

Evaluación de la resistencia mecánica de la madera de melina (*Gmelina arborea*) unida con uniones de dedo (*finger joint*)

Guillermo González ¹

Palabras clave

Adhesivos, *Gmelina arborea*, melina, resistencia mecánica a la tensión, uniones de dedo estructurales.

Resumen

La industria de la madera en Costa Rica fabrica cada día con mayor frecuencia elementos de madera con uniones de dedo (*finger-jointed*). Estos elementos se utilizan tanto para la elaboración de piezas no-estructurales, como para la fabricación de elementos utilizados estructuralmente en la construcción, tales como las vigas laminadas. Atendiendo la solicitud de la industria maderera, se realizaron ensayos de laboratorio para conocer la calidad y la resistencia mecánica de uniones de dedo en piezas de melina (*Gmelina arborea*). Se ensayaron dos diferentes tipos de adhesivo; una emulsión de polivinilo catalizado de dos componentes (PVA

catalizado) y un adhesivo de poliuretano de un componente (PU). La resistencia mecánica de las uniones se determinó, siguiendo el estándar ASTM D-4688. Los resultados mostraron que en condición saturada y hervida, el adhesivo PVA pierde entre un 70 % y un 60 % respecto a su resistencia en condición seca, mientras que el adhesivo PU, pierde entre un 11 y un 24 % de la condición seca a la condición saturada y hervida respectivamente. Con base en los resultados obtenidos, se determinó que el adhesivo PU muestra resultados más prometedores que el PVA para su utilización elementos unidos con uniones de dedo estructurales para la construcción.

Introducción

De acuerdo con las últimas estimaciones de consumo de madera en troza en Costa Rica (véase Cuadro N.º 1), actualmente un 64,6 % del volumen de trozas

¹ M.Sc., Ingeniero químico. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación en Integración Bosque Industria (CIIBI). Correo electrónico: ggonzalez@itcr.ac.cr.

Cuadro N.º 1. Consumo aparente y actual de madera en troza en Costa Rica.

| Fuente de Abastecimiento | Volumen (m ³) | Participación (%) |
|--------------------------|---------------------------|-------------------|
| Bosque natural | 47.736 | 4,3 |
| Agroforestal | 217.954 | 19,7 |
| Plantaciones | 713.325 | 64,6 |
| Déficit | 126.206 | 11,4 |
| Total | 1.105.221 | 100 |

Fuente: Arce y Barrantes, 2004.

consumido procede de plantaciones y un 19,7 % de sistemas agroforestales, el resto se supe de árboles del bosque natural. Aun así existe un déficit de madera en troza de 126.206 m³ (11,4%), el cual de acuerdo a las proyecciones realizadas se acentuará en los próximos años.

Con base en estas cifras puede estimarse que alrededor de 84,3 % de la madera en troza consumida proviene de árboles jóvenes, a menudo con poco o ningún manejo, lo que implica que las trozas procesadas son más cortas y con un mayor número de defectos que las que usualmente proceden de los árboles maduros de los bosque naturales.

Esto implica que en general, los tamaños de las tablas aserradas son más cortas y presentan bastantes imperfecciones, incluyendo nudos, médula y otros defectos asociados con las tablas aserradas de las trozas de árboles jóvenes.

Las tablas de madera unidas por los extremos mediante la utilización de una unión segura y fuerte, tal como las uniones de dedo (UD), representan un producto que ayuda a solventar los problemas asociados con piezas demasiado cortas y con mayor número de defectos. La industria forestal del país utiliza cada día con mayor frecuencia las piezas de madera UD, para la elaboración

de diferentes productos (González y Serrano, 2004).

Algunas veces, las tablas se utilizan para la elaboración de productos no-estructurales, en las que las piezas de madera antes de ser unidas, se le eliminan los defectos, con el propósito de aumentar la calidad y obtener elementos de mejor apariencia. Estos elementos se utilizan en diferentes productos, tales como: artesanías, muebles, rodapiés y otros tipos de molduras. (FPL, 1999, González, 2004)

Otras veces, las piezas unidas con uniones de dedo, se preparan para ser utilizadas en la elaboración de elementos estructurales para la construcción, o bien para la elaboración de vigas laminadas y encoladas, obteniéndose en esta forma elementos más fuertes para la construcción. (González, 2003)

En Costa Rica, varias especies se comercializan en forma de elementos con UD, entre las que pueden citarse las siguientes: melina (*Gmelina arborea*), teca (*Tectona grandis*) y amarillón (*Terminalia amazonia*) procedentes de plantaciones, y laurel (*Cordia alliodora*), procedente de bosques de segundo y tercer crecimiento y de sistemas agroforestales.

El propósito del estudio aquí realizado, ha sido determinar la calidad y la resistencia mecánica de las UD en tablas de madera de melina.

Metodología

Para conocer las características y propiedades de las tablas unidas con UD, se utilizaron piezas de melina, unidas con dos tipos de adhesivos: el primero fue una emulsión de acetato de polivinilo de dos componentes, catalizado (PVA catalizado) y el otro un adhesivo de poliuretano de un componente (PU). Las piezas fueron elaboradas en la industria “Maderas Cultivadas de Costa Rica”

(MCC), localizada en Santa Rosa de Pocosol, zona norte del país.

Las piezas fueron enviadas desde la industria MCC al Centro de Investigación en Integración Bosque Industria, de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago, (CIIBI-ITCR).

Los ensayos se realizaron siguiendo de la forma más cercana posible, los lineamientos descritos en la norma D-4688 ASTM, 2001 (Evaluación de los adhesivos estructurales para uniones de dedo). Las probetas de melina con UD se sometieron a ensayos en tres condiciones, conocidas como “seca”, “saturada” y “hervida”. En la condición seca, las probetas antes de ser sometidas a los ensayos mecánicos fueron acondicionadas a una humedad relativa de 65% y una temperatura de 23 °C. Los especímenes acondicionados alcanzaron un contenido de humedad comprendido entre 8 y 10%. Las probetas en la condición saturada fueron sometidas a un tratamiento de impregnación de vacío y presión con agua a temperatura ambiente. Las probetas en la condición hervida fueron sometidas a un ciclo de hervido, secado, impregnado y secado, de acuerdo con las pautas descritas en la norma de ASTM citada con anterioridad.

En la figura N.º 1, se muestra algunos de los factores de diseño de las UD utilizadas en las probetas de ensayo. (González *et al.* 2002)

Las probetas se sometieron a la prueba de tensión, dejando en el centro de cada probeta la UD, en una máquina universal de ensayos, con una capacidad total de 60.000 kg. La máquina posee un registro de datos y graficador computarizado. Al final del ensayo se determinó el esfuerzo máximo a la tensión, así como

el tipo de falla mostrado por cada una de las probetas ensayadas.

En la figura N.º 2 se muestra una de las probetas con UD, lista para ser ensayada en la máquina de ensayos.

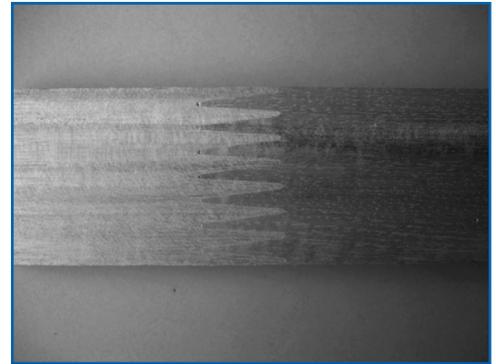


Figura N.º 1. Unión de dedo de una de las probetas ensayadas, en la que se muestra algunos de los factores de diseño de la unión.



Figura N.º 2. Probeta de madera de melina UD, lista para ser ensayada en la máquina universal de ensayos del CIIBI.

Una vez que las probetas fueron ensayadas, se pesaron y luego se secaron al aire. Una vez secas, se analizaron para conocer el tipo de falla, de acuerdo con los criterios dados por la norma ASTM D 4688, los cuales se resumen a continuación:

| Tipo de falla | Descripción |
|---------------|---|
| 1 | Falla a lo largo de la línea de cola. Falla en la madera < 70 % |
| 2 | Falla a lo largo de la línea de cola. Falla en la madera > 70 % |
| 3 | Falla en la madera, principalmente a lo largo de la junta, pero con algunas fallas en la base o en las puntas de los dedos. |
| 4 | La mayor parte falla de tensión en la base o en las puntas de los dedos. |
| 5 | Falla que empieza en la unión. Falla en la madera cercana al 100% |
| 6 | Falla lejos de la unión. 100 % falla en la madera |

Resultados

Los resultados de los esfuerzos de tensión promedio para las UD ensayados en cada una de las condiciones se han resumido en el Cuadro N.º 1.

En la Figura N.º 3 se muestra la variación del esfuerzo de tensión obtenido con los dos adhesivos estudiados, acetato de polivinilo y poliuretano, en cada una de las condiciones ensayadas:

seca, saturada y hervida. (González *et al.*, 2002)

El diagrama de caja y bigote (caja de Tukey), muestra la mediana, los valores máximos y mínimos, así como el ámbito entre los percentiles 25 y 75. Este análisis se utilizó para seleccionar los valores aceptables para el análisis comparativo entre los dos adhesivos, esto es, aquellos valores que permanecieron después de eliminar los valores fuera de rango (outliers), definidos como los valores de los esfuerzos de tensión de los ensayos, que se encontraban fuera de del ámbito comprendido entre los valores adyacentes superior e inferior. En el Cuadro N.º 1 se presentan únicamente los valores aceptados en la forma descrita.

En el Cuadro N.º 2 se muestra los modos de falla, de acuerdo con la descripción dada en la metodología, o bien para una descripción más completa se puede ver ASTM estándar D-4688. Para los dos adhesivos estudiados se presenta el porcentaje de tipo de falla obtenido en cada una de las condiciones ensayadas.

Puede observarse que la suma de fallas tipos 2 y 3 que se consideran que indican una buena respuesta de adhesión., para PVA en las tres condiciones ensayadas son: 52,0 %, 53,3 y 53,9 respectivamente.

Cuadro N.º 1. Esfuerzo de tensión de las probetas UD de melina ensayadas en la condición indicada.

| Número de probetas ensayadas | Adhesivo | Condición | Esfuerzo de tensión (kg/cm ²) | Desviación estándar (kg/cm ²) | Coficiente de variación (%) |
|------------------------------|----------|-----------|---|---|-----------------------------|
| 27 | PVA | Seca | 478 | 83,3 | 17,5 |
| 30 | PVA | Saturada | 150 | 39,2 | 28,7 |
| 39 | PVA | Hervida | 182 | 31,7 | 17,4 |
| 32 | PU | Seca | 389 | 88,6 | 22,8 |
| 25 | PU | Saturada | 339 | 60,2 | 17,7 |
| 36 | PU | Hervida | 291 | 60,5 | 20,8 |

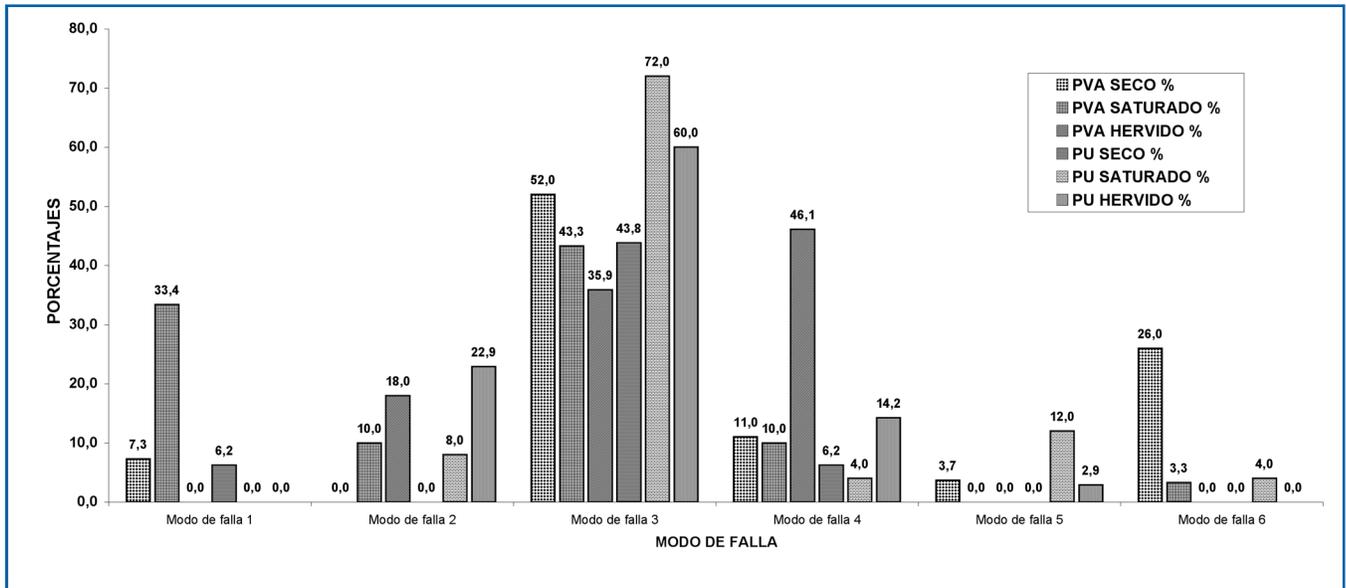


Figura 3. Gráfico de caja Tukey en la que se muestran los resultados del esfuerzo de tensión en cada una de las condiciones ensayadas para los adhesivos PVA y PU.

Cuadro 2. Modo de falla presentado en cada una de las condiciones ensayadas, para las uniones de dedo de probetas de melina ensayadas con los adhesivos PVA y PU.

| ADHESIVO | | | | | | |
|---------------|---------------|----------|---------|--------------|----------|---------|
| Modo de Falla | PVA CONDICIÓN | | | PU CONDICIÓN | | |
| | Seca | Saturada | Hervida | Seca | Saturada | Hervida |
| 1 | 7,3 | 33,4 | 0 | 6,2 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 10,0 | 18,0 | 0 | 8,0 | 22,9 |
| 3 | 52,0 | 43,3 | 35,9 | 43,8 | 72,0 | 60,0 |
| 4 | 11,0 | 10,0 | 46,1 | 6,2 | 4,0 | 14,2 |
| 5 | 3,7 | 0 | 0 | 0 | 12,0 | 2,9 |
| 6 | 26,0 | 3,3 | 0 | 43,8 | 4,0 | 0 |

Mientras que similarmente para PU se obtuvo: 50,0 %, 76 %, y 74,2.

kg/cm² para PVA y 379 kg/cm² para PU, respectivamente, produciéndose una diferencia de 26 % a favor de PVA.

Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos en el cuadro 1 indican que los valores más altos obtenidos en el ensayo de tensión fueron los correspondientes a la condición seca para los dos adhesivos ensayados, 478

Cuando se comparan los valores en condición saturada, se obtiene 150 kg/cm² para PVA y 339 kg/cm² para PU. Es decir que los valores de resistencia

a la tensión para PVA se reducen en casi un 70 % de la condición seca a la condición saturada, mientras que para PU, la reducción es de apenas un 11%.

Similarmente, en la condición hervida, PVA se reduce en un 62%, mientras que PU se reduce en un 25%.

Correlativamente, comparándose los modos de falla presentados en el Cuadro N.º 2, y la figura N.º 4, puede observarse que en general en la condición seca, los dos adhesivos muestran una distribución porcentual bastante similar, mientras que para la condición saturada y para la condición hervida, el porcentaje de fallas es considerablemente menor para el adhesivo PU.

Por otra parte, observándose el número de fallas tipo 6 en la condición seca, puede observarse que los valores de frecuencia son relativamente altos para ambos adhesivos, lo cual indica que la junta UD es más fuerte que otras partes de la probeta, independientemente de la presencia de defectos visibles en la probeta. En contraste, para las condiciones seca y hervida, para ambos adhesivos, la falla 6 fue poco frecuente, indicando que la madera de las probetas en esas condiciones fue más fuerte que la unión de dedos con los dos adhesivos analizados.

Conclusiones

Los resultados preliminares obtenidos con piezas de melina unidas por los extremos mediante juntas de dedo (finger joints), indicaron que las juntas realizadas con adhesivo PVA, ensayadas en condición seca, muestran un alto esfuerzo a la tensión y una distribución de modos de falla aceptable. Pero cuando el ensayo de las probetas se realizó en las condiciones saturada y hervida, el esfuerzo de tensión se redujo considerablemente y las distribuciones de las fallas para ambas condiciones

mostraron un comportamiento deficiente de la junta. Estos resultados indican que el adhesivo PVA no es un buen adhesivo para ser utilizado en elementos estructurales para la construcción.

Por otra parte, cuando las probetas de uniones de dedo con PU se ensayaron en condición seca, mostraron un esfuerzo a la tensión relativamente alto, aunque un poco menor que el mostrado por las probetas unidas con PVA. Cuando las probetas unidas con PU se ensayaron en las condiciones saturada y hervida, la reducción del esfuerzo de tensión fue menor y la distribución de fallas fue relativamente favorable.

Con base en estos resultados preliminares, se puede concluir que el adhesivo PU mostró un comportamiento aceptable para uniones de dedo estructurales.

En el CIIBI-ITCR, se continúa la investigación de uniones de dedo, utilizando otros adhesivos y otras especies de madera de interés industrial.

Agradecimientos

El autor agradece la colaboración de los compañeros del CIIBI-ITCR que hicieron posible la realización de este trabajo, especialmente a los Ing Róger Moya, Rafael Serrano, Francisco Monge, Rafael Córdoba y José Carlos Coto. También quiere agradecer a la industria Maderas Cultivadas de Costa Rica que suministró el material de estudio. A la Cámara Costarricense Forestal, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) y al Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT), por el valioso apoyo económico prestado para la realización de este trabajo.

Literatura Citada

Arce Benavides, H; Barrantes Rodríguez, A. 2004. *La Madera en Costa Rica. Situación Actual y Perspectivas*. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal

- (FONAFIFO), Oficina Nacional Forestal (ONF) San José, C.R.. 25 p.
- ASTM. 2001. Wood. American Society for testing and Materials. Estándar D 4688. Evaluating structural adhesives for finger jointing lumber. Vol. 04.10. West Conshohocken, Pa. U.S.
- FPL. 1999 (Forest Products Laboratory) *Wood handbook-Wood as an engineering material*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 pp.
- González, G; Moya, R.; Córdoba, R; Coto, JC. 2002. Resistencia a la tensión de uniones de dedo ("finger joints") en madera de melina (*Gmelina arborea*). Proyecto FC-0011-2000: *Evaluación de las características tecnológicas para la Melina (Gmelina arborea) proveniente de plantaciones forestales*. Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria. Cámara Costarricense Forestal (CCF); Ministerio de Ciencia y Tecnología, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT). Cartago, C. R. 32 pp.
- González, G. 2003. "Adhesivos Estructurales para la Madera de Melina (*Gmelina arborea*)" *Kurú* 33: 11-13. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de