

Análisis de vigas laminadas encoladas de pino ponderosa

Analysis of ponderosa pine glued laminated beams

Rosario Avetta

GIDEC – Laprida Nº 651 - UTN Facultad Regional Venado Tuerto
rocheavetta@gmail.com – gidec@frvt.edu.ar

Nicolás Declaire

GIDEC – Laprida Nº 651 - UTN Facultad Regional Venado Tuerto
nicolasdeclaire@gmail.com

Marianela Giannini

GIDEC – Laprida Nº 651 - UTN Facultad Regional Venado Tuerto
gianninimarianela@gmail.com

Resumen: El proceso de fabricación de vigas laminadas encoladas (VLE) permite transformar una pieza de madera de calidad inferior en una superior, como también presentar elementos de escuadrías y longitudes imposibles de encontrar en elementos aserrados. Esto genera la necesidad de aumentar los estudios para obtener más información sobre su comportamiento estructural. Esta publicación presenta valores de propiedades mecánicas obtenidas a través de ensayos realizados sobre vigas laminadas encoladas de pino ponderosa de clase resistente 1, de acuerdo a la norma UNE-EN 1194 (1999). Los resultados alcanzados experimentalmente se compararon con valores teóricos, obteniendo variaciones aceptables para el módulo de elasticidad y más significativas para la resistencia a flexión. Se observaron en algunas vigas, fallas en el encolado de la unión *finger joint* que deberán corregirse en el proceso de su conformación. El siguiente paso, es continuar los estudios para gestionar su incorporación a la norma IRAM 9660 (2015).

Palabras claves: pino ponderosa; vigas laminadas encoladas; resistencia a flexión; propiedades mecánicas.

Abstract: The manufacturing process of glued laminated beams (VLE) allows transforming a piece of wood of inferior quality into a superior one, as well as presenting elements of squares and lengths impossible to find in sawn elements. This generates the need to increase studies to obtain more information about its structural behavior. This publication presents values of mechanical properties obtained through tests carried out on glued laminated beams of ponderosa pine of resistant class 1, according to the UNE-EN 1194 (1999) standard. The results obtained experimentally were compared with theoretical values, obtaining acceptable variations for the modulus of elasticity and more significant ones for the resistance to bending. In some beams, failures were observed in the gluing of the finger joint that must be corrected in the process of its conformation. The next step is to continue the studies to manage its incorporation into the IRAM 9660 (2015) standard.

Keywords: ponderosa pine; glued laminated beams, bending strength, mechanical properties.

1) Introducción

El traspaso de la utilización de vigas laminadas encoladas, construidas con madera proveniente de especies de rápido crecimiento, en reemplazo de las vigas aserradas de madera dura en nuestro país, se realiza con algunos inconvenientes. Podemos considerar, que los principales son el desconocimiento del producto por parte de los profesionales de la construcción, la falta de información confiable sobre sus propiedades estructurales y calidades de fabricación muy variables. La necesidad de longitudes y escuadrías de dimensiones que no se pueden satisfacer con elementos aserrados, orientan a la utilización de vigas laminadas encoladas. Esta situación comenzó a ordenarse cuando se aprobaron las normas IRAM 9662-1/2/3/4 (2015) sobre “Madera laminada encolada estructural”, “Clasificación visual de las tablas por resistencia” y también se normalizaron los requisitos para su fabricación y control con las normas IRAM 9660-1 (2015), 9660-2 (2015) y los requisitos de empalmes en uniones dentadas en la norma IRAM 9661 (2015).

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera INTI-CIRSOC 601 (2016), contempla el diseño con madera laminada encolada y adjunta los valores de las propiedades para cuatro combinaciones de especie-procedencia. Para completar los suplementos del Reglamento se requieren valores de resistencia mecánica para más especies y lugares de procedencia. Esto implica la necesidad de aumentar la actividad de caracterización tecnológica.

El trabajo presenta, los resultados experimentales de las propiedades mecánicas de las vigas laminadas encoladas fabricadas con madera de pino ponderosa implantado en la provincia de Neuquén, ensayadas según la norma IRAM 9663 (2013). Se verificaron respecto a los valores determinados analíticamente a partir de ensayos en tablas ensayadas a flexión expuestos en el trabajo de Guillaumet et al. (2022). De esta manera, damos continuidad a los pasos a seguir para gestionar su incorporación a la norma IRAM 9660 (2015).

2) Materiales y Metodología

2.1) Materiales

Las vigas de madera laminada encolada de pino ponderosa fueron elaboradas a partir de tablas de madera aserrada obtenida de trozas provenientes de plantaciones implantadas en la Provincia de Neuquén.

Las trozas fueron aserradas en tablas de 1” x 4” en longitudes variables, secadas y cepilladas en una maderera de la misma provincia. Posteriormente, con estas tablas se conformaron las vigas de madera laminada encolada de clase resistente 1 de sección 4” x 10” de 4 m de longitud, vinculadas mediante uniones *finger joint* en sentido longitudinal con adhesivo en las uniones y entre láminas. En la figura 1 se puede apreciar una viga de madera laminada encolada sobre el equipo de ensayos.



Figura 1: Viga laminada encolada de pino ponderosa sobre equipo de ensayos.

2.2) Metodología

2.2.1 Ensayo de flexión estático de las vigas

El procedimiento experimental se realizó en la Facultad Regional Venado Tuerto de la UTN, de acuerdo a las prescripciones de las normas IRAM 9663 (2013) y 9664 (2013). Se ensayaron a flexión 20 vigas de las mencionadas dimensiones y características. Previo al ensayo se acondicionaron en cámara a 20 °C y 65 % de humedad. Para el relevamiento de las singularidades y la clasificación visual se utilizó el método propuesto en los suplementos del Reglamento INTI-CIRSOC 601 (2016) actualización 2020. El contenido de humedad y la densidad se determinaron según las normas ISO 13061-1 (2014) e ISO 13061-2 (2014).

En el procedimiento experimental para determinar el módulo de elasticidad y resistencia a flexión, las vigas utilizadas estaban simplemente apoyadas con una luz entre apoyos igual a 15 veces la altura nominal de la viga, y la aplicación de carga en flexión se realizó sobre dos puntos simétricos a una distancia igual a 6 veces la altura de la misma.

Se colocaron topes laterales en el centro y extremos de la viga para evitar el vuelco o pandeo lateral. La carga de ensayo se aplicó, mediante una prensa hidráulica con válvula reguladora de caudal que permitía ajustar la velocidad de aplicación de la carga sin superar los 0,003 de la altura en mm/s. La medición de cargas se realizó con una celda de 50.000 N de capacidad máxima y con precisión de 10 N, conectada a un transductor de carga a fin de obtener un registro continuo de la lectura. En la Figura 2 queda reflejado el esquema general de carga según Norma.

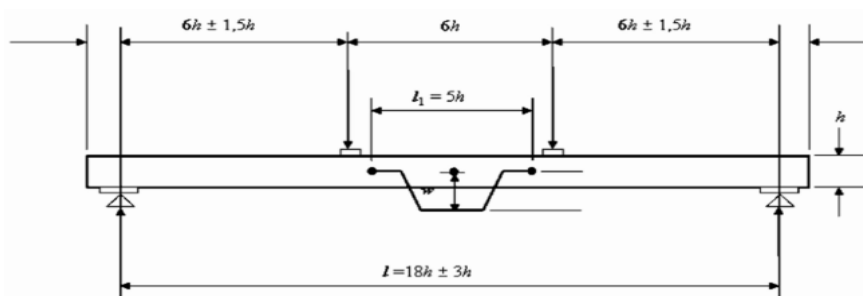


Figura 2: Esquema general de carga del ensayo de flexión estática.

La Figura 3 muestra el dispositivo para la medición de las deformaciones en el período elástico. Las mismas fueron medidas sobre la cara inferior y en el centro de la luz respecto de los apoyos para la determinación del módulo de elasticidad global. Para ello se utilizaron comparadores digitales marca Mitutoyo con una sensibilidad de 0,01 mm.



Figura 3: Dispositivo de medición de las deformaciones.

Durante la realización del ensayo a flexión, se tomaron lecturas de carga y deformación para 7 escalones cada 2.000 N hasta los 18.000 N.

El módulo de elasticidad global en flexión se determinó con la siguiente expresión:

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbhh} \right)} \quad (1)$$

Siendo:

$E_{m,g}$: Módulo de elasticidad global en flexión, en Newton por milímetro cuadrado.

a : Distancia entre el punto de carga y el apoyo más próximo, en milímetros.

l : Longitud de flexión entre apoyos, en milímetros.

b : Ancho de la sección, en milímetros.

h : Altura de la sección, en milímetros.

G : Módulo de elasticidad transversal, en Newton por milímetro cuadrado.

$F_2 - F_1$: incremento de carga, en Newton.

$w_2 - w_1$: incremento de deformación correspondiente a $F_2 - F_1$, en milímetros.

En la determinación del módulo de elasticidad global se consideró el módulo de elasticidad transversal G de 650 N/mm², de acuerdo a lo permitido por la Norma UNE-EN 408 (2011) para los casos en que se desconoce su valor.

La resistencia a flexión, se determinó con la siguiente expresión:

$$f_m = \frac{3Fa}{bd^2} \quad (2)$$

Siendo:

f_m : Resistencia a la flexión, en Newton por milímetro cuadrado.

a: Distancia entre el punto de carga y el apoyo más próximo, en milímetros.

F: Carga máxima, en Newton.

b: Ancho de la sección, en milímetros.

h: Altura de la sección, en milímetros.

Posteriormente a los ensayos, se determinó la densidad y humedad a fin de ajustarlos a valores de referencia según lo establecido en la norma IRAM 9664 (2013). También se registró la ubicación y tipo de rotura para comprender mejor el comportamiento del elemento estructural.

3) Resultados y Discusión

Del total de 20 muestras ensayadas, se descartaron 6 ensayos debido a que las roturas de las vigas laminadas encoladas se produjeron por deficiencias en el adhesivo de la unión *finger joint*, principalmente debido a una deficiente fabricación de la unión y no por un mal desempeño de la madera.

En la tabla 1 se exponen los valores experimentales de 14 vigas laminadas encoladas de pino ponderosa analizadas estadísticamente. Los mismos están ajustados a las condiciones de referencia de acuerdo a la norma IRAM 9664 (2013). La resistencia a flexión se ajustó a un canto de referencia de 600 mm, base de 150 mm y longitud de ensayo de 18 veces la altura de la viga. El módulo de elasticidad y la densidad se ajustaron al contenido de humedad de 12%.

Valores Experimentales				
Parámetros	f_m	$E_{m,g}$	ρ 12%	Humedad
	N/mm ²	N/mm ²	Kg/m ³	%
Máximo	23,3	7.456	425,9	11,5
Mínimo	16,4	6.270	381,8	10,5
Medio	19,5	6.738	406,9	11,1
COV (%)	11,6	4,7	2,4	2,9
n	14	14	14	14

f_m : Resistencia a flexión experimental; $E_{m,g}$: Módulo de elasticidad global experimental; ρ : Densidad; COV: Coeficiente de variación; n: Número de muestras.

Tabla 1: Valores experimentales de resistencia a flexión y módulo de elasticidad para vigas laminadas encoladas de pino ponderosa clase resistente 1.

La resistencia a flexión, debería compararse con el valor correspondiente al percentil 5%, pero como en este caso la cantidad de muestras es muy baja, se toma el valor mínimo como punto de comparación. El mismo se corresponde con un valor de 16,4 N/mm². El valor teórico obtenido por Guillaumet et al. (2022) para vigas laminadas encoladas clase resistente 1 es de 19 N/mm². La variación entre ambos es de 13,7%.

En cuanto al módulo de elasticidad, el valor medio experimental de 6.738 N/mm² supera en un 5,1% a los teóricos de 6.408 N/mm² determinados analíticamente por Guillaumet et al. (2022) para vigas laminadas encoladas clase 1. Los valores analíticos no difieren sustancialmente de los experimentales.

De las 6 vigas laminadas encoladas ensayadas que se descartaron de la comparación, se observó a través del análisis de la rotura, que en todos los casos se correspondieron con fallas de fabricación del adhesivo de la unión *finger joint*, produciendo el desplazamiento limpio y sin rotura del ensamble dentado entre las dos tablas continuas vinculadas entre sí por medio de esta unión. En el caso de las 14 vigas laminadas encoladas restantes, el tipo de rotura se corresponde con el correcto comportamiento estructural de una viga de estas características. En la figura 4, se observan fallas por mala calidad de fabricación de este tipo de unión.



Figura 4: Rotura por falla de encolado en unión *finger joint*.

4) Conclusiones

El módulo de elasticidad determinado experimentalmente presentó un valor superior en 5% respecto de los valores teóricos. Estos resultados son muy promisorios sobre el comportamiento de estas vigas laminadas encoladas.

Para la resistencia a flexión el valor obtenido fue menor al teórico esperado en 14%, si bien la cantidad de ensayos fue muy baja, resulta un llamado de atención y exige analizar una muestra más amplia.

Las fallas detectadas en las uniones *finger joint*, exigen aumentar los cuidados y el control de calidad en el proceso de fabricación de estos elementos estructurales que deben romper por alcanzar el agotamiento de la capacidad resistente del material madera y no por un defecto de producción.

Se propone avanzar en una serie de ensayos para confirmar estos valores y de esta manera asegurar las propiedades estructurales de las vigas laminadas encoladas de pino ponderosa para gestionar su incorporación a la norma IRAM 9660 (2015) y a los suplementos del Reglamento INTI-CIRSOC 601 (2016).

Referencias

Guillaumet AA, Filippetti, MC, Manavella RD, Meyer LC. (2022). *Vigas laminadas encoladas: una buena opción estructural para el pino ponderosa*. VI Jornadas Forestales Patagónicas 2022. San Carlos de Bariloche, Argentina.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro de Investigación de los Reglamentos de Seguridad para las Obras Civiles. (2016). *Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. Suplemento actualización 2020. Manual de aplicación de los criterios de diseño*. Buenos Aires, Argentina.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2015). *Madera laminada encolada estructural. Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y de control. Parte 2: Métodos de ensayo (IRAM 9660/1/2)*. Buenos Aires, Argentina.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2015). *Madera laminada encolada estructural. Requisitos de los empalmes por unión dentada (IRAM 9661)*. Buenos Aires, Argentina.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2015). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 1: Tablas de pino Paraná. Parte 2: Tablas de Eucalyptus grandis. Parte 3: Tablas de Pino taeda – Elliotti. Parte 4 Tablas de álamo ‘australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’ (Populus deltoides) (IRAM 9662/1/2/3/4)*. Buenos Aires. Argentina.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). *Madera estructural. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas (IRAM 9663)*. Buenos Aires, Argentina.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). *Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad (IRAM 9664)*. Buenos Aires, Argentina.

International Organization for Standardization. (2014). *Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens. Determination of moisture content for physical and mechanical tests (ISO 13061-1)*.

International Organization for Standardization. (2014). *Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens. Determination of density for physical and mechanical tests (ISO 13061-2)*.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (1999). *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos (UNE-EN 1194)*. Madrid, España.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). *Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas (UNE-EN 408)*. Madrid, España.

Agradecimientos

A los graduados y alumnos del Grupo GIDEC (Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles) de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional por su invaluable colaboración en el ensayo de los elementos estructurales.