



DIFERENTES ANCHOS DE VIGAS LAMINADAS ENCOLADAS DE *Pinus* sp., SU COMPORTAMIENTO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXION ESTATICA

Elizabeth WEBER¹, Teresa SUIREZS¹, Elisa BOBADILLA¹, Obdulio PEREYRA¹, Adelaida BRAGAÑOLO¹, Ángela WINCK¹, Julio BERNIO¹

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo comparar los módulos de rotura y elasticidad a la flexión estática en vigas laminadas encoladas de madera de *Pinus* sp. construidas con distintos anchos de láminas. Se adquirieron las vigas de una industria de la zona norte de la provincia de Misiones. Los ensayos de flexión estática se realizaron con dos puntos de aplicación de carga. Se utilizaron ocho (8) vigas laminadas de 65 x 140 x 2.900 mm y ocho (8) vigas laminadas de 45 x 140 x 2.900 mm (IRAM 9663). Los ensayos se realizaron en una máquina electromecánica universal de ensayos. Se obtuvieron los valores para los distintos anchos de viga, presentando el módulo de rotura diferencias estadísticamente significativas, no así el módulo de elasticidad.

Palabras clave: *madera estructural, módulo de rotura, módulo de elasticidad*

1. INTRODUCCIÓN

Las industrias de la zona fabrican vigas laminadas encoladas con *Pinus* sp. de distintas secciones, entre las cuales se pueden encontrar anchos diversos. Es por ello que se consideró de interés el estudio de las mismas. Existen varios estudios referidos al módulo de rotura y de elasticidad a la flexión estática de madera maciza del género *Pinus* sp. cultivado en la región, y escasa en vigas laminadas construidas a partir de esta materia prima.

Entre los antecedentes de madera maciza se pueden mencionar, GONZÁLEZ *et al.* (1992), al estudiar las propiedades del *Pinus elliottii* entre 13 y 18 años de edad encontraron valores promedios de módulo de rotura y de elasticidad a la flexión estática de 920,68 y 52.416,88 kg/cm², respectivamente. GONZÁLEZ *et al.* (1993), estudió las propiedades del *Pinus taeda* de 13 y 14 años de edad y obtuvo valores de módulo de rotura y de elasticidad a la flexión estática de 776 y 63.748 kg/cm², respectivamente. SUIREZS (2000), estudió la madera de *Pinus taeda* L. impregnada con distintas retenciones de CCA (cromo-cobre-arsénico) y sin impregnar, obteniendo un valor promedio de módulo de rotura de 574,06 kg/cm² y módulo de elasticidad de 39.260,54 kg/cm² para la flexión estática, en la madera sin impregnar. WEBER (2005), al estudiar la madera de *Pinus taeda* Marion de distintas edades, encontró valores medios de módulos de rotura y elasticidad a la flexión estática para ejemplares de 16 años de edad, de 613,60 y 89.907,82 kg/cm² respectivamente. PEREYRA *et al.* (2008), estudiaron las propiedades mecánicas de la madera del pino híbrido y obtuvieron módulo de rotura 704,24 kg/cm², módulo de elasticidad 91.693,77 kg/cm² y tensión en el límite proporcional 544,15 kg/cm² para la resistencia a la flexión estática. WINCK (2013), estudio la madera de *Pinus taeda* L. con distintas intensidades de raleo, obteniendo valores promedios de los módulos de rotura y elasticidad a la flexión estática, de 79,6 y 9.948 MPa, para 50% de intensidad de raleo.

Entre los antecedentes de madera de vigas laminadas se pueden mencionar, Pérez del Castillo *et al.* (2002) estudiaron las propiedades mecánicas de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* obteniendo valores promedios de módulo de elasticidad y de rotura de 8.680 MPa; 45 MPa y 8.510 MPa; 36 MPa respectivamente. Astori *et al.* (2002) estudiaron la resistencia a la flexión estática de la madera laminada de *Pinus elliottii*, encontrando valores medio de tensión máxima de flexión de 25,10 MPa y

¹ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Correo electrónico de referencia eweber@facfor.unam.edu.ar



módulo de elasticidad de 8.238 MPa. Bozo *et al.* (2011) determinaron el módulo de elasticidad de vigas laminadas de madera de *Pinus radiata* obteniendo un valor promedio de 5.722 MPa. Grabher *et al.* (2015) ensayaron 26 vigas laminadas de *Pinus taeda*, dando como resultado promedio un módulo de elasticidad a la flexión estática de 9.565,46 N/mm² y de rotura de 50,75 N/mm². Sanchez (2015) incorporó cordones trenzados, de baja elongación y alta resistencia a la tracción, fabricados con fibras de polietileno en vigas laminadas de madera de *Pinus* sp., para incrementar los módulos de rotura y de elasticidad a la flexión estática, obteniendo los siguientes valores medios de módulo de rotura para viga sin cordón, con un cordón y con dos cordones, estos dos últimos con precarga de 40 kg, 26,21; 28,76 y 33,42 N/mm² respectivamente y los módulos de elasticidad para los mismos de 8.393,26; 9.767,77; 11.654,10 N/mm².

Este trabajo tuvo por objetivo comparar los módulos de rotura y módulos de elasticidad a la flexión estática de vigas laminadas encoladas considerando dos medidas de anchos distintas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se adquirieron las vigas laminadas encoladas de una industria de la zona norte de la provincia de Misiones, de un lote de la producción (IRAM 9660-1).

En este trabajo se realizaron ensayos de flexión estática, por el método de carga distribuida en dos puntos equidistantes, siguiendo las especificaciones técnicas de la Norma IRAM 9663/11.

Los ensayos de flexión estática, se realizaron utilizando ocho (8) vigas laminadas de 65 x 140 x 2.900 mm (A) y ocho (8) vigas laminadas de 45 x 140 x 2.900 mm (B) todas ellas compuestas por 6 laminas; la distancia entre apoyos o luz para el ensayo de flexión fue de 2.520 mm (Foto1) y la distancia entre los puntales de 840 mm.



Foto 1. Vigas laminadas encoladas de dos anchos (A= 65 mm y B= 45 mm).

El valor promedio del contenido de humedad de las probetas ensayadas fue de 13,3 %, tomado con un medidor de humedad con electrodos (xilohigrómetro).

Los ensayos se realizaron en una máquina universal de ensayos electromecánica modelo 10407030 de procedencia Italiana fabricante DIDACTA, con capacidad de 300 kN, que cuenta con elementos auxiliares para este tipo de ensayo de flexión estática con dos puntos de aplicación de carga, que



fueron colocados en la maquina, según norma IRAM 9663/11. Los datos obtenidos se tomaron del programa que forma parte del equipo (Foto 2).

Los datos se analizaron con el paquete estadístico Infostat.

Se formularon las hipótesis de igualdad entre los promedios de los módulos de elasticidad y de rotura de los distintos anchos, contra las alternativas de desigualdad entre los mismos,

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

siendo:

μ_1 = Valor promedio de módulo de elasticidad o de módulo de rotura de ancho 45 mm (B)

μ_2 = Valor promedio de módulo de elasticidad o de módulo de rotura de ancho 65 mm (A)

Las cuales se probaron a través de la prueba "t" de Student con un nivel de confianza de 95%.



Foto 2. Máquina universal de ensayos electromecánica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se encontraron diferencias estadísticas significativas para los valores de módulo de elasticidad en los distintos anchos, pero si se encontraron diferencias estadísticas significativas para los valores de módulo de rotura en los distintos anchos.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de la media, desviación estándar y coeficiente de variación de los módulos de rotura y elasticidad de los distintos anchos de vigas laminadas.

Cuadro 1. Análisis de medias para los distintos anchos de las vigas, tratamiento A (65 mm), y B (45 mm) para módulo de rotura (MOR) y para módulo de elasticidad (MOE).

Tratamiento		MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
A	Media	28,88 a	12.172,30 a
B		25,20 b	11.361,53 a
A	Desviación estándar	2,94	1.101,59
B		2,94	1.004,95
A	Coeficiente de Variación	10,17	9,05
B		11,68	8,85

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).



En el Gráfico 1 se muestra la comparación de medias del módulo de rotura de las vigas laminadas según su dimensión en el ancho, podemos observar que en las vigas más angostas los valores de resistencia fue menor.

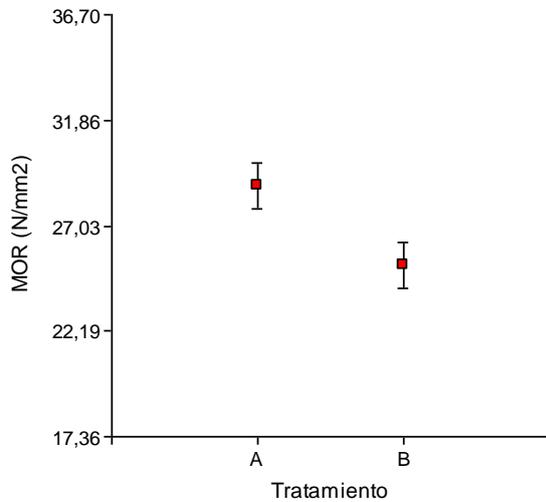


Gráfico 1. Comparación de medias de los módulos de rotura (MOR) según las distintas medidas de ancho: A=65 mm y B= 45 mm

En el Gráfico 2 se muestra la comparación de medias del módulo de elasticidad de las vigas laminadas según su ancho, el cual al igual que en el módulo de rotura, también es mayor en las vigas de 65 mm no siendo estadísticamente significativa esa diferencia para un 95% de probabilidad.

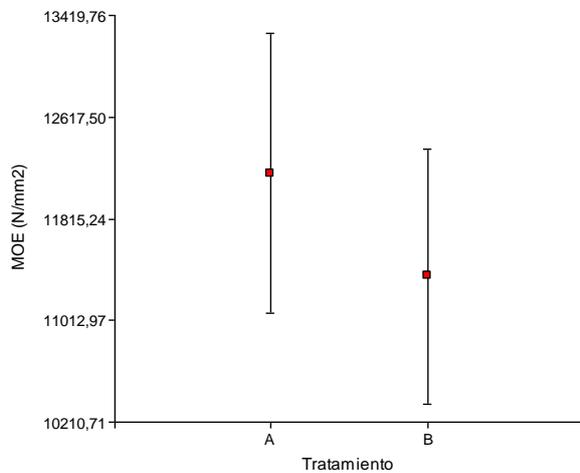


Gráfico 2. Comparación de medias de los módulos de elasticidad (MOE) según las distintas medidas de ancho: A= 65 mm y B= 45 mm.

Los resultados de valores medios de módulo de elasticidad a la flexión estática obtenidos para ambos anchos de vigas (65 y 45 mm) fueron superiores a los valores encontrados por distintos autores: GONZÁLEZ *et al.* (1992 y 1993), SUIREZS (2000), WEBER (2005), PEREYRA *et al.* (2008) y WINCK (2013) en madera maciza. Entre estos antecedentes los valores más altos fueron los encontrados por WINCK (2013). Sin embargo los valores de MOR a la flexión hallados en este estudio fueron inferiores a los encontrados por los mismos autores en el género *Pinus*.



Si comparamos los valores obtenidos con los antecedentes de vigas de madera laminadas, los autores Pérez del Castillo *et al.* (2002), Astori *et al.* (2002), Bozo *et al.* (2011), Grabher *et al.* (2015) y Sánchez (2015) con respecto al módulo de elasticidad obtienen menores resultados si se consideran los dos anchos utilizados. En cuanto al MOR, Pérez del Castillo *et al.* (2002) es el único que obtiene valores superiores que los determinados en este trabajo.

4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en vigas laminadas encoladas de *Pinus* sp. se concluye:

- El módulo de rotura a la flexión estática arroja valores más altos para vigas de 65 mm de ancho respecto al de 45 mm.
- El módulo de elasticidad a la flexión estática de las vigas de mayor ancho presentaron valores superiores.
- Con estos resultados se concluye que las vigas ofrecen mayor resistencia a medida que su ancho es mayor, y que las vigas laminadas encoladas presentan mayores valores que maderas maciza provenientes del género *Pinus*.

5. LITERATURA CITADA

ASTORI R.E., NATALINI M.B. 2002. Uso estructural del pino resinoso (*Pinus elliotii*) en vigas de madera laminada. Facultad de Ingeniería - UNNE. Revista de Ciencia y Técnica. Resistencia. Chaco. Argentina.

BOZO G.A., ARCOS T.B., KARSULOVIC C.T. 2011. Módulo de elasticidad en flexión de vigas compuestas a base de madera. Departamento de Ingeniería de la Madera. Universidad de Chile.

GONZÁLEZ R.A., PEREYRA O., SUIREZS T. 1992. Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de *Pinus elliotii* reforestado en la Provincia de Misiones, Argentina. Yvyretá Año 3 N° 3. Pg.5-19.

GONZÁLEZ R.A., PEREYRA O., SUIREZS T. 1993. Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de *Pinus taeda* reforestado en la Provincia de Misiones, Argentina. Yvyretá N° 4. Pg.4-8.

GRABHER G.G., WEBER E., PEREYRA O., ZADERENKO C. 2015. Determinación de la correlación entre mediciones del módulo de elasticidad "MOE" y módulo de rotura "MOR" en vigas laminadas, por ultrasonido y máquina universal de ensayos. Aceptado para ser publicado en Revista Forestal Yvyretá, Octubre de 2015. ISSN 0328-8854.

NORMA IRAM 966-1. 2005. Madera laminada encolada estructural. Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y de control.

NORMA IRAM 9663. 2011. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas.

PEREYRA O., SUIREZS T.M., BOBADILLA E.A., WEBER E.M., GAMARRA N.G. 2008. Propiedades mecánicas de madera del híbrido *Pinus elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Misiones, Argentina. 13ª Jornadas Técnicas forestales y Ambientales. Eldorado. Misiones. ISSN.

PÉREZ DEL CASTILLO A., BENITES L. 2002. Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales LATU-JICA (1998-2003) Propiedades Mecánicas y Resistencia de Uniones Encoladas de Vigas Laminadas Informe de Investigación N°10.

SANCHEZ J.O. 2015. Tesis: Mejora de las características mecánicas de vigas de madera laminada reforzadas con material sintético. Universidad Nacional de Misiones.

SUIREZS T.M. 2000. Tesis: Efecto de la impregnación con CCA (cromo-cobre-arsénico) sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. implantado en la provincia de Misiones. Misiones, Argentina. Universidad Nacional de Misiones.

WEBER E.M. 2005. Tesis: Caracterización Física y Mecánica de *Pinus taeda* origen Marion en plantaciones de diferentes edades y determinación de usos potenciales. Misiones, Argentina. Universidad Nacional de Misiones.

WINCK R.A. 2013. Tesis: Influencia del raleo sobre las características anatómicas y las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. de la región NE de la Argentina. Universidad Nacional de Misiones.