas envejecidas.

Al realizar las comparaciones entre los resultados de los ensayos cortantes antes de la exposición cíclica acelerada y después de esta (figura 25), se observa valores mayores en las probetas que fueron expuestas al proceso. Esto, como se había discutido con anterioridad, obedece al hecho de que estas probetas fueron secadas hasta un 0% de contenido de humedad. Esta situación produjo un mejor curado del adhesivo, logrando que se le tuviera que aplicar mayor esfuerzo para producir falla en la línea de

cola. La única excepción es el Jául, que sí mostró una disminución en el esfuerzo máximo promedio, pero no es estadísticamente significativa.

El análisis estadístico realizado con el fin de observar si entre la misma especie había diferencia significativa, mostró que entre la teca y la caoba, sí existe una diferencia significativa. Entre la melina, el jául y el surá de ambas condiciones no se encontró diferencia significativa, por lo que estos presentan un comportamiento semejante antes y después del proceso de la exposición cíclica acelerada.

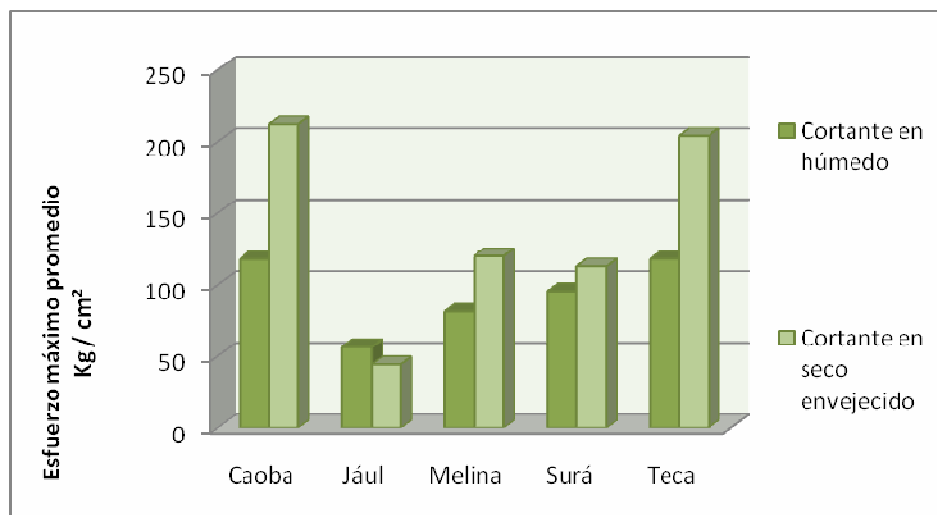


Figura 25. Comparación del efecto del envejecimiento en el esfuerzo máximo sobre la línea de cola.

Al realizar comparaciones entre los resultados de los ensayos cortantes antes y después de la exposición cíclica acelerada y madera sólida (figura 26), se observa que en la mayoría de los casos, las resistencias de las líneas de cola son mayores a los de la madera sólida. El adhesivo tiene un mejor comportamiento que la madera, debido a que alcanza una buena rigidez, lo

que hace que el laminado de estas especies sea factible desde el punto de vista de resistencia, ya que esta se verá aumentada. La excepción es el caso del jául. Esta especie reporta mayor resistencia en la madera que en la línea de cola, mostrando que la especie no es apta para usos de mucha carga.

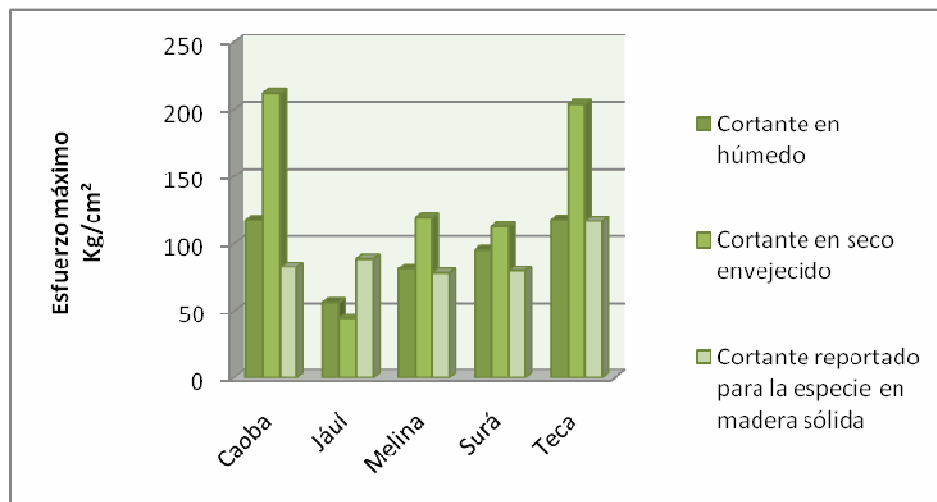


Figura 26. Comparación entre los ensayos cortantes con los valores reportados en las especies en madera sólida.

Nota: Los valores de cortante en madera sólida para las especies fueron obtenidas de: Muñoz, F; Moya, R; Berrocal, A. 2007 (a, b y c)

En la comparación del porcentaje de falla antes y después de la exposición cíclica acelerada (Figura 27) la única especie que muestra un aumento significativo entre el porcentaje de falla en adhesivo es la teca, en donde el análisis estadístico mostró que es la única especie en donde ocurre un aumento significativo en el porcentaje de falla en la línea de cola.

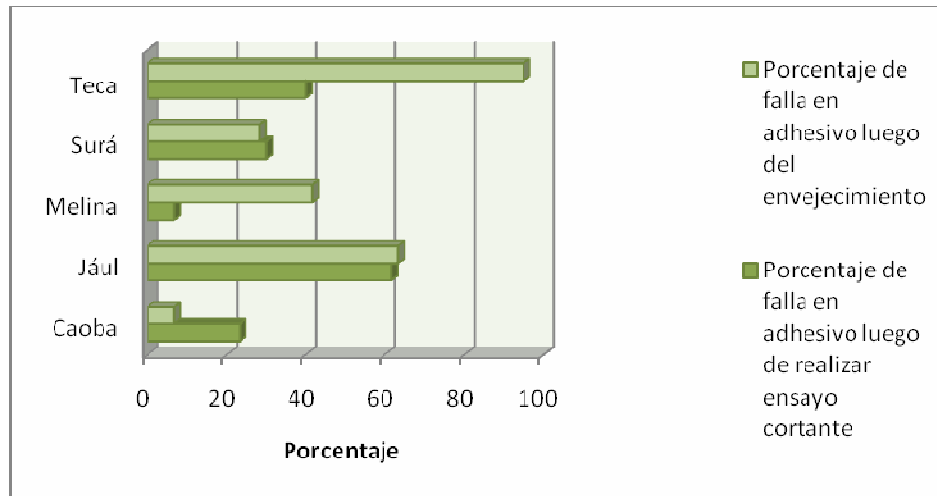


Figura 27. Comparación del efecto del porcentaje de falla en adhesivo.

4.3 Delaminación de la línea de cola.

La especie más propensa a delaminar bajo las condiciones dadas fue la teca. Esto se puede relacionar con la dificultad natural que presenta la teca de ser encolado debido a la gran cantidad de extractivos que posee (Moya, 1990). Es importante señalar que esta misma especie es la que presenta el porcentaje más bajo de delaminación antes de ser sometida a la exposición cíclica acelerada. En la figura 28, se observan las delaminaciones comparativas que sufrieron las especies.

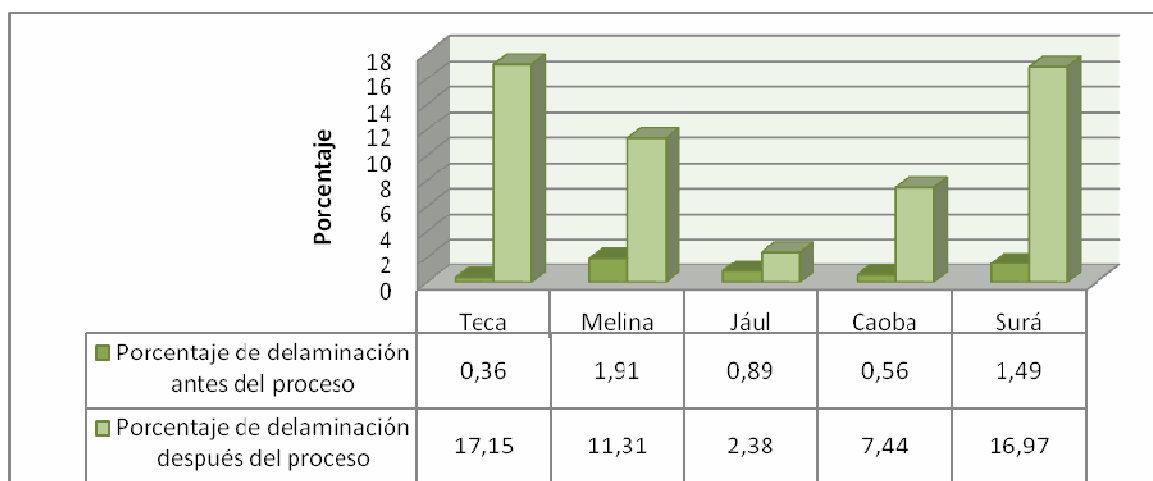


Figura 28. Comparación en las delaminaciones por especie en porcentaje.

La especie que tuvo el mejor comportamiento en el proceso de delaminación fue el jául, que solo presentó delaminación en radios de curvatura de 6 y 4 cm (Cuadro 7). Esto para confirmar la buena trabajabilidad que presenta bajo las condiciones dadas. Las delaminaciones son producidas por contracciones en la madera, por alta tasas de tensión en las láminas, por falta de control de calidad en la construcción o por pérdida de adhesividad durante el proceso de delaminación cíclica (Contreras et al, 2003). En la figura 28 se observa también que la teca sufre la mayor delaminación. En el caso de la teca, se debe a que la especie presenta un alto grado de extractivos, lo que dificulta el curado del adhesivo, y sometido a procesos que modifican sus dimensiones, el adhesivo cede perdiendo la adhesividad durante el proceso. Además, por el alto índice de delaminación, se concluye que la teca y el surá presentaron una mayor inestabilidad dimensional, y por ende, mayores tensiones internas en las líneas de cola sobrepasando los esfuerzos propios de diseño del adhesivo y facilitando a su vez el proceso de delaminación.

El cuadro 7 resume las delaminaciones. En esta se puede observa las delaminaciones en cada línea de cola (L) para todas las especies en los radios de curvatura ensayados.

Cuadro 7. Resumen de delaminaciones por línea de cola en porcentajes por especie y radio.

Especie	Radio	Periodo	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	Promedio
Teca	14	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	0	0	25	12,5	12,5	0	0	7,14
	12	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	12,5	12,5	50	0	0	0	0	10,71
	10	Antes	0	0	0	0	0	12,5	0	1,79
		Después	50	37,5	12,5	12,5	0	37,5	12,5	23,21

Melina	8	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	75	25	0	0	0	0	0	14,29	
	6	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	75	0	62,5	0	25	37,5	12,5	30,36	
	14	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	0	0	0	0	12,5	12,5	0	3,57	
	12	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	25	37,5	25	37,5	25	0	37,5	26,79	
	8	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	0	25	0	12,5	0	0	0	5,36	
	6	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	25	12,5	0	0	25	0	0	8,93	
	4	Antes	25	12,5	0	12,5	0	0	0	7,14	
		Después	62,5	25	0	25	12,5	25	12,5	23,21	
	Jául	14	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
			Después	0	0	0	0	0	0	0	0
12		Antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	0	0	0	0	0	0	0	0	
10		antes	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Después	0	0	0	0	0	0	0	0	

Cont. cuadro 7. Resumen de delaminaciones por línea de cola en porcentajes por especie y radio.

	8	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	0	0	0	0	12,5	0	0	1,79
	4	Antes	37,5	0	0	0	0	0	0	5,36
		Después	50	25	0	12,5	0	0	0	12,5
Caoba	14	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	0	12,5	0	0	0	0	0	1,79
	12	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	0	0	0	0	0	12,5	0	1,79
	10	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	0	0	12,5	0	0	0	0	1,79
	8	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	0	0	12,5	0	0	0	0	1,79
	6	Antes	0	0	0	0	12,5	0	0	1,79
		Después	0	12,5	0	0	12,5	25	0	7,14

	4	Antes	0	12,5	0	0	0	0	0	1,79
		Después	25	25	12,5	25	37,5	50	50	35,42
Surá	14	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	12,5	25	0	0	0	0	0	5,36
	10	Antes	12,5	0	0	12,5	0	0	0	3,57
		Después	87,5	12,5	0	37,5	0	0	0	19,64
	8	Antes	0	0	12,5	0	12,5	0	0	3,57
		Después	0	12,5	37,5	25	12,5	0	0	12,5
	6	Antes	0	0	0	12,5	0	0	0	1,79
		Después	12,5	0	0	12,5	25	37,5	12,5	14,29
	4	Antes	0	0	0	0	0	0	0	0
		Después	50	50	75	37,5	50	37,5	50	50

Simbología para Cuadro 7: L1-línea de cola 1, L2-línea de cola 2, L3-línea de cola 3, L4-línea de cola 4, L5-línea de cola 5, L6-línea de cola 6, L7-línea de cola 7

En las figuras 29, se visualiza el efecto que tuvo el proceso de delaminado en cada radio de cada especie. Como patrón general se observa que hay una tendencia de delaminación mayor cuando el radio de curvatura es menor. Esto se produce por el aumento de las fuerzas de tensión interna de las láminas al ser sometidas a radios de curvaturas menores. Con la excepción de la melina, todas las especies tienen un porcentaje de delaminación mayor en el radio de curvatura de 4 cm.

El jául destaca entre todas las especies. Esta no sufrió ningún tipo de delaminación en los radios de 14 cm hasta los 8 cm y las delaminaciones en los radios de 6 y 4 cm son mínimas. Esto hace del jául una buena madera para producir madera laminada con curva bajo las condiciones dadas.

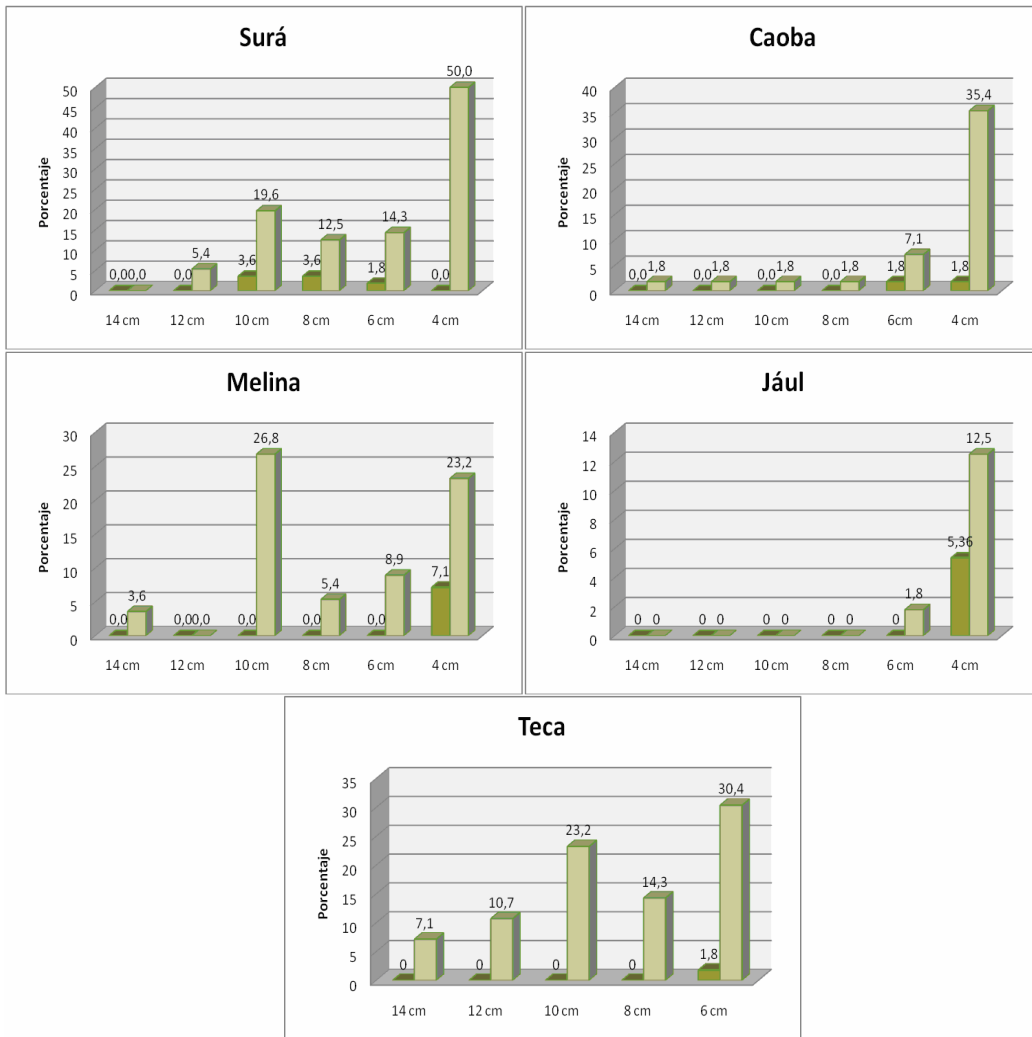


Figura 29. Resumen en porcentaje de las delaminaciones en la línea de cola en surá, caoba, melina, jául y teca para cada radio.

Las delaminaciones sufridas por las probetas se manifestaron de distintas formas. El caso más común fue la delaminación de la primera lámina, que se da en el 11,2% (Anexo 3), como se observa en la figura 30 A. Esto es debido a que en las láminas exteriores, las fuerzas de tensión son mayores, aumentando las delaminaciones. En las figura 30 B se puede observar un ejemplo de delaminación al 100%, siendo el caso más crítico.

A

B



Figura 30. A: Delaminación de unión número 1 en una probeta de teca en radio de 8cm. B: Delaminación total de una probeta de surá de 4 cm.

Entre las cinco especies utilizadas, solamente el jául presentó cierto grado de quebrabilidad. La especie reportó un 2,6% de chapas quebradas (Figura 31). Las demás especies reportaron 0% de chapas quebradas. La figura 31 muestra lo que ocurre en esta especie en un radio de 6 cm. Cuando ocurrió este problema se observó que fue debido a la inclinación del grano producto de un nudo por lo que se debe tratar de obtener láminas completamente con grano recto y libre de nudos.



Figura 31. Lámina quebrada al momento del doblado.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La *Tectona grandis* demostró ser la especie con menor flexibilidad. Además, el de mayores problemas de delaminación y con alto porcentaje de falla en el adhesivo luego del ensayo cortante. Las demás especies (*Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Alnus acuminata* y *Terminalia oblonga*) lograron el radio de curvatura de 4 cm.

El vaporizado de las piezas es un paso fundamental en el doblado laminado, ya que ayuda a aumentar el contenido de humedad y a plastificar la madera, consiguiendo menores radios de curvaturas.

El tiempo de rigidez total para el adhesivo se estableció en 96 horas. Antes de eso hay probabilidades de una abertura en la curva, pero en el peor de los casos será de alrededor de un 1%.

En 4 de las 5 especies, la resistencia de la línea de cola fue mayor que las mismas especies ensayadas con piezas sólidas. Esto muestra que hay factibilidad para el uso de estas especies con poliuretano con el fin de producir madera laminada doblada.

La caoba fue la especie que mejor relación mostró en comparación a madera sólida. La excepción fue el jálul que aunque obtuvo los mejores resultados de delaminación, obtuvo además los peores en cuanto a resistencia, concluyendo que en el tiempo el *Alnus acuminata* mantiene las uniones con el adhesivo, pero no así cuando esas uniones son sometidas a altas cargas.

Entre las 5 especies estudiadas, la caoba es la especie recomendada para elaborar curvas laminadas de acuerdo a la metodología seguida considerando todos los factores evaluados.

El curvado de la madera es un proceso que necesita experiencia previa en el doblado de madera debido al costo de romper madera, no encontrar las condiciones dadas de plasticidad, problemas de humedad en las piezas, tiempos de prensado, etc. Además, es determinante el estado de

la madera (sin nudos ni perforaciones) porque se compromete el curvado y perjudica los resultados.

El prensado debe mantener todo el ángulo de la pieza a ser doblada, para optimizar la misma. Además, se recomienda dejar el prensado más tiempo de lo que el fabricante del adhesivo recomienda para el curado con el fin de alcanzar mayor rigidez. Para el caso de este estudio, ese tiempo fue de 5 veces el recomendado.

El secado total de las piezas aumenta la resistencia de la línea de cola por lo que se recomienda que luego del doblado las piezas sean sometidas a un proceso de calor con el fin de disminuir el porcentaje de humedad relativa en las láminas.

Las láminas exteriores de las curvas son las que más tensión presentan, por ende son las que tienden a delaminar más frecuentemente. Además son las láminas que tienden a quebrarse en el doblado (Figura 32).



Figura 32. Rompimiento de las láminas en mayor tensión al momento del doblado.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Araujo, O; Cerón, M; Chan, M; Azueta, M. 2005. Resistencia a la flexión de vigas laminadas en tres especies de madera tropical mexicana (en línea). Ingeniería: Revista Académica. Volumen 9 número 01. Consultado el 17 jul. 2007. Disponible en <http://www.ingenieria.uady.mx/revista/volumen9/resistencia.pdf>

- Arce, H; Barrantes, A. 2004. La madera en Costa Rica, situación actual y perspectivas. (En línea) San José. ONF-FONAFIFO. Consultado el 15 Nov. 2007. Disponible en <http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/industria/maderacr.pdf>

- Contreras, W; Barrios, E; Owen, N; Encinas, O. 2003. Evaluación de la calidad de las líneas de cola de isocianato en vigas laminadas de pino caribe. Revista forestal Venezuela. 47 (2): 15-22.

- Katsuragi, K. Furniture maker Tai-workshop (en línea). Kumamoto, Japón. Consultado el 29 Jun. 2007. Disponible en [http://www.tai-workshop.com/english/tech_2\(b\)_e.html](http://www.tai-workshop.com/english/tech_2(b)_e.html)

- Martín, C. 2005. Determinación de características de curvado de madera sólida para las especies lenga y tepa. Memoria para optar el título de ingeniero en industria de la madera. Santiago, Chile. Universidad Tecnológica Metropolitana. 110 p.

- Martínez, JL; Pinillos, E. 2007. Doblado laminado de 34 tipos de madera de México: Radios mínimos que se pueden obtener en cada uno de

ellas (en línea). Revista Madera y Bosques. Veracruz, México. Consultado el 20 Jun. 2007. Disponible en http://www.mexicandesign.com/revista/doblado_maderas.html

- Moya, R. *Gmelina arborea* en Costa Rica. 2005. Bois et forets des tropiques. #279. 47-58.
- Moya, R. 1990. Rendimiento y evaluación de adherencia de madera de teca para la fabricación de veleros. Tesis de bachillerato. Cartago, CR. ITCR. 149 p.
- Moya, R; Córdoba, R; Canessa, E; Coto, J; Cervantes, G. 2000. Características de la madera de teca. Informe 1. Cartago. ITCR. 39 p.
- Moya, R; Canessa, E; Araya, L; Leandro, L. 2003. Propiedades generales de la madera de melina provenientes de plantaciones forestales de dos zonas y diferentes grados de manejo de Costa Rica. Informe 9. Cartago. ITCR. 123 p.
- Moya, R; Muñoz, F. 2007 a. Propiedades de madera de especies nativas de rápido crecimiento utilizadas en la reforestación comercial en Costa Rica. En: Concordia y Sánchez, M. Resúmenes de los trabajos del III congreso Iberoamericano de productos forestales (madereros y no madereros). 3-5 julio del 2005. Buenos Aires, Argentina.

- Muñoz, F; Moya, R; Berrocal, A. 2007 b. Propiedades de especies nativas reforestadas comercialmente en Costa Rica: jául. Boletín Cámara costarricense forestal (CCF). #117. 4-6.
- Muñoz, F; Moya, R. 2007 c. Wetpockets in *Gmelina arborea*. Journal of tropical forest science. Volumen 20. Número 1. En prensa
- Nichols, D; González, E. 1991. Especies nativas y exóticas para la reforestación en la zona sur de Costa Rica. Memoria del II encuentro sobre especies forestales. OET-DGF-UNED. San José, Costa Rica. 73 p.
- Pinillos, E. 2006. Doblado de madera (en línea). Revista madera y bosques. Veracruz, México. Consultado el 18 Jun. 2007. Disponible en <http://www.mexicandesign.com/revista/cueto.html>
- Rojas, F. 2003. Normas para la presentación de documentos técnicos. (correo electrónico) Cartago, Costa Rica. ITCR
- Serrano, R; Moya, R; Berrocal, A. 2007. Propiedades de la Madera de teca proveniente de dos calidades de sitio de las regiones Pacífico y Atlántico de Costa Rica. In: INTA Concordia y Sánchez, M. (eds). Resúmenes de los trabajos del III congreso Iberoamericano de productos forestales (madereros y no madereros). 3-5 julio del 2005. Buenos Aires, Argentina.

- Stevens, W; Turner, N. 1970. Wood bending handbook. Ministry of Technology. Londres, Inglaterra. 110p.

- Trujillo, E. 2002. Manual de arboles. Primera edición. Bogota, Colombia. 251 p.

- Woodweb. 1998. Dr. Gene Wenget offers advice on bending solid lumber in production application (en línea). Pennsylvania, EEUU. Consultado el 14 Nov. 2007. Disponible en http://www.woodweb.com/knowledge_base/rx_for_bending_wood.html

ANEXOS

ANEXO 1

Susceptibilidad del doblado. Abertura en las 5 especies.

Cuadro 8. Resultados de prueba en *Swietenia macrophylla* para la medición de la apertura.

Radio	Probeta	Medición	Abertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
14	1	1	0	14	0
14	1	2	0	14	0
14	1	3	0	14	0
14	1	4	0	14	0
14	1	5	0	14	0
14	2	1	0,1	14,05	0,36
14	2	2	0,1	14,05	0,36
14	2	3	0,15	14,075	0,54
14	2	4	0,15	14,075	0,54
14	2	5	0,15	14,075	0,54
14	3	1	0	14	0
14	3	2	0	14	0
14	3	3	0	14	0
14	3	4	0	14	0

14	3	5	0	14	0
14	4	1	0	14	0
14	4	2	0	14	0
14	4	3	0	14	0
14	4	4	0	14	0
14	4	5	0	14	0
12	1	1	0,07	12,035	0,29
12	1	2	0,1	12,05	0,42
12	1	3	0,15	12,075	0,63
12	1	4	0,15	12,075	0,63
12	1	5	0,15	12,075	0,63
12	2	1	0,2	12,1	0,83
12	2	2	0,2	12,1	0,83
12	2	3	0,2	12,1	0,83
12	2	4	0,2	12,1	0,83
12	2	5	0,2	12,1	0,83
12	3	1	0,1	12,05	0,42
12	3	2	0,1	12,05	0,42
12	3	3	0,1	12,05	0,42

Cont. cuadro 8. Resultados de prueba en *Swietenia macrophylla* para la medición de la abertura.

Radio	Probeta	Medición	Abertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de abertura = %A (%)
12	3	4	0,1	12,05	0,42
12	3	5	0,1	12,05	0,42
12	4	1	0,1	12,05	0,42
12	4	2	0,1	12,05	0,42
12	4	3	0,1	12,05	0,42
12	4	4	0,1	12,05	0,42
12	4	5	0,1	12,05	0,42
10	1	1	0	10	0
10	1	2	0	10	0
10	1	3	0	10	0
10	1	4	0	10	0
10	1	5	0	10	0
10	2	1	0	10	0
10	2	2	0	10	0
10	2	3	0	10	0

10	2	4	0	10	0
10	2	5	0	10	0
10	3	1	0	10	0
10	3	2	0	10	0
10	3	3	0	10	0
10	3	4	0	10	0
10	3	5	0	10	0
10	4	1	0	10	0
10	4	2	0	10	0
10	4	3	0	10	0
10	4	4	0	10	0
10	4	5	0	10	0
8	1	1	0	8	0
8	1	2	0	8	0
8	1	3	0	8	0
8	1	4	0	8	0
8	1	5	0	8	0
8	2	1	0	8	0
8	2	2	0	8	0
8	2	3	0	8	0

Cont. cuadro 8. Resultados de prueba en *Swietenia macrophylla* para la medición de la abertura.

Radio	Probeta	Medición	Abertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de abertura = %A (%)
8	2	4	0	8	0
8	2	5	0	8	0
8	3	2	0	8	0
8	3	3	0	8	0
8	3	4	0	8	0
8	3	5	0	8	0
8	4	1	0	8	0
8	4	2	0	8	0
8	4	3	0	8	0
8	4	4	0	8	0
8	4	5	0	8	0
6	1	1	0	6	0
6	1	2	0	6	0

6	1	3	0	6	0
6	1	4	0	6	0
6	1	5	0	6	0
6	2	1	0	6	0
6	2	2	0	6	0
6	2	3	0	6	0
6	2	4	0	6	0
6	2	5	0	6	0
6	3	1	0	6	0
6	3	2	0	6	0
6	3	3	0	6	0
6	3	4	0	6	0
6	3	5	0	6	0
6	4	1	0	6	0
6	4	2	0	6	0
6	4	3	0	6	0
6	4	4	0	6	0
6	4	5	0	6	0
4	1	1	0	4	0
4	1	2	0	4	0
4	1	3	0	4	0
4	1	4	0	4	0

Cont. cuadro 8. Resultados de prueba en *Swietenia macrophylla* para la medición de la abertura.

Radio	Probeta	Medición	Abertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de abertura = %A (%)
4	1	5	0	4	0
4	2	1	0	4	0
4	2	2	0	4	0
4	2	3	0	4	0
4	2	4	0	4	0
4	2	5	0	4	0
4	3	1	0	4	0
4	3	2	0	4	0
4	3	3	0	4	0
4	3	4	0	4	0
4	3	5	0	4	0

4	4	1	0	4	0
4	4	2	0	4	0
4	4	3	0	4	0
4	4	4	0	4	0
4	4	5	0	4	0

Cuadro 9. Resultados de prueba en *Alnus acuminta* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
14	1	1	0	14	0
14	1	2	0	14	0
14	1	3	0	14	0
14	1	4	0	14	0
14	1	5	0	14	0
14	2	1	0	14	0
14	2	2	0	14	0
14	2	3	0	14	0
14	2	4	0	14	0
14	2	5	0	14	0
14	3	1	0	14	0
14	3	2	0	14	0
14	3	3	0	14	0
14	3	4	0	14	0
14	3	5	0	14	0

Cont. cuadro 9. Resultados de prueba en *Alnus acuminta* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
14	4	1	0	14	0
14	4	2	0	14	0
14	4	3	0	14	0
14	4	4	0	14	0
14	4	5	0	14	0
12	1	1	0	12	0
12	1	2	0	12	0
12	1	3	0	12	0

12	1	4	0	12	0
12	1	5	0	12	0
12	2	1	0,15	12,075	0,63
12	2	1	0,15	12,075	0,63
12	2	2	0,15	12,075	0,63
12	2	3	0,15	12,075	0,63
12	2	4	0,15	12,075	0,63
12	2	5	0,15	12,075	0,62
12	3	1	0,15	12,075	0,63
12	3	2	0,15	12,075	0,63
12	3	3	0,15	12,075	0,63
12	3	4	0,15	12,075	0,63
12	3	5	0,15	12,075	0,63
12	4	1	0	12	0
12	4	2	0	12	0
12	4	3	0	12	0
12	4	4	0	12	0
12	4	5	0	12	0
10	1	1	0	10	0
10	1	2	0	10	0
10	1	3	0	10	0
10	1	4	0	10	0
10	1	5	0	10	0
10	2	1	0	10	0
10	2	2	0	10	0
10	2	3	0	10	0
10	2	4	0	10	0

Cont. cuadro 9. Resultados de prueba en *Alnus acuminta* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
10	2	5	0	10	0
10	3	1	0	10	0
10	3	2	0	10	0
10	3	3	0	10	0
10	3	4	0	10	0
10	3	5	0	10	0

10	4	1	0	10	0
10	4	2	0	10	0
10	4	3	0	10	0
10	4	4	0	10	0
10	4	5	0	10	0
8	1	1	0	8	0
8	1	2	0	8	0
8	1	3	0	8	0
8	1	4	0	8	0
8	1	5	0	8	0
8	2	1	0	8	0
8	2	2	0	8	0
8	2	3	0	8	0
8	2	4	0	8	0
8	2	5	0	8	0
8	3	1	0	8	0
8	3	2	0	8	0
8	3	3	0	8	0
8	3	4	0	8	0
8	3	5	0	8	0
8	4	1	0	8	0
8	4	2	0	8	0
8	4	3	0	8	0
8	4	4	0	8	0
8	4	5	0	8	0
6	1	1	0	6	0
6	1	2	0	6	0
6	1	3	0	6	0
6	1	4	0	6	0
6	1	5	0	6	0

Cont. cuadro 9. Resultados de prueba en *Alnus acuminta* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
6	2	1	0	6	0
6	2	2	0	6	0
6	2	3	0	6	0
6	2	4	0	6	0

6	2	5	0	6	0
6	3	1	0	6	0
6	3	2	0	6	0
6	3	3	0	6	0
6	3	4	0	6	0
6	3	5	0	6	0
6	4	1	0	6	0
6	4	2	0	6	0
6	4	3	0	6	0
6	4	4	0	6	0
6	4	5	0	6	0
4	1	1	0	4	0
4	1	2	0	4	0
4	1	3	0	4	0
4	1	4	0	4	0
4	1	5	0	4	0
4	2	1	0	4	0
4	2	2	0	4	0
4	2	3	0	4	0
4	2	4	0	4	0
4	2	5	0	4	0
4	3	1	0	4	0
4	3	2	0	4	0
4	3	3	0	4	0
4	3	4	0	4	0
4	3	5	0	4	0
4	4	1	0	4	0
4	4	2	0	4	0
4	4	3	0	4	0
4	4	4	0	4	0
4	4	5	0	4	0

Cuadro 10. Resultados de prueba en *Gmelina arborea* para la medición de apertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
14	1	1	0	14	0
14	1	2	0	14	0

14	1	3	0	14	0
14	1	4	0	14	0
14	1	5	0	14	0
14	2	1	0	14	0
14	2	2	0,1	14,05	0,36
14	2	3	0,1	14,05	0,36
14	2	4	0,1	14,05	0,36
14	2	5	0,1	14,05	0,36
14	3	1	0	14	0
14	3	2	0	14	0
14	3	3	0	14	0
14	3	4	0	14	0
14	3	5	0	14	0
14	4	1	0	14	0
14	4	2	0	14	0
14	4	3	0	14	0
14	4	4	0	14	0
14	4	5	0	14	0
12	1	1	0,05	12,025	0,21
12	1	2	0,05	12,025	0,21
12	1	3	0,05	12,025	0,21
12	1	4	0,05	12,025	0,21
12	1	5	0,05	12,025	0,21
12	2	1	0,05	12,025	0,21
12	2	2	0,05	12,025	0,21
12	2	3	0,05	12,025	0,21
12	2	4	0,05	12,025	0,21
12	2	5	0,05	12,025	0,21
12	3	1	0,1	12,05	0,42
12	3	2	0,1	12,05	0,42
12	3	3	0,1	12,05	0,42
12	3	4	0,1	12,05	0,42

Cont. cuadro 10. Resultados de prueba en *Gmelina arborea* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
-------	---------	----------	---------------	------------------	---------------------------------

12	3	5	0,1	12,05	0,42
12	4	1	0,1	12,05	0,42
12	4	2	0,1	12,05	0,42
12	4	3	0,1	12,05	0,42
12	4	4	0,1	12,05	0,42
12	4	5	0,1	12,05	0,42
10	1	1	0	10	0
10	1	2	0	10	0
10	1	3	0	10	0
10	1	4	0	10	0
10	1	5	0	10	0
10	2	1	0	10	0
10	2	2	0	10	0
10	2	3	0	10	0
10	2	4	0	10	0
10	2	5	0	10	0
10	2	1	0	10	0
10	3	2	0	10	0
10	3	3	0	10	0
10	3	4	0	10	0
10	3	5	0	10	0
10	3	1	0	10	0
10	4	2	0	10	0
10	4	3	0	10	0
10	4	4	0	10	0
10	4	5	0	10	0
8	1	1	0	8	0
8	1	2	0	8	0
8	1	3	0	8	0
8	1	4	0	8	0
8	1	5	0	8	0
8	2	1	0	8	0
8	2	2	0	8	0
8	2	3	0	8	0
8	2	4	0	8	0
8	2	5	0	8	0

Cont. cuadro 10. Resultados de prueba en *Gmelina arborea* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura =
-------	---------	----------	---------------	------------------	--------------------------

					%A (%)
8	3	1	0	8	0
8	3	2	0	8	0
8	3	3	0	8	0
8	3	4	0	8	0
8	3	5	0	8	0
8	4	1	0	8	0
8	4	2	0	8	0
8	4	3	0	8	0
8	4	4	0	8	0
8	4	5	0	8	0
6	1	1	0	6	0
6	1	2	0	6	0
6	1	3	0	6	0
6	1	4	0	6	0
6	1	5	0	6	0
6	2	1	0	6	0
6	2	2	0	6	0
6	2	3	0	6	0
6	2	4	0	6	0
6	2	5	0	6	0
6	3	1	0	6	0
6	3	2	0	6	0
6	3	3	0	6	0
6	3	4	0	6	0
6	3	5	0	6	0
6	4	1	0	6	0
6	4	2	0	6	0
6	4	3	0	6	0
6	4	4	0	6	0
6	4	5	0	6	0
4	1	1	0	4	0
4	1	2	0	4	0
4	1	3	0	4	0
4	1	4	0	4	0
4	1	5	0	4	0

Cont. cuadro 10. Resultados de prueba en *Gmelina arborea* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
4	2	1	0	4	0
4	2	2	0	4	0
4	2	3	0	4	0
4	2	4	0	4	0
4	2	5	0	4	0
4	3	1	0	4	0
4	3	2	0	4	0
4	3	3	0	4	0
4	3	4	0	4	0
4	3	5	0	4	0
4	4	1	0	4	0
4	4	2	0	4	0
4	4	3	0	4	0
4	4	4	0	4	0
4	4	5	0	4	0

Cuadro 11. Resultados de prueba en *Terminalia oblonga* para la medición de apertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
14	1	1	0	14	0
14	1	2	0	14	0
14	1	3	0	14	0
14	1	4	0	14	0
14	1	5	0	14	0
14	2	1	0,1	14,05	0,36
14	2	2	0,1	14,05	0,36
14	2	3	0,2	14,1	0,71
14	2	4	0,2	14,1	0,71
14	2	5	0,2	14,1	0,71
14	3	1	0	14	0
14	3	2	0	14	0
14	3	3	0	14	0
14	3	4	0	14	0

14	3	5	0	14	0
----	---	---	---	----	---

Cont. cuadro 11. Resultados de prueba en *Terminalia oblonga* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
14	4	1	0	14	0
14	4	2	0	14	0
14	4	3	0	14	0
14	4	4	0	14	0
14	4	5	0	14	0
12	1	1	0	12	0
12	1	2	0	12	0
12	1	3	0	12	0
12	1	4	0	12	0
12	1	5	0	12	0
12	2	1	0,05	12,025	0,21
12	2	2	0,05	12,025	0,21
12	2	3	0,1	12,05	0,42
12	2	4	0,1	12,05	0,42
12	2	5	0,1	12,05	0,42
12	3	1	0,1	12,05	0,42
12	3	2	0,1	12,05	0,42
12	3	3	0,2	12,1	0,83
12	3	4	0,2	12,1	0,83
12	3	5	0,2	12,1	0,83
12	4	1	0,2	12,1	0,83
12	4	2	0,2	12,1	0,83
12	4	3	0,2	12,1	0,83
12	4	4	0,2	12,1	0,83
12	4	5	0,2	12,1	0,83
10	1	1	0	10	0
10	1	2	0	10	0
10	1	3	0	10	0
10	1	4	0	10	0
10	1	5	0	10	0
10	2	1	0	10	0
10	2	2	0	10	0
10	2	3	0	10	0

10	2	4	0	10	0
10	2	5	0	10	0
10	3	1	0	10	0

Cont. cuadro 11. Resultados de prueba en *Terminalia oblonga* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
10	3	2	0	10	0
10	3	3	0	10	0
10	3	4	0	10	0
10	3	5	0	10	0
10	4	1	0	10	0
10	4	2	0	10	0
10	4	3	0	10	0
10	4	4	0	10	0
10	4	5	0	10	0
8	1	1	0	8	0
8	1	2	0	8	0
8	1	3	0	8	0
8	1	4	0	8	0
8	1	5	0	8	0
8	2	1	0	8	0
8	2	2	0	8	0
8	2	3	0	8	0
8	2	4	0	8	0
8	2	5	0	8	0
8	3	1	0	8	0
8	3	2	0	8	0
8	3	3	0	8	0
8	3	4	0	8	0
8	3	5	0	8	0
8	4	1	0	8	0
8	4	2	0	8	0
8	4	3	0	8	0
8	4	4	0	8	0
8	4	5	0	8	0
6	1	1	0	6	0
6	1	2	0	6	0

6	1	3	0	6	0
6	1	4	0	6	0
6	1	5	0	6	0
6	2	1	0	6	0
6	2	2	0	6	0

Cont. cuadro 11. Resultados de prueba en *Terminalia oblonga* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
6	2	3	0	6	0
6	2	4	0	6	0
6	2	5	0	6	0
6	3	1	0	6	0
6	3	2	0	6	0
6	3	3	0	6	0
6	3	4	0	6	0
6	3	5	0	6	0
6	4	1	0	6	0
6	4	2	0	6	0
6	4	3	0	6	0
6	4	4	0	6	0
6	4	5	0	6	0
4	1	1	0	4	0
4	1	2	0	4	0
4	1	3	0	4	0
4	1	4	0	4	0
4	1	5	0	4	0
4	2	1	0	4	0
4	2	2	0	4	0
4	2	3	0	4	0
4	2	4	0	4	0
4	2	5	0	4	0
4	3	1	0	4	0
4	3	2	0	4	0
4	3	3	0	4	0
4	3	4	0	4	0
4	3	5	0	4	0

4	4	1	0	4	0
4	4	2	0	4	0
4	4	3	0	4	0
4	4	4	0	4	0
4	4	5	0	4	0

Cuadro 12. Resultado de prueba en *Tectona grandis* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de apertura = %A (%)
14	1	1	0,05	14,025	0,18
14	1	2	0,1	14,05	0,36
14	1	3	0,1	14,05	0,36
14	1	4	0,1	14,05	0,36
14	1	5	0,1	14,05	0,36
14	2	1	0	14	0
14	2	2	0	14	0
14	2	3	0	14	0
14	2	4	0	14	0
14	2	5	0	14	0
14	3	1	0,1	14,05	0,36
14	3	2	0,1	14,05	0,36
14	3	3	0,1	14,05	0,36
14	3	4	0,1	14,05	0,36
14	3	5	0,1	14,05	0,36
14	4	1	0	14	0
14	4	2	0	14	0
14	4	3	0	14	0
14	4	4	0	14	0
14	4	5	0	14	0
12	1	1	0,1	12,05	0,42
12	1	2	0,1	12,05	0,42
12	1	3	0,1	12,05	0,42
12	1	4	0,1	12,05	0,42
12	1	5	0,1	12,05	0,42
12	2	1	0,05	12,05	0,42
12	2	2	0,3	12,15	1,25
12	2	3	0,3	12,15	1,25

12	2	4	0,3	12,15	1,25
12	2	5	0,3	12,15	1,25
12	3	1	0,2	12,1	0,83
12	3	2	0,25	12,125	1,04
12	3	3	0,25	12,125	1,04
12	3	4	0,25	12,125	1,04
12	3	5	0,25	12,125	1,04
12	4	1	0,1	12,05	0,42

Cont. cuadro 12. Resultado de prueba en *Tectona grandis* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de abertura = %A (%)
12	4	2	0,1	12,05	0,42
12	4	3	0,1	12,05	0,42
12	4	4	0,1	12,05	0,42
12	4	5	0,1	12,05	0,42
10	1	1	0	10	0
10	1	2	0	10	0
10	1	3	0	10	0
10	1	4	0	10	0
10	1	5	0	10	0
10	2	1	0	10	0
10	2	2	0	10	0
10	2	3	0	10	0
10	2	4	0	10	0
10	2	5	0	10	0
10	3	1	0	10	0
10	3	2	0	10	0
10	3	3	0	10	0
10	3	4	0	10	0
10	3	5	0	10	0
10	4	1	0	10	0
10	4	2	0	10	0
10	4	3	0	10	0
10	4	4	0	10	0
10	4	5	0	10	0
8	1	1	0	8	0
8	1	2	0	8	0

8	1	3	0	8	0
8	1	4	0	8	0
8	1	5	0	8	0
8	2	1	0	8	0
8	2	2	0	8	0
8	2	3	0	8	0
8	2	4	0	8	0
8	2	5	0	8	0
8	3	1	0	8	0
8	3	2	0	8	0

Cont. cuadro 12. Resultado de prueba en *Tectona grandis* para la medición de abertura.

Radio	Probeta	Medición	Apertura (cm)	Radio Final (cm)	Porcentaje de abertura = %A (%)
8	3	3	0	8	0
8	3	4	0	8	0
8	3	5	0	8	0
8	4	1	0	8	0
8	4	2	0	8	0
8	4	3	0	8	0
8	4	4	0	8	0
8	4	5	0	8	0
6	1	1	0	6	0
6	1	2	0	6	0
6	1	3	0	6	0
6	1	4	0	6	0
6	1	5	0	6	0
6	2	1	0	6	0
6	2	2	0	6	0
6	2	3	0	6	0
6	2	4	0	6	0
6	2	5	0	6	0
6	3	1	0	6	0
6	3	2	0	6	0
6	3	3	0	6	0
6	3	4	0	6	0
6	3	5	0	6	0

6	4	1	0	6	0
6	4	2	0	6	0
6	4	3	0	6	0
6	4	4	0	6	0
6	4	5	0	6	0

ANEXO 2

Ensayos cortantes y falla en el adhesivo

Cuadro 13. Resultados de ensayos cortantes en húmedo.

Número Probeta	Peso Húmedo g	Peso Seco g	CH%	L1 mm	L2 mm	Área de fuerza cm ²	Alto mm	Carga Ruptura kg	Esfuerzo Máximo kg/cm ²
SURÁ									
S1-1	38,98	32,65	19,39	50,43	48,60	24,51	23,71	1.222,28	106,07
S2-2	38,25	32,05	19,34	50,25	48,72	24,48	23,31	957,02	84,27
S1-3	39,30	33,06	18,87	50,53	48,93	24,72	23,55	1.104,09	95,82
Promedios			19,20					1.094,46	95,39
TECA									
T1-1	45,44	39,25	15,77	50,37	48,50	24,43	24,64	1.778,83	148,85
T2-2	46,67	39,91	16,94	50,59	48,58	24,58	24,23	1.350,79	114,76
T1-3	44,26	37,61	17,68	50,18	48,60	24,39	24,20	1.060,14	90,14
Promedios			16,80					1.396,59	117,92
CAOBA									
C1-1	39,93	34,49	15,77	50,39	48,61	24,49	24,4	1.620,7	136,64

							4	1	
C2-2	40,24	33,98	18,42	50,90	48,57	24,72	24,64	1.365,94	113,99
C1-3	38,90	33,66	15,57	50,65	48,85	24,74	24,70	1.234,66	102,33
Promedios			16,59					1407,10	117,66
MELINA									
M1-1	32,56	27,29	19,31	50,64	48,06	24,34	23,50	1.067,28	94,50
M2-2	31,62	27,22	16,16	50,14	48,65	24,39	25,38	643,86	52,15
M1-3	32,30	27,37	18,01	50,15	48,49	24,32	23,77	1.114,97	96,73
Promedios			17,83					942,04	81,13
JÁUL									
J1-1	30,91	25,92	19,25	50,04	48,22	24,13	25,26	921,54	75,66
J2-2	32,50	27,13	19,79	50,68	48,61	24,64	24,81	472,51	39,18
J1-3	30,82	25,70	19,92	50,84	48,77	24,79	25,11	664,08	54,23
Promedios			19,66					686,04	56,36

Cuadro 14. Resultados de ensayos cortantes luego del envejecimiento rápido y en seco.

Número Probeta	Peso Húmedo g	Peso Seco g	CH%	L1 mm	L2 mm	Área de fuerza cm ²	Alto mm	Carga Ruptura kg	Esfuerzo Máximo kg/cm ²
SURÁ									
S1-2	37,84	32,25	17,33	50,62	48,85	24,73	23,68	1.170,35	101,91
S2-1	38,31	32,62	17,44	50,69	48,73	24,70	23,15	751,45	66,61
S2-3	37,60	32,14	16,99	50,59	48,40	24,49	22,86	1.873,8	169,36

								2	
Promedios			17,25					1.265,21	112,63
TECA									
T1-2	44,48	38,79	14,67	50,37	48,28	24,32	24,56	2.398,56	202,28
T2-1	46,93	40,69	15,34	50,49	48,40	24,44	25,19	2.305,44	189,09
T2-3	46,60	40,51	15,03	50,59	48,04	24,30	24,94	2.644,58	220,73
Promedios			15,01					2.449,53	204,03
CAOBA									
C1-2	38,85	33,64	15,49	50,17	48,54	24,35	24,37	1961,17	165,7909
C2-1	39,53	34,34	15,11	50,40	48,34	24,36	23,64	2614,71	228,8069
C2-3	38,60	33,40	15,57	50,22	48,33	24,27	23,65	2757,96	241,2463
Promedios			15,39					2444,61	211,95
MELINA									
M1-2	32,19	27,83	15,67	50,12	48,05	24,08	24,83	1.881,71	157,72
M2-1	31,69	27,66	14,57	50,14	48,42	24,28	25,42	758,68	62,75
M2-3	31,14	27,22	14,40	49,95	48,71	24,33	24,90	1.686,54	139,05
Promedios			14,88					1.442,31	119,8405
JÁUL									
J1-2	29,83	25,77	15,75	50,11	48,26	24,18	24,76	382,32	31,99
J2-1	31,76	27,36	16,08	50,28	48,41	24,34	24,97	561,95	46,49
J2-3	30,33	26,16	15,94	50,77	48,72	24,74	24,43	643,22	54,04
Promedios			15,93					529,16	44,18

Cuadro 15. Porcentaje de falla en el adhesivo luego de ensayo cortante.

Numero Probeta	falla adhesivo %	falla madera %	Observación
SURÁ			
S1-1	55	45	Con falla profunda en madera
S2-2	5	95	
S1-3	ND	ND	No hubo falla en la línea de cola
Promedio	30	70	
TECA			
T1-1	5	95	
T2-2	60	40	con falla profunda en madera
T1-3	55	45	
Promedio	40	60	
CAOBA			
C1-1	0	100	
C2-2	20	80	con falla profunda en madera
C1-3	50	50	con falla profunda en madera
Promedio	23,33	76,67	
JÁUL			
J1-1	20	80	
J2-2	75	25	
J1-3	90	10	
Promedio	61,67	38,33	
MELINA			
M1-1	10	90	
M2-2	0	100	
M1-3	10	90	
Promedio	6,67	93,33	

Cuadro 16. Porcentaje de falla en adhesivo luego de ensayo cortante envejecido y en seco.

Numero Probeta	falla adhesivo %	falla madera %	Observación
SURÁ			
S1-2	60	40	
S2-1	20	80	
S2-3	5	95	
Promedio	28,3	71,67	
TECA			
T1-2	100	0	
T2-1	90	10	
T2-3	95	5	
Promedio	95	5	
CAOBA			
C1-2	0	100	
C2-1	0	100	
C2-3	20	80	
Promedio	6,67	93,3	
JÁUL			
J1-2	80	20	
J2-1	60	40	
J2-3	50	50	
Promedio	63,3	36,67	
MELINA			
M1-2	30	70	
M2-1	95	5	
M2-3	0	100	
Promedio	41,67	58,3	

ANEXO 3

Delaminación

Cuadro 17. Delaminación en caoba antes del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión	Número de unión	DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	C1-14	-	-	0	0	0	0
14	C2-14	-	-	0	0	0	
14	C3-14	-	-	0	0	0	
14	C4-14	-	-	0	0	0	
12	C1-12	-	-	0	0	0	0
12	C2-12	-	-	0	0	0	
12	C3-12	-	-	0	0	0	
12	C4-12	-	-	0	0	0	
10	C1-10	-	-	0	0	0	0
10	C2-10	-	-	0	0	0	
10	C3-10	-	-	0	0	0	
10	C4-10	-	-	0	0	0	
8	C1-8	-	-	0	0	0	0
8	C2-8	-	-	0	0	0	
8	C3-8	-	-	0	0	0	
8	C4-8	-	-	0	0	0	
6	C1-6	-	-	0	0	0	1,79
6	C2-6	-	-	0	0	0	
6	C3-6	-	-	0	0	0	
6	C4-6	(5)	-	14,29	0	7,15	
4	C1-4	-	-	0	0	0	1,79
4	C2-4	-	-	0	0	0	
4	C3-4	-	-	0	0	0	
4	C4-4	(2)	-	14,29	0	7,15	
Total		2	0	-	-	-	
Promedio				1,191	0	0,595	

Cuadro 18. Delaminación en surá antes del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión		DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	S1-14	-	-	0	0	0	0
14	S2-14	-	-	0	0	0	
14	S3-14	-	-	0	0	0	
14	S4-14	-	-	0	0	0	
12	S1-12	-	-	0	0	0	0
12	S2-12	-	-	0	0	0	
12	S3-12	-	-	0	0	0	
12	S4-12	-	-	0	0	0	
10	S1-10	-	-	0	0	0	3,57
10	S2-10	-	-	0	0	0	
10	S3-10	-	(1)(6)	0	28,57	14,29	
10	S4-10	-	-	0	0	0	
8	S1-8	-	(5)	0	14,29	7,15	3,57
8	S2-8	-	(3)	0	14,29	7,15	
8	S3-8	-	-	0	0	0	
8	S4-8	-	-	0	0	0	
6	S1-6	-	-	0	0	0	1,79
6	S2-6	-	-	0	0	0	
6	S3-6	(4)	-	14,29	0	7,15	
6	S4-6	-	-	0	0	0	
4	S1-4	-	-	0	0	0	0
4	S2-4	-	-	0	0	0	
4	S3-4	-	-	0	0	0	
4	S4-4	-	-	0	0	0	
Total		1	4	-	-	-	
Promedio				0,595	2,381	1,489	

Cuadro 19. Delaminación en melina antes del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión		DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	M1-14	-	-	0	0	0	0
14	M2-14	-	-	0	0	0	
14	M3-14	-	-	0	0	0	
14	M4-14	-	-	0	0	0	
12	M1-12	-	-	0	0	0	0
12	M2-12	-	-	0	0	0	
12	M3-12	-	-	0	0	0	
12	M4-12	-	-	0	0	0	
10	M1-10	-	-	0	0	0	0
10	M2-10	-	-	0	0	0	
10	M3-10	-	-	0	0	0	
10	M4-10	-	-	0	0	0	
8	M1-8	-	-	0	0	0	0
8	M2-8	-	-	0	0	0	
8	M3-8	-	-	0	0	0	
8	M4-8	-	-	0	0	0	
6	M1-6	-	-	0	0	0	0
6	M2-6	-	-	0	0	0	
6	M3-6	-	-	0	0	0	
6	M4-6	-	-	0	0	0	
4	M1-4	-	-	0	0	0	7,15
4	M2-4	-	(1)	0	14,29	7,15	
4	M3-4	-	(1)(2)	0	28,57	14,29	
4	M4-4	-	(4)	0	14,29	7,15	
Total		0	4	-	-	-	
Promedio				0	2,381	1,191	

Cuadro 20. Delaminación en Jául antes del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión	Número de unión	DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	J1-14	-	-	0	0	0	0
14	J2-14	-	-	0	0	0	
14	J3-14	-	-	0	0	0	
14	J4-14	-	-	0	0	0	
12	J1-12	-	-	0	0	0	0
12	J2-12	-	-	0	0	0	
12	J3-12	-	-	0	0	0	
12	J4-12	-	-	0	0	0	
10	J1-10	-	-	0	0	0	0
10	J2-10	-	-	0	0	0	
10	J3-10	-	-	0	0	0	
10	J4-10	-	-	0	0	0	
8	J1-8	-	-	0	0	0	0
8	J2-8	-	-	0	0	0	
8	J3-8	-	-	0	0	0	
8	J4-8	-	-	0	0	0	
6	J1-6	-	-	0	0	0	0
6	J2-6	-	-	0	0	0	
6	J3-6	-	-	0	0	0	
6	J4-6	-	-	0	0	0	
4	J1-4	-	(1)	0	14,29	7,15	5,36
4	J2-4	-	-	0	0	0	
4	J3-4	(1)	-	14,29	0	7,15	
4	J4-4	(1)	-	14,29	0	7,15	
Total		2	1	-	-	-	
Promedio				1,191	0,595	0,893	

Cuadro 21: Delaminación en teca antes del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión	Número de unión	DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	T1-14	-	-	0	0	0	0
14	T2-14	-	-	0	0	0	
14	T3-14	-	-	0	0	0	
14	T4-14	-	-	0	0	0	
12	T1-12	-	-	0	0	0	0
12	T2-12	-	-	0	0	0	
12	T3-12	-	-	0	0	0	
12	T4-12	-	-	0	0	0	
10	T1-10	-	-	0	0	0	1,79
10	T2-10	(6)	-	14,29	0	7,15	
10	T3-10	-	-	0	0	0	
10	T4-10	-	-	0	0	0	
8	T1-8	-	-	0	0	0	0
8	T2-8	-	-	0	0	0	
8	T3-8	-	-	0	0	0	
8	T4-8	-	-	0	0	0	
6	T1-6	-	-	0	0	0	0
6	T2-6	-	-	0	0	0	
6	T3-6	-	-	0	0	0	
6	T4-6	-	-	0	0	0	
Total		1	0	-	-	-	
Promedio				0,715	0	0,357	

Cuadro 22. Delaminación en caoba después del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión		DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	C1-14	-	-	0	0	0	1,79
14	C2-14	-	-	0	0	0	
14	C3-14	-	-	0	0	0	
14	C4-14	-	(2)	14,29	0	7,15	
12	C1-12	(6)	-	0	14,29	7,15	1,79
12	C2-12	-	-	0	0	0	
12	C3-12	-	-	0	0	0	
12	C4-12	-	-	0	0	0	
10	C1-10	-	-	0	0	0	1,79
10	C2-10	-	-	0	0	0	
10	C3-10	-	-	0	0	0	
10	C4-10	-	(3)	0	14,29	7,15	
8	C1-8	-	-	0	0	0	1,79
8	C2-8	-	-	0	0	0	
8	C3-8	-	-	0	0	0	
8	C4-8	-	(3)	0	14,29	7,15	
6	C1-6	-	(2)(6)	0	28,57	14,29	5,36
6	C2-6	-	-	0	0	0	
6	C3-6	-	-	0	0	0	
6	C4-6	(5)(6)	-	28,57	0	14,29	
4	C1-4	-	-	0	0	0	32,14
4	C2-4	-	-	0	0	0	
4	C3-4	(4)(5)(6)) (7)	(1)(2)(3)(4)) (5)(6)(7)	57,14	100	78,57	

4	C4-4	(5)(6)(7)	(1)(2)(6)(7)	42,86	57,14	50,00	
Total		9	16	-	-	-	
Promedio				5,953	9,524	7,738	

Cuadro 23. Delaminación en surá después del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión		DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	S1-14	-	-	0	0	0	0
14	S2-14	-	-	0	0	0	
14	S3-14	-	-	0	0	0	
14	S4-14	-	-	0	0	0	
12	S1-12	(1)	(2)	14,29	14,29	14,29	5,36
12	S2-12	-	(2)	0	14,29	7,15	
12	S3-12	-	-	0	0	0	
12	S4-12	-	-	0	0	0	
10	S1-10	(1)	(1)	14,29	14,29	14,29	19,65
10	S2-10	(1)(4)	(1)	28,57	14,29	21,43	
10	S3-10	(1)	-	14,29	0	7,15	
10	S4-10	(1)(4)	(1)(2)(4)	28,57	42,86	35,72	
8	S1-8	-	(3)(4)	0	28,57	14,29	12,51
8	S2-8	(2)	(3)(4)(5)	14,29	42,86	28,58	
8	S3-8	(3)	-	14,29	0	7,15	
8	S4-8	-	-	0	0	0	
6	S1-6	(4)(5)	(1)(7)	28,57	28,57	28,57	14,29
6	S2-6	-	-	0	0	0	
6	S3-6	(5)	(6)	14,29	14,29	14,29	

6	S4-6	(6)	(6)	14,29	14,29	14,29	50
4	S1-4	(1)(4)(5) (6)(7)	(1)(2)(3) (4)(5)(6) (7)	71,43	100	85,72	
4	S2-4	(3)(5)(7)	(2)(3)(4)(5)) (6)(7)	42,86	85,71	64,29	
4	S3-4	(2)	(2)(3)	14,29	28,57	21,43	
4	S4-4	(1)(3)	(1)(3)	28,57	28,57	28,57	
Total		24	33	-	-	-	
Promedio				14,29	19,64	16,97	

Cuadro 24. Delaminación en melina después del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión	Número de unión	DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	M1-14	-	-	0	0	0	3,58
14	M2-14	-	-	0	0	0	
14	M3-14	-	(6)	0	14,29	7,15	
14	M4-14	(5)	-	14,29	0	7,15	
12	M1-12	-	-	0	0	0	0
12	M2-12	-	-	0	0	0	
12	M3-12	-	-	0	0	0	
12	M4-12	-	-	0	0	0	
10	M1-10	(3)(4)	-	28,57	0	14,29	26,79
10	M2-10	(3)(4)	-	28,57	0	14,29	
10	M3-10	(2)(7)	(2)(7)	28,57	28,57	28,57	
10	M4-10	(1)(4)(5))	(1)(2)(5)(7))	42,86	57,14	50,00	
8	M1-8	(2)(4)	-	28,57	0	14,29	5,36
8	M2-8	(2)	-	14,29	0	7,15	
8	M3-8	-	-	0	0	0	
8	M4-8	-	-	0	0	0	
6	M1-6	-	(1)(2)(5)	0	42,86	21,43	8,93
6	M2-6	-	(1)(5)	0	28,57	14,29	
6	M3-6	-	-	0	0	0	
6	M4-6	-	-	0	0	0	

4	M1-4	(2)(4)	-	28,57	0	14,29	23,22
4	M2-4	-	(1)(6)	0	28,57	14,29	
4	M3-4	(1)(7)	(1)(2)(6)	28,57	42,86	35,72	
4	M4-4	(1)	(1)(4)(5)	14,29	42,86	28,58	
Total		18	20	-	-	-	
Promedio				10,72	11,91	11,31	

Cuadro 25. Delaminación en Jául después del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de unión	Número de unión	DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio por radio %
		Lado A	Lado B	%	%	%	
14	J1-14	-	-	0	0	0	0
14	J2-14	-	-	0	0	0	
14	J3-14	-	-	0	0	0	
14	J4-14	-	-	0	0	0	
12	J1-12	-	-	0	0	0	0
12	J2-12	-	-	0	0	0	
12	J3-12	-	-	0	0	0	
12	J4-12	-	-	0	0	0	
10	J1-10	-	-	0	0	0	0
10	J2-10	-	-	0	0	0	
10	J3-10	-	-	0	0	0	
10	J4-10	-	-	0	0	0	
8	J1-8	-	-	0	0	0	0
8	J2-8	-	-	0	0	0	
8	J3-8	-	-	0	0	0	
8	J4-8	-	-	0	0	0	
6	J1-6	-	-	0	0	0	1,79
6	J2-6	-	-	0	0	0	
6	J3-6	-	(5)	0	14,29	7,15	

6	J4-6	-	-	0	0	0	
4	J1-4	(1)	-	14,29	0	7,15	12,5
4	J2-4	(2)	(1)	14,29	14,29	14,29	
4	J3-4	(1)(4)	(1)(2)	28,57	28,57	28,57	
4	J4-4	-	-	0	0	0	
Total		4	4	-	-	-	
Promedio				2,381	2,381	2,381	

Cuadro 26. Delaminación en teca después del proceso.

Radio	Número Probeta	Número de pega	Número de pega	DL lado A	DL lado B	Promedio DL	Promedio x radio
		Lado A	Lado B	(%)	(%)	(%)	(%)
14	T1-14	-	-	0	0	0	7,15
14	T2-14	-	(5)	0	14,29	7,15	
14	T3-14	(3)	-	14,29	0	7,15	
14	T4-14	(4)	(3)	14,29	14,29	14,29	
12	T1-12	-	(1)	0	14,29	7,15	10,72
12	T2-12	-	-	0	0	0	
12	T3-12	(3)	(3)	14,29	14,29	14,29	
12	T4-12	(3)	(2)(3)	14,29	28,57	21,43	
10	T1-10	(1)(6)	(1)(2)(3)(6)(7)	28,57	71,43	50,00	23,22
10	T2-10	(1)(2)(6)	(1)(2)	42,86	28,57	35,72	
10	T3-10	-	-	0	0	0	
10	T4-10	-	(4)	0	14,29	7,15	
8	T1-8	(1)(2)	-	28,57	0	14,29	14,29
8	T2-8	(1)(2)	-	28,57	0	14,29	
8	T3-8	(1)	(1)	14,29	14,29	14,29	
8	T4-8	(1)	(1)	14,29	14,29	14,29	
6	T1-6	(1)(3)	(1)	28,57	14,29	21,43	30,36
6	T2-6	(1)(3)(6)(7)	(1)(3)(5)	57,14	42,86	50,00	
6	T3-6	(1)(3)(6)	(1)(3)(5)	42,86	42,86	42,86	
6	T4-6	(6)	-	14,29	0	7,15	
Total		25	23	-	-	-	
Promedio				17,86	16,43	17,145	

ANEXO 4

Hoja de producto
Adhesivo de Poliuretano

Propiedades Físicas:

Descripción de familia química: Adhesivo de Poliuretano

Apariencia: líquido color café

Color del adhesivo seco: Amarillo

Estabilidad congelamiento/descongelamiento: Estable

Componentes orgánicos volátiles: 0 g/L

Viscosidad típica (cps): 8.500

Temperatura mínima de uso: 10°C

Peso por galón: 9,55 lbs.

Peso de sólidos (%): 100

Puntos de ignición: > 93°C

Guía de aplicación:

Cantidad de adhesivo: generalmente, 200 g/m² de adhesivo es suficiente. El uso de menores cantidades de adhesivo requiere tolerancias menores en la preparación del material y tiempos de ensambles más cortos.

Presión: la presión a aplicar depende de las especies de la madera, el material a unir y la preparación de la unión. Debe haber contacto directo entre las piezas. La presión recomendada de acuerdo a la densidad del material es: HPL 2,1-5,6 Kg/cm², baja 7,0-10,5 Kg/cm², media 8,8-12,3 Kg/cm², alta 12,3-17,6 Kg/cm². Las prensas deben colocarse a una distancia de 20 a 40 cm una de otra, y a 5 centímetros del borde del panel para asegurar una distribución adecuada de la presión a lo largo del panel.

Tiempo de ensamble: el tiempo de ensamble aproximado es de 20 minutos a 21°C y 50% de humedad relativa.

Métodos de aplicación: El adhesivo puede aplicarse fácilmente con un rodillo, con un aplicador automático o con una brocha.

Limpieza: El adhesivo puede limpiarse con espíritus minerales cuando todavía esta húmedo. El adhesivo seco puede lijarse o rasparse de la superficie.

Esfuerzo en probeta: ASTM D-905 (maple duro)

	Lb/in ²	falla de madera
25°C	3.500	69
65°C	3.000	50

Ventajas del producto:

- 100% resistente al agua (Supera las pruebas ANSI Tipo I y Tipo II)
- Puede pegar virtualmente todo.
- Fortaleza similar a los adhesivos epóxicos, no necesita mezclarse.
- Tiempo de prensado corto, rápido curado.
- Excelentes propiedades de lijado.
- 100% sólidos.
- Libre de solventes.

Manejo y almacenamiento:

Tiempo de envase: 12 meses a 20 °C. Almacenar en contenedores cerrados.

Limitantes:

El adhesivo de poliuretano no está formulado para usar en aplicaciones por debajo de la línea de flotación. Para facilidad en su uso, los materiales y la temperatura de aplicación debe de ser de 10 °C. El congelamiento no afectara el funcionamiento del producto, pero puede provocar que este aumente su viscosidad. La agitación debe restaurar el producto a su forma normal. Evite congelar el producto.