

## NOTA TÉCNICA

---

### Las vigas laminadas estructurales: aspectos a considerar para su fabricación en Costa Rica

Róger Moya Roque<sup>1</sup>  
Guillermo González Trejos<sup>1</sup>

#### Resumen

En la actualidad, el sector de la industria de la madera está sufriendo cambios importantes, no solo en los productos ofrecidos al mercado nacional, sino que también en la inversión en equipos de procesamiento y de industrialización, en los que destacan la fabricación de vigas laminadas estructurales. No obstante, para algunas personas del sector de la industria forestal y de la construcción, las vigas laminadas son poco conocidas en cuanto a las normas y controles de calidad durante su fabricación. La presente nota presenta y detalla los requerimientos y normas de calidad que deben establecerse en la construcción de las vigas laminadas estructurales.

**Palabras clave:** Madera, Vigas laminadas, Normas, Calidad, Costa Rica.

#### Abstract

**Structural glued laminated: some considerations during its manufactures in Costa Rica.** Wood industry is constant changes, in nowadays. It has constructed not only in new products for national market, but that also, in the investment in equipment of processing and industrialization wood, such as oven for drying and complete (and modern) of new products for structural glued laminated. However, for some people of the wood industry or construction sector, the glued laminated are little known about the standards and qualities during the manufacture of these products. The present note displays and details to the requirements and standards that must be considered in manufactures building of structural glued laminated.

**Key words:** Wood, Glued laminated, Standards, Quality, Costa Rica.

#### INTRODUCCIÓN

La madera como material de construcción en Costa Rica, por muchos años fue el material por excelencia; sin embargo, en los últimos años ha cedido mucho espacio a otros materiales. Varias causas pueden ser anotadas a la disminución del uso de la madera en la construcción civil de Costa Rica:

---

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Costa Rica. [rmoya@itcr.ac.cr](mailto:rmoya@itcr.ac.cr), [ggonzalez@itcr.ac.cr](mailto:ggonzalez@itcr.ac.cr)

- Actualmente existe una gran variedad de materiales de construcción, tales como concreto, acero, hierro, yipson, paneles de fibro-cemento, productos plásticos, entre otros.
- La industria forestal en ningún momento brindó garantías de madera seca, preservada o estandariza.
- A los profesiones de la construcción (ingenieros y arquitectos) no se les brindó la información técnica necesaria, principalmente en lo relacionado a las tablas de diseño con este material.
- El sector industrial forestal costarricense, desde su apogeo en la década de 1970 a 1980, no ha sido un sector tan dinámico como otros sectores de la construcción, tanto en los productos ofrecidos como en la invocación de nuevos procesos productivos. Más bien, con el transcurso de los años, este sector de la economía costarricense ha buscado que los consumidores de la madera paguen las deficiencias en los procesos productivos, reflejándose ello, por ejemplo en las medidas nominales de la madera. Las piezas de madera que son comercializadas, poseen una dimensión muy inferior a las establecidas, por ejemplo la regla de 1 x 3 pulgadas (2.5 x 7.5 cm) posee medidas comerciales de  $\frac{3}{4} \times 2 \frac{7}{8}$  pulgadas (19 mm x 7 cm).

En la actualidad, el sector de la industria de la madera está sufriendo cambios importantes, no solo por los productos ofrecidos al mercado nacional, sino también por una gran inversión en equipos modernos de procesamiento e industrialización, entre los que destacan los procesos de secado y líneas completas y modernas de uniones dentadas (“finger joint”). Además, de que este sector está siendo enormemente afectado por la gran apertura de mercados que ha tenido Costa Rica con países como Canadá y Chile, a través de los tratados de libre comercio (Arce y Barrantes, 2004).

Por otro lado, el sector de la construcción en Costa Rica está en franco cambio; además de otros aspectos, la utilización del espacio en altura es uno de los principales cambios. La utilización de materiales más livianos y con buena resistencia estructural, son los que están ganando espacios en el mercado en donde se quiere aprovechar las edificaciones en altura. Las vigas laminadas son uno de los productos con estas posibilidades (González *et al*, 2004). A sabiendas de este potencial, el sector industrial de la madera en la actualidad está ofreciendo esta opción de construcción (Moya, 2004). Además de fabricantes nacionales, por ejemplo Maderas Cultivadas de Centroamérica, en la actualidad varios distribuidores e importadores de madera han introducido estos productos al mercado de la construcción en Costa Rica.

No obstante, un sector de la industria forestal y de la construcción conoce poco sobre las normas y consideraciones de la fabricación de este producto. La presente nota técnica muestra los aspectos que deben considerarse para la fabricación de vigas laminadas estructurales y los aspectos que deben desarrollarse para iniciar su producción.

## VIGAS LAMINADAS

En esencia, la fabricación de vigas laminadas consta de unir tablas de largos inferiores a 3 metros por medio de un adhesivo resistente (estructuralmente como de excelente desempeño al medio ambiente) unidos por cara y extremos de las piezas de madera para formar una viga de mayor longitud y peralte. Este producto es conocido mundialmente como “glulams” (Figura 1). Utilizando los diseños y uniones apropiadas, es posible producir construcciones de diversas formas adaptables a la creatividad de los diseñadores y arquitectos.



**Figura 1.** Vigas laminadas con madera de melina (*Gmelina arborea* (Roxb)) y posibles usos en bodegas de grandes dimensiones.

Esta nueva alternativa de producto para el sector de la construcción, ante todo debe **garantizar, no solo su calidad, sino también todas las normas de seguridad estructural y sísmicas necesarias**, según lo establecido en el código sísmico vigente en Costa Rica (CFIA, 2003). Para ello es necesario brindar al sector de la construcción el apoyo técnico necesario para su uso. Las empresas que importan estos productos traen consigo softwares, la información técnica y el recurso humano para capacitar a los ingenieros y arquitectos de nuestro país, no obstante no han sido validados para nuestras condiciones.

### REQUERIMIENTOS TÉCNICOS NECESARIOS EN LA FABRICACIÓN DE VIGAS LAMINADAS

En nuestro país, la construcción con madera es poco regulada en cuanto a los productos que se comercializan, a pesar de que es uno de los materiales permitidos por ley para construir. En el caso de las vigas laminadas de uso estructural, es necesario establecer requerimientos técnicos, con el fin de garantizar la seguridad de las construcciones con este tipo de producto y, por ende, la permanencia de este producto en el mercado nacional. En países, como los Estados Unidos, existen entes reguladores en la fabricación y uso de este material, con el fin de garantizar la seguridad en las construcciones. Para la elaboración de las vigas, están establecidas las pruebas de control de calidad por medio de las normas ASTM (American Standard Testing Material) y para su utilización por medio del AITC (American Institute of Timber Construction). Ambas entidades se encargan de establecer los requerimientos para la construcción civil con vigas laminadas estructurales, así como los parámetros de control de calidad de estos productos en las empresas dedicadas a su elaboración y utilización (ASTM, 1999; AITC, 1996).

En la utilización de las vigas laminadas, es preciso conocer que existen algunos criterios técnicos en la fabricación de este tipo de producto, los cuales tienen como meta final establecer criterios estructurales para su uso.

Los criterios técnicos están divididos en dos partes: una primera parte consiste en recomendaciones en el control de calidad de fabricación de vigas laminadas y una segunda parte en el análisis de resistencia estructural, con el fin de establecer los valores de diseño.

## RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE VIGAS LAMINADAS

Estas recomendaciones, actualmente existentes en el país, se encuentran disponibles en la Unidad de Comercialización de la Cámara Costarricense Forestal, se basaron en las normas utilizadas en los Estados Unidos y fueron tomadas del Manual de Inspección de Vigas Laminadas del AITC del año 1996 (AITC, 1996), Boletín Técnico No. 1512 de Laboratorio de Productos Forestales de ese país (Selvo, 1975) y los estándares ASTM D-2559, ASTM D-005 y ASTM D-198 (ASTM, 1999).

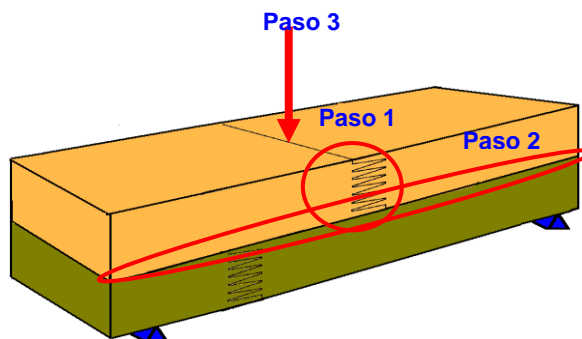
### Análisis de resistencia de vigas laminadas para determinar esfuerzos de diseño

El esfuerzo de diseño representa un valor de esfuerzo estimado que la pieza de madera podrá resistir sin sufrir ningún tipo de alteración permanente, aún cuando se deba soportar este esfuerzo bajo condiciones de duración de carga y humedad establecidas por el diseño (Lozano, 2004). En el caso de vigas laminadas, en Costa Rica, donde no existen regulación para estos productos, una viga laminada proveniente de una empresa pueden ser muy diferente a otra, ya que en su fabricación intervienen muchos factores propios de cada empresa que afectan el producto, entre los que se encuentran la especie que se utiliza, el tipo de adhesivo utilizado, la máquina de elaboración de uniones dentadas (“finger joint”) y de prensado de las vigas, forma y dimensiones de las uniones y el recurso humano disponible en la empresa.

Para garantizar la calidad del producto en particular existen normas o procedimientos que evalúan todos estos factores y tienen como meta establecer los valores de diseño para el producto de cada empresa y que al final se brinde la información necesaria a los ingenieros y arquitectos, y sobre todo, que garantice la seguridad de las construcciones que emplean las vigas laminadas.

El análisis estructural, según la norma D-2559 de ASTM (American Standard Testing Material), de las vigas laminadas se basa en 3 pasos (Figura 2):

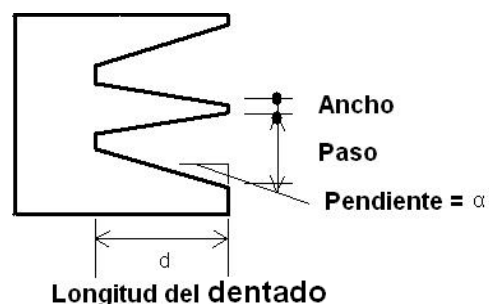
1. Establecer las calidades de las uniones dentadas en los extremos de las piezas de madera, se realiza por medio de ensayos de tensión.
2. Determinar la resistencia del adhesivo a los cambios de temperatura y de condiciones de humedad, a través de dos ensayos: la delaminación y el ensayo de resistencia al esfuerzo de cortante por cara.
3. Medir la resistencia a la flexión de la viga por medio de la aplicación de carga.



**Figura 2.** Tipos de ensayos a los que se somete una viga laminada para su análisis estructural.

### Ensayos de uniones dentadas

Es importante en este tipo de ensayo, establecer el tipo de uniones dentadas usando las presiones aplicadas, el personal y la maquinaria que se está utilizando para fabricar las vigas laminadas. En el caso de las uniones dentadas es necesario establecer su geometría (Figura 3).

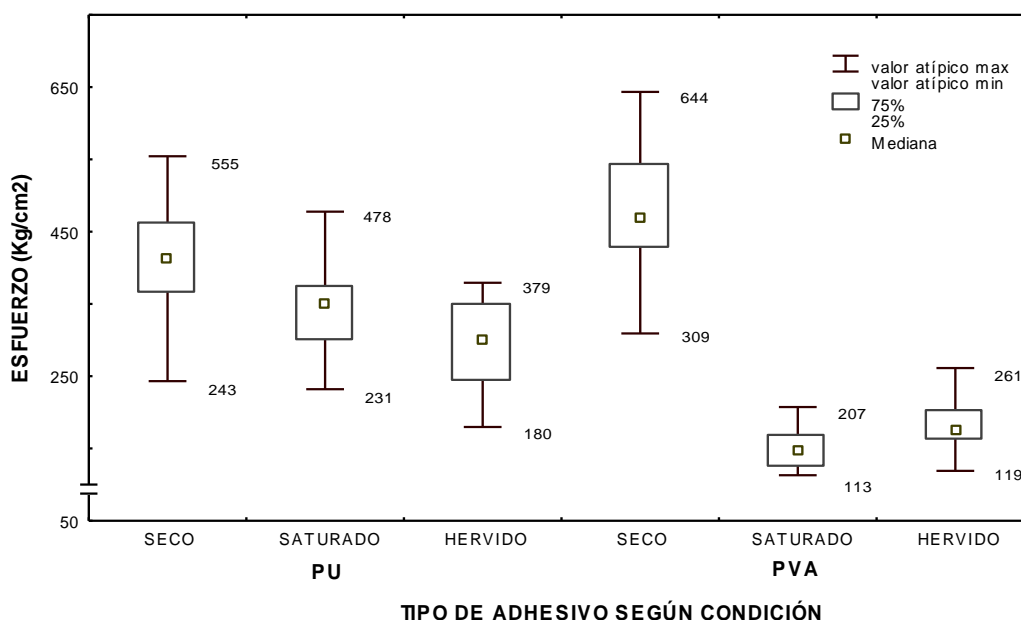


**Figura 3.** Geometría de las uniones dentadas

Los ensayos en este apartado, consisten básicamente en tomar muestras y realizar ensayos mecánicos de tensión, con los cuales se prueba la resistencia de la unión dentada bajo tres condiciones de humedad: la primera resistencia se hace con madera en condición seca (12% de contenido de humedad), la segunda resistencia con muestras de las uniones dentadas a la impregnación al vacío con agua durante una hora, ello con el objetivo de simular el efecto que se produce si la madera se humedece en algún momento durante su uso, y la tercera, la resistencia se determina con muestras de uniones dentadas sometidas a pruebas de envejecimiento por medio de un ciclo de hervido y secado.

Una vez realizadas estas pruebas, la forma en que falla la unión de dedos se clasifica según un patrón establecido por la Norma D-2559 ASTM. Posteriormente, se establece la disminución de la resistencia producto de la impregnación con agua y el hervido de las muestras. Cuando la resistencia de la unión no alcanza el 70% de la resistencia en seco, el adhesivo de la unión dentada tiene problemas de resistencia, que pueden deberse a que el tipo de adhesivo no está dando la presión adecuada, ó a problemas en la máquina de hacer el dentado, entre otras.

Por ejemplo, en un ensayo realizado con la madera de melina (González *et al.*, 2002) y probando dos tipos de adhesivos, acetato de polivinilo (PVA) y poliuretano (PU), se encontró que el adhesivo tipo PVA presentó problemas de resistencia cuando la unión es sometida a la impregnación con agua y en los ciclos de envejecimiento. La resistencia de este adhesivo no fue ni del 70% de la resistencia de la unión dentada en la condición seca. En tanto que con el adhesivo tipo PU no se presentó una disminución significativa al impregnar o someter a ciclos de envejecimiento las uniones (Figura 4).



**Figura 4.** Esfuerzos de tensión para adhesivos tipo PVA y PU bajo tres condiciones de ensayos.

#### Ensayos de delaminación y resistencia en cortante

En este ensayo, a diferencia del anterior que establecía la resistencia de las uniones dentadas, lo que se pretende es evaluar la resistencia de la unión que existe entre las diferentes láminas (tablas o reglas) que componen la viga laminada. Las pruebas en este ensayo son de dos tipos: ensayos de resistencia al esfuerzo cortante por una fuerza en compresión bajo dos condiciones: seca y de madera humedecida, y la segunda prueba consiste en ensayos de delaminación por exposición cíclica acelerada entre vapor de agua y periodos de calentamiento a 50°C. En este ensayo se intenta evaluar el comportamiento del adhesivo a través del tiempo, por medio de pruebas aceleradas.

Los resultados en este tipo de pruebas son de dos tipos: resistencia en unidades de esfuerzo y porcentaje de falla que presentó la madera. Para la resistencia en cortante, la madera humedecida no debe disminuir nuevamente la resistencia de la unión tabla con tabla en un 70% respecto a la resistencia en seco y cuando la madera es sometida a pruebas de delaminación el porcentaje de piezas separadas luego de realizar las pruebas no deben sobrepasar el 20%.

#### Ensayos de resistencia a la flexión estática

Para la determinación de la resistencia a la flexión, es importante realizar un número de ensayos con vigas de tamaño normal superior a 20 muestras de diferentes dimensiones, esto con el fin de determinar el módulo de elasticidad (MOE) y su módulo de ruptura (MOR). Una vez que se dispone de esta información, se procederá a determinar los valores de diseño para este producto, para lo cual tiene que realizarse una serie de cálculos estadísticos, tomando como base los valores de resistencia de vigas laminadas obtenidas. La ayuda de un ingeniero estructural nos permitirá establecer los valores y tablas de diseño para la utilización de estos productos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AITC (American Institute of Timber Construction, US). 1996. Inspection Manual AITC 200-92 for Structural Glued Laminated Timber. Colorado, US. (Reprinted. Englewood). 56 p.
- Arce, H; Barrantes, G. 2004. La madera en Costa Rica: situación actual y perspectivas. San José, Costa Rica. Fondo de Financiamiento Forestal y Oficina Nacional Forestal. 25 p. (Documento de divulgación).
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 1999. Standard methods of: small clear specimens of timber. Pennsylvania, US, D-005, D-198 y D2559. ASTM. Vol. 04-10. 31 p. (Reproved 2000).
- CFIA (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, CR). 2003. Código Sísmico-2002. San José-Costa Rica. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. 300 p.
- González, G; Moya, R; Monge, F; Córdoba, R; Coto, J. 2004. Evaluating the strength of finger-jointed lumber of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *New Forests* 28(2-3):319-323.
- González, G; Moya, R; Córdoba, R; Monge, F; Coto, J. 2002. Resistencia a la tensión de uniones dedo (Finger Joint) con madera de melina (*Gmelina arborea*). Centro de Investigación en Integración Bosque Industria, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cámara Costarricense Forestal. Cartago. 97 p. (Informe #7 de proyecto de Investigación: melina y teca: determinación de propiedades básicas para determinar posibles usos industriales).
- Lozano, J. 2004. Esfuerzos característicos y de diseño en piezas estructurales de madera: Resistencia de diseño de madera de la Patagonia. *Patagonia Forestal* 9(3): 9-11.
- Moya, R. 2004. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *New Forests* 28(2-3): 299-317.
- Selvo, ML. 1975. Adhesive Bonding of Wood. Washington D.C., EUA. Forest Products Laboratory-Forest Service, USDA. (Technical Bulletin No. 1512).