

ANÁLISIS DE LAS RESISTENCIAS AL CIZALLAMIENTO EN UNIONES DE LÁMINAS DE MADERA ENCOLADAS ENTRE PLANOS TANGENCIALES

ANALYSIS OF SHEAR STRENGTH IN JOINTS OF WOOD GLUED SHEETS BETWEEN TANGENTIAL PLANES

Fecha de recepción: 09/06/2017//Fecha de aceptación: 14/12/2017

Yamila Mariel Pereyra

Ing. en Industrias de la Madera- Facultad de Ciencias Forestales- UNaM., Eldorado-Misiones-Argentina.
yamilamarielpereyra@gmail.com

Adelaida Bragañolo

Ing. en Industrias de la Madera- Facultad de Ciencias Forestales- UNaM. Eldorado-Misiones-Argentina.
abeyi33@hotmail.com

Elizabeth Maria Weber

M.Sc. Tecnología de la madera. Docente de la Facultad de Ciencias Forestales- UNaM. Eldorado-Misiones-Argentina.
eweber@facfor.unam.edu.ar

Elisa Alicia Bobadilla

M.Sc. Tecnología de la madera. Docente de la Facultad de Ciencias Forestales- UNaM. Eldorado-Misiones-Argentina.
elisa@facfor.unam.edu.ar

Teresa Maria Suirezs

M.Sc. Tecnología de la madera. Docente de la Facultad de Ciencias Forestales- UNaM. Eldorado-Misiones-Argentina.
teresuirezs@hotmail.com

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar el comportamiento de las tensiones de corte en uniones de maderas encoladas de uso estructural entre planos de corte tangencial externo e interno, y el porcentaje de rotura en madera. Para ello se tomaron muestras de vigas laminadas de *Pinus sp.* fabricadas industrialmente y encoladas con adhesivo urea-melamina en una industria del sur de la provincia de Misiones, las probetas para los ensayos fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, posteriormente se las identificó con el número de la viga seguido por el número de probeta y cada lámina fue identificada con una letra. Los ensayos de corte en la línea de adhesivo se realizaron según especifica la norma IRAM 9660-2, en máquina universal de ensayos electromecánica. Con los resultados obtenidos se pudo establecer la existencia de diferencia significativa entre las combinaciones de planos de corte de la madera tangencial interno-tangencial interno y tangencial externo-tangencial externo.

SUMMARY

This work had as an objective to study the behavior of shear stresses in glued wood joints for structural use between internal and external tangential cutting planes and the percentage of wood failure. To do this, samples of laminated beams of *Pinus sp.* industrially manufactured and glued with Urea-Melamina adhesive in a factory from the south of the province of Misiones were taken. The samples for the tests were made in the wood technology laboratory of the Faculty of Forestry Sciences, and were identified with the beam number followed with the sample number and each sheet was identified with a letter. The shear tests in the adhesive line were made as the IRAM Norm 9660-2 specifies with an electromechanical Universal Testing Machine. It was possible to establish the existence of significant differences between the combinations of wood cutting sections of “tangencial internal-tangencial interno” and “tangencial external-tangencial externo”, with the obtained results.

El porcentaje de rotura en madera fue inferior al valor que establece la norma.

Palabras clave: Vigas laminadas. Tensión de corte. *Pinus sp.* Urea-melamina

The percentage of wood failure was lower than the standardized.

Key words: Laminated beams. Shear stress. *Pinus sp.* Urea-melamina

INTRODUCCIÓN

La aplicación de madera laminada en estructuras data de 1909 en Suiza. Actualmente las estructuras de madera laminada constituyen un importante elemento de construcción, especialmente para edificios con grandes luces, son aptas para una extensa gama de aplicaciones, ya que permite la creación de estructuras estéticamente agradables y de grandes posibilidades de diseño arquitectónico y resistente construcción. El prejuicio que existía contra las estructuras de madera laminada se fue perdiendo desde antes de la segunda guerra mundial, debido principalmente a los excelentes adhesivos que se han logrado obtener y a la mejora del encolado (PEREZ GALAZ, 1992).

El uso de vigas laminadas tiene muchas ventajas, entre ellas el hecho de poder utilizar tablas cortas, angostas y saneadas, para dar forma a piezas estructurales de cualquier espesor, ancho y forma, incluso piezas curvas, no existiendo límites en cuanto a las dimensiones de las vigas. Es posible diseñar elementos estructurales prácticos y estéticos al mismo tiempo, dado que, además de satisfacer los esfuerzos requeridos, pueden lograrse formas armoniosas y atractivas. La relación peso-resistencia resulta baja si se la compara con la de otros materiales utilizados en estructuras lo cual disminuye los costos de colocación y aumenta la eficacia del producto. Son más homogéneas que las vigas de madera maciza porque es posible seleccionar de acuerdo a su calidad las piezas que la compondrán. Se considera la tensión admisible en un 20% mayor que las vigas macizas (JOVANOVSKI Y WORNER, 1996).

En comparación con materiales clásicos de la construcción, amenazados por la corrosión que disminuye sus propiedades, la madera laminada es más estable; por otro lado, resiste sismos de considerable intensidad por las uniones articuladas con las que se las diseña; por medio de un buen proceso de fabricación y puesta en obra pueden cubrirse luces de 100 metros o más lo que permite mayores posibilidades de utilización por la eliminación de apoyos intermedios. El método de fabricación permite el uso de láminas de menor calidad en las zonas de menor esfuerzo, y madera de mejor calidad en las zonas de mayor esfuerzo. Sus grandes dimensiones en la sección transversal la hacen más resistente al fuego que las construcciones de acero (PEREZ GALAZ, 1992).

En cuanto a los espesores de las láminas utilizadas para producir las vigas, las mismas pueden variar de 38 a 50 mm, American Institute of Timber Construction (AITC) recomienda espesores de 19 a 38 mm. Piezas con espesores mayores que 50 mm pueden presentar problemas de secado con posibles rajaduras (ZANDER, 1979). De acuerdo con Jovanovski y Worner (1996) el espesor de los elementos puede variar entre 15 y 40 mm, no existiendo restricciones con respecto al largo de los mismos, ya que al formar la viga éstos son conectados por los extremos con uniones finger-joint. Para PEREZ GALAZ (1992), el espesor de las láminas no debe ser inferior a 19 mm, ni sobrepasar los 50 mm por razones de secado y economía, y según DEMKOFF (2003) el espesor normal de las láminas varía entre 20 y 45 mm.

El contenido de humedad de la lámina debe ser tal que permita una línea de cola resistente, ya que sumado a la cantidad de agua del adhesivo debe dar a la pieza un tenor de humedad de equilibrio próximo a su uso final. Cuando se aplica adhesivo a las láminas, la humedad de ellas aumenta. Este incremento de humedad depende del espesor de las láminas, del tipo de adhesivo, de la especie de madera utilizada y de la cantidad de adhesivo aplicado. Alteraciones del tenor de humedad causan tensiones en la madera y en la línea de cola, pudiendo causar delaminación. Las tensiones internas son generadas porque durante la contracción la variación dimensional de la madera no es igual en todos los sentidos. Si estas tensiones sobrepasan el límite de resistencia del material, surgirán defectos de secado. Es recomendable no disponer láminas orientadas en sentido radial y tangencial dentro de la misma viga (ZANDER, 1979).

Los trabajos realizados en maderas macizas de *Pinus taeda* de 13 y 14 años de edad en corte paralelo a las fibras tangencial y radial arrojaron valores promedio de 106 kg/cm² y 94 kg/cm² respectivamente, con peso específico aparente de 0,47 g/cm³ (GONZÁLEZ *et al.* 1993).

La madera de *Pinus elliottii* estudiada por GONZÁLEZ *et al.* (1992) presentó un peso específico aparente de 0,54 g/cm³, tensión de corte tangencial de 114 kg/cm² y tensión de corte radial de 112 kg/cm².

SUIREZS (2000) estudió la madera de *Pinus taeda*, obteniendo valores promedio de peso específico aparente de 0,51 g/cm³, corte paralelo a las fibras tangencial y radial de 100,36 y 96,09 kg/cm² respectivamente.

WEBER (2005) estudió la madera de *Pinus taeda* de 16 años obteniendo un peso específico aparente de 0,462 g/cm³, tensión de corte tangencial y radial de 106,01 y 91,66 kg/cm² respectivamente.

KEIL *et al.* (2009), determinaron la tensión de corte en la madera de *Pinus taeda* L. encolada con dos tipos de adhesivos, obteniendo un valor promedio de 70,52 kg/cm² para maderas encoladas con PVA-isocianato y 71,88 kg/cm² para las encoladas con PVA-multibond.

VARGAS (2011) estudio la tensión de corte en cinco combinaciones de planos de vigas multilaminadas encoladas con adhesivo estructural Phenol Resorcinol Formaldehído (PRF) de tipo 1 e impregnadas con arseniato de cobre cromatado (CCA), obteniendo valores promedios, para los planos semitangencial-semitangencial 64,8 kg/cm²; radial-semitangencial 77,0 kg/cm²; tangencial-semitangencial 69,6 kg/cm²; radial-radial 70,6 kg/cm² y semitangencial-semiradial 64,0 kg/cm².

SUIREZS *et al.* (2016), evaluaron la respuesta a la tensión de corte en uniones encoladas entre planos tangenciales-tangenciales (Tg-Tg) y tangenciales-semitangenciales (Tg-STg) de vigas laminadas con madera de *Pinus* sp., obtuvieron valores promedios de 6,39 N/mm² en uniones Tg-Tg y 6,07 N/mm² en Tg-STg. No se encontraron diferencias estadísticas significativas para los valores de tensión de corte entre las uniones encoladas.

Para evaluar la eficacia del encolado con adhesivos de uso exterior y de uso interior en el control diario de la producción por parte del fabricante, se debe realizar el ensayo de delaminación y el ensayo de cizallamiento en las líneas de encolado. Para que los resultados sean aceptables en el ensayo de cizallamiento en las líneas de encolado, se deben cumplir con los valores mínimos de rotura por madera en función de la resistencia al cizallamiento (fv) que se indica en la tabla 1 (IRAM 9660-1).

El objetivo fue determinar la influencia de diferentes planos de corte de madera encolada para uso estructural en la resistencia al cizallamiento, específicamente determinar el esfuerzo cortante en la línea de cola entre los planos: tangencial externo-tangencial externo; tangencial externo-tangencial interno; tangencial interno-tangencial interno. Además determinar el porcentaje de rotura en madera. Bajo la hipótesis de que las uniones de distintos planos de corte influyen en los valores de resistencia al cizallamiento.

Tabla 1: Valores mínimos de rotura por madera en función de la resistencia al cizallamiento (fv).

Table 1: Minimum values of wood failure according to shear strength (fv).

| | PARA EL PROMEDIO DE LA PROBETA | | | PARA CADA LÍNEA DE ENCOLADO | | |
|-------------------------|--------------------------------|----|-----|-----------------------------|----|-----|
| | 6 | 8 | ≥11 | Hasta 6 | 8 | ≥10 |
| Fv (N/mm ²) | 6 | 8 | ≥11 | Hasta 6 | 8 | ≥10 |
| Rotura por madera % | 90 | 72 | 45 | 100 | 74 | 20 |

Fuente: IRAM 9660-1.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las probetas para los ensayos, se cortaron de vigas laminadas encoladas con madera de pino sp. elaboradas en una industria maderera del sur de la provincia de Misiones, las mismas se realizaron siguiendo los procedimientos de la norma IRAM 9660-2.

Las probetas de madera fueron extraídas de la sección transversal de la viga y cortadas en forma perpendicular a la dirección de las fibras en un largo de $75 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, éstas fueron identificadas con el número de la viga seguido por el número de la probeta sobre cada una de las láminas que constituyen la viga. A su vez, cada lámina fue identificada con una letra siguiendo un orden alfabético, figuras 1 y 2.



Figura 1: Vista lateral de la probeta para ensayo de cizallamiento.

Figure 1: Lateral view of the test specimen for the shear test.



Figura 2: Vista superior de la probeta para ensayo de cizallamiento.

Figure 2: Upper view of the test specimen for the shear test.

Los ensayos se realizaron en máquina universal electromecánica con capacidad de 300 kN y precisión de 3 kN, con accesorio para el ensayo de cizallamiento. Figuras 3 y 4.

Tratamientos

Las distintas combinaciones de planos de corte utilizadas como tratamientos fueron:

Plano de corte tangencial externo- tangencial interno (TE-TI) (figura 5);

Plano de corte tangencial externo- tangencial externo (TE-TE) (figura 6) y

Plano de corte tangencial interno- tangencial interno (TI-TI) (figura 7)



Figura 1: Máquina electromecánica de ensayos.

Figure 2: Electromechanical test machine.



Figura 3: Accesorios para realizar los ensayos de cizallamiento.

Figure 4: Shear test accessory.



Figura 5: Combinación de planos de corte tangencial externo-tangencial interno.

Figure 5: Combination of wood cutting sections tangential external-tangential internal.



Figura 6: Combinación de planos de corte tangencial externo-tangencial externo.

Figure 6: Combination of wood cutting sections tangential external-tangential external.



Figura 7: Combinación de planos de corte tangencial interno-tangencial interno.

Figure 7: Combination of wood cutting sections tangential internal-tangential internal.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con 3 tratamientos de distintas combinaciones de planos de corte y 26 repeticiones cada uno.

Para cada tratamiento se realizaron los siguientes análisis estadísticos y de aceptación.

- Análisis de variancia (ANOVA)
- Test de Tukey

Las hipótesis que se sometieron a prueba fueron:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ Las tensiones de corte promedio son las mismas para las tres combinaciones de planos de corte.

H_1 : Al menos dos combinaciones de planos de corte presentan diferencias significativas en sus valores medios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presenta el resumen estadístico de los datos obtenidos de la resistencia al cizallamiento en la combinación de planos de corte tangencial interno-tangencial externo, donde se puede observar la gran diferencia que existe entre el valor máximo y mínimo de la resistencia al cizallamiento obtenido a través de los ensayos de las muestras.

Tabla 2: Datos estadísticos de la resistencia al cizallamiento en la combinación de planos de corte tangencial interno con tangencial externo.

Table 2: Statistical data of shear strength in the combination of internal tangential cutting planes with external tangential ones

| Dato | N/mm ² |
|---------------------------|-------------------|
| Máximo | 9,2 |
| Mínimo | 1,1 |
| Promedio | 6,1 |
| Coefficiente de variación | 39,8 % |
| Desvío estándar | 2,43 |

Si comparamos este valor promedio con los valores promedios de madera maciza de *Pinus elliotii* y *P. taeda*, estudiados POR GONZALEZ *et*

al 1992 y 1993. SUIREZS 2000, WEBER 2005 queda demostrado que el valor de resistencia al corte en madera encolada de pino sp. es inferior. Los valores determinados por KEIL *et al* 2009 son superiores a valor promedio de este trabajo. Comparando con los valores promedios de tensión de corte obtenidos por VARGAS 2011, de madera de *Pinus* sp. impregnadas con arseniato de cobre cromatado, entre uniones de distintos planos de corte presentan en todos los casos valores superiores. Siendo este valor promedio de 6,1 N/mm² similar a los valores obtenidos por Suiresz *et al* 2016.

Se puede observar en la tabla 3 el resumen estadístico de los valores obtenidos de la resistencia al cizallamiento en la combinación de planos de corte tangencial interno-tangencial interno.

Tabla 3: Datos estadísticos de la resistencia al cizallamiento en la combinación de planos de corte tangencial interno con tangencial interno.

Table 3: Statistical data of shear strength in the combination of internal tangential cutting planes with internal tangential ones.

| Dato | N/mm ² |
|---------------------------|-------------------|
| Máximo | 9,7 |
| Mínimo | 2,6 |
| Promedio | 6,8 |
| Coefficiente de variación | 27,6 % |
| Desvío estándar | 1,88 |

Existe una marcada diferencia entre el valor máximo y el mínimo. Comparando el valor máximo se aprecia que son similares a los de madera masiza GONZALEZ *et al* 1992 y 1993. SUIREZS 2000, WEBER 2005.

En la tabla 4 se presenta el resumen estadístico de los valores obtenidos de la resistencia al cizallamiento en la combinación de planos de corte tangencial externo-tangencial externo.

Tabla 4: Datos estadísticos de la resistencia al cizallamiento en la combinación de planos de corte tangencial externo con tangencial externo.

Table 4: Statistical data of shear strength in the combination of external tangential cutting planes with external tangential ones.

| Dato | N/mm ² |
|---------------------------|-------------------|
| Máximo | 10,2 |
| Mínimo | 1,7 |
| Promedio | 4,94 |
| Coefficiente de variación | 52,6 % |
| Desvío estándar | 2,60 |

Este tipo de unión al igual que en los casos anteriores se observa una amplia diferencia entre el valor máximo y el mínimo. Al comparar con los tratamientos anteriores se observa que el coeficiente

de variación es más elevado y el promedio es más bajo.

Se presentan en la tabla 5 los valores promedios y el número de repeticiones efectuados de cada combinación de planos de corte utilizadas en este estudio.

El análisis de variancia (ANOVA) de las muestras utilizadas en este estudio, tabla 6 indica la existencia de diferencia significativa en al menos un contraste debido a que el valor de F calculado excede el límite dado por el F de tabla, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa planteadas anteriormente.

Para determinar cuáles fueron las combinaciones de planos de corte que presentaron diferencias significativas en sus valores promedio de tensión de corte se realizó el test de Tukey (Tabla 7). A través de este test se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos TE-TE y TE-TI representados con la letra A, tampoco existen diferencias significativas entre los tratamientos TE-TI y TI-TI representados con la letra B, pero sí se observa diferencias significativas entre los tratamientos TE-TE y TI-TI, cada uno está representado por una letra diferente (TE-TE con A y TI-TI con B).

El valor promedio del porcentaje de rotura de madera en la línea de cola de los planos tangencial externo-tangencial interno fue del 60%, siendo la resistencia al cizallamiento promedio de 6,10 N/mm². Para los planos de corte tangencial externo-tangencial externo, el promedio de rotura en madera en la línea de cola fue del 56% y la resistencia al cizallamiento de 4,94 N/mm². En los planos de corte tangencial interno-tangencial interno el promedio de porcentaje de rotura en madera en la línea de cola fue del 65% y la resistencia al cizallamiento de 6,8 N/mm².

De acuerdo con la Norma IRAM 9660-1, ninguno de estos porcentajes de rotura en madera alcanza el valor mínimo que deberían alcanzar para ser aceptables.

Tabla 5: Promedios de la resistencia al cizallamiento de las tres combinaciones de los planos de corte.

Table 5: Average of shear strength of the three combinations of cutting planes.

| COMBINACIONES DE PLANOS | PROMEDIO N/mm ² | Nº DE REPETICIONES |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| Tangencial externo-tangencial interno | 6,10 | 26 |
| Tangencial interno-tangencial interno | 6,80 | 26 |
| Tangencial externo-tangencial externo | 4,94 | 26 |

Tabla 6: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

Table 6: Analysis of Variance Table (SC type III).

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|-----------------|-----------|---------|------|---------|
| Modelo | 5232,76 | 2 | 2616,38 | 4,66 | 0,0123 |
| Tratamiento | 5232,76 | 2 | 2616,38 | 4,66 | 0,0123 |
| Error | 42076,80 | 75 | 561,02 | | |
| TOTAL | 47309,56 | 77 | | | |

Tabla 7: Test de Tukey de comparación de medias.

Table 7: Tukey's test of means comparison.

| Tratamiento | Medias(N/mm ²) | N | E.E. | |
|-------------|----------------------------|----|------|-----|
| TE-TE | 4,94 | 26 | 4,65 | A |
| TE-TI | 6,10 | 26 | 4,65 | A B |
| TI-TI | 6,80 | 26 | 4,65 | B |

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

CONCLUSIÓN

Entre los planos encolados la tensión de corte en la línea de adhesivo de vigas laminadas con madera de *Pinus sp.* encoladas con urea-melamina presentaron diferencias significativas entre las combinaciones de planos tangencial externo-tangencial externo con tangencial interno-tangencial interno, mientras que entre los planos tangencial externo-tangencial interno con tangencial externo-tangencial externo no denotan diferencias significativas así como tampoco los planos de corte tangencial interno-tangencial interno con tangencial externo-tangencial interno.

Los porcentajes de rotura en madera no alcanzaron los valores mínimos establecidos en la normas.

BIBLIOGRAFÍA

DEMCOFF, M. 2003. Vigas laminadas estructurales de madera, su fabricación y empleo. XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia.

GONZÁLEZ, R. A.; Pereyra, O.; Suirezs, T.M. 1992. Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de *Pinus elliotii* reforestado en la provincia de Misiones, Argentina . Yvyrareta Año 3 – N° 3. Pg.5 - 19.

GONZÁLEZ, R.A; Pereyra, O; Suirezs, T.M. 1993. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* reforestado en la provincia de Misiones, Argentina. Yvyrareta N° 4. Pág. 4-8.

IRAM 45055 Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Adhesivos de policondensación de tipos fenólicos, aminoplásticos y de otros tipos. Clasificación y requisitos de comportamiento.

IRAM 9660-1 2005 Madera laminada encolada estructura. Parte 1: clases de resistencia y requisitos de fabricación y de control.

IRAM 9660-2 2005. Madera laminada encolada estructural. Parte 2: requisitos de los empalmes por unión dentada.

JOVANOVSKI A. Worner, H. 1996. Vigas laminadas. Publicación técnica 24. CIEFAP (Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico). 24 p.

KEIL G.D. & M. Marek. (2009). “Ensayos de tiempos abiertos y presiones de trabajo en encolado de *Pinus taeda* L. con adhesivos polivinílicos (PVA)”. Revista Forestal

YVYRARETA. UNAM. Misiones, Argentina. Vol. N° 16: pp 36 –41. ISSN 0328-8854.

PEREZ GALAZ V. 1992. Manual de madera laminada n°11, segunda edición. Instituto Forestal (INFOR). Santiago de Chile. 307 p.

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*. Eldorado. Misiones. UNAM.

SUIREZS, T. M.; Pereyra, O.; Weber, E. M.; Bragañolo, A.; Bobadilla, A. E.; Bernio, J. C.; Friedl, A. 2016. Evaluación de la tensión de corte en uniones encoladas de vigas laminadas de *Pinus sp.* en dos combinaciones de planos de corte. XVII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado. Misiones. Ponencias ISSN.1668-5385. (CD). 17-19/08/2016. Posadas Misiones.

VARGAS, A. 2011. Comportamiento del esfuerzo cortante sobre línea de cola en vigas multilaminadas de madera de *Pinus sp.* Integradora Final. F.C.F UNaM.

WEBER E. M. 2005. TESIS. Caracterización física y mecánica de *Pinus taeda* Marion en plantaciones de diferentes edades y determinación de usos potenciales. Eldorado. Misiones. UNAM.

ZANDER, 1979. Forest Products Laboratory, 1955 y 1987. ASTM, 1994. Compilación sobre producción de vigas de madera laminada colada e sua utilização. 46p.