

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Extracción de tornillo en madera de *Pinus taeda* a dos densidades diferentes

Screw extraction in Pinus taeda wood at two different densities

DOI: <https://doi.org/10.36995/j.yvyrareta.2025.001.es>

Recibido 28 de diciembre 2023; aceptado 10 de julio 2024

Adelaida Bragañolo¹, Marcelo Marek¹, Paola Acevedo¹, Marina Hornus²

¹Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Forestales. Laboratorio Tecnología de la Madera. Eldorado. Misiones. Argentina. adelaida.braganolo@fcf.unam.edu.ar

²Universidad Nacional de Misiones – CONICET. Instituto de Materiales de Misiones (IMAM). Posadas. Misiones.

Resumen

El presente trabajo evalúa la resistencia a la extracción de tornillo en madera de *Pinus Taeda* a baja y alta densidad. La madera de baja densidad corresponde en este trabajo a probetas de densidades entre 0,37 y 0,43 g cm⁻³ mientras que las de alta densidad 0,51 a 0,60 g cm⁻³. Las dimensiones de las probetas fueron de 50x50x150 mm y se ensayaron las resistencias en los tres planos de corte de la madera; el axial, radial y tangencial. La resistencia a la extracción de tornillo fue más alta y uniforme en el plano tangencial tanto a baja como alta densidad siendo de 1993 y 2863 N respectivamente.

Palabras clave: Estructuras de madera; Uniones; Vigas.

Abstract

The present work evaluates the screw extraction resistance of *taeda pine* wood at two different densities, considered in this work as low and high density wood. The low density wood were specimens with densities between 0.37 and 0.43 g cm⁻³ while the high density wood had values between 0.51 and 0.60 g cm⁻³. The specimens had dimensions of 50x50x150 mm and were tested for strength from transverse, radial and tangential sections of wood specimens. The screw pull-out strength was higher and more uniform in the tangential plane at both low and high density being 1993 and 2863 N respectively.

Keywords: Timber structures; Joints; Beams.

Introducción

La madera ha sido desde tiempos muy lejanos uno de los materiales más versátiles con respecto a sus posibles usos, uno de ellos es en la construcción, que se ha ido incrementando a lo largo de los años (Hänsel et al., 2022), actualmente existe una tendencia global a la construcción de edificios cada vez más altos de madera, como por ejemplo la Torre experimental Peñuelas que es uno de los proyectos más icónicos de la construcción en madera en Chile, la misma consta de seis pisos. La versatilidad de la madera permite la construcción de casas y edificios en combinación con concreto, en Canadá por ejemplo más del 90% de las edificaciones residenciales son estructuras livianas de madera (Pan et al., 2021). También se llevan adelante construcción híbridas con concreto y madera en edificios altos, pero estos se ven limitados por regulaciones de seguridad debido a que la madera es un material combustible, por ejemplo, en Canadá las estructuras de madera son limitadas hasta 6 pisos por el código nacional de edificación de Canadá. Para lograr estas edificaciones en madera, las uniones entre las piezas son puntos críticos (Ottenhaus et al., 2021), también la industria de muebles usa uniones para construir la esquina de estos (Feirer, 1972). Entre las uniones más comunes usadas en estructuras, están las mecánicas que utilizan elementos como clavos o tornillos para soportar los esfuerzos producidos por las cargas sobre los miembros (Arriaga et al., 2011). El esfuerzo de extracción se presenta cuando los elementos son sometidos a cargas aplicadas a la estructura, y experimentan fuerzas axiales de tracción que buscan extraer el conector de la perforación en la madera. Con frecuencia se necesitan datos sobre la resistencia de dichos elementos de fijación para fines de diseño y comparativos.

Este trabajo buscó determinar si la densidad es un factor importante en la resistencia a la extracción de tornillo en madera de *Pinus taeda*. Para ello se clasificó las probetas en dos grupos; baja y alta densidad. Además, otro enfoque fue establecer si la resistencia a la extracción de tornillo se ve afectada según el plano de corte de la madera; axial, radial y tangencial.

Materiales y métodos

Se utilizaron listones de madera aserrada seca comercial de *Pinus taeda* de dos aserraderos de la zona norte de la provincia de Misiones. Las maderas de un aserradero tenían densidad más baja que las del otro (Figura 1). La selección de las muestras de distintas densidades se realizó de manera que pudiera compararse entre madera de alta y baja densidad, seleccionando de un aserradero madera con mayor proporción de leño tardío y menor proporción de leño temprano; madera más densa

y de otro aserradero madera con menor proporción de leño tardío y mayor proporción de leño temprano; madera menos densa. A las maderas que tenían densidad más baja se la llamó en este trabajo madera de baja densidad, mientras que a las otras de alta densidad. Para cada grupo de densidad se confeccionaron 10 probetas rectangulares de 50 mm x 50 mm x 150 mm. En total se ensayaron 20 probetas.



Figura 1. A la izquierda madera pino de baja densidad a la derecha madera pino de alta densidad

Figure 1. On the left low-density pine wood on the right high-density pine Wood

Para determinar la densidad se pesaron cada muestra en una balanza de 0,1 g de precisión y se calculó el volumen midiendo el ancho, largo y alto con un calibre.

El contenido de humedad se determinó según la Norma IRAM N° 9532 por el método de secado en estufa. Las muestras luego de ser ensayadas se pesaron y se colocaron en estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 36 h hasta peso constante donde se volvió a pesar para conocer el peso anhidro.

$$CH\% = \frac{Ph - Po}{Po} * 100$$

Donde:

CH% = contenido de humedad en %

Ph = Peso húmedo en gramos

Po = Peso anhidro o seco en gramos

Como el contenido de humedad influye en la resistencia a la extracción de tornillo, la determinación de la humedad de cada probeta fue necesaria para corregir los valores obtenidos de la resistencia y ajustarlo a valores corregidos de humedad al 12% según la ecuación propuesta (ABNT, 1997):

$$r_{12} = r_{u\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$$

donde:

r12 = Resistencia al 12% de contenido de humedad

rU% = Valor de la resistencia encontrado al contenido de humedad ensayado

U% = Humedad de la probeta al momento del ensayo

La prueba de la extracción del tornillo se realizó mediante la norma ASTM D-1761. Los tornillos fueron colocados en ángulo recto. Por cada cara axial se obtuvo un valor, mientras que por cada cara radial y tangencial se obtuvieron 2 valores donde los tornillos estaban colocados siempre a una distancia mayor de 50 mm entre ellos como puede verse en la figura 2. Por cada ensayo se registró la carga máxima de extracción. Los puntos donde se colocaron los tornillos eran de al menos 20 mm del borde y 38 mm del extremo para evitar rajadura en la madera.



Figura 2. Probeta en su plano radial con dos tornillos separados más de 50 mm entre ellos

Figure 2. Test specimen in its radial plane with two screws more than 50 mm apart

Los tornillos se retiraron a una velocidad uniforme de 2 mm/min por medio de un accesorio de la máquina universal con una capacidad máxima de 30 Tn y se registró la carga máxima en N (figura 3)



Figura 3. Probeta siendo ensayada en la máquina universal

Figure 3. Test specimen being tested on the universal machine

Los tornillos tenían 4 mm de espesor por 50 mm de largo, y eran colocados 32 mm de profundidad en la muestra con la ayuda de una perforadora.

Análisis estadístico

La resistencia a la extracción de tornillos se analizó para cada plano de corte; axial, tangencial y radial. Se hizo un análisis descriptivo a baja y alta densidad. Luego se evaluó el requisito de homocedasticidad en cada grupo para poder hacer un análisis de ANOVA.

El análisis estadístico se realizó en InfoStad.

Resultados y discusión

Los valores de densidad de maderas consideradas de baja densidad oscilaron entre 0,37 y 0,43 g cm⁻³ mientras que las consideradas de alta densidad lo hicieron en valores 0,51 a 0,60 g cm⁻³. El contenido de humedad en las maderas de baja densidad fue mayor que el de alta, en promedio el de baja fue 14,8 % y el de alta densidad 11,8 %. A cada uno de los resultados de la resistencia a la extracción de tornillo se corrigió por el contenido de humedad de esa probeta con la ecuación mencionada anteriormente para unificar los valores al 12% de contenido de humedad. Con estos valores se elaboró la tabla 1 que contiene una medida descriptiva de la resistencia a la extracción por plano y densidad.

En la tabla 1 se observa que en el plano tangencial tanto a baja como alta densidad la resistencia a la extracción de tornillo es mayor. En el plano tangencial a alta densidad se obtuvo un valor máximo de 4466 N.

Tabla 1. Medida descriptiva de la resistencia a la extracción de tornillo a alta y baja densidad en los planos axial, radial y tangencial

Table 1. Descriptive measurement of screw pull-out resistance at high and low density in the axial, radial and tangential planes

	Baja densidad			Alta densidad		
	Resistencia a la extracción (N) en los diferentes planos					
	Axial	Radial	Tangencial	Axial	Radial	Tangencial
Promedio	1427	1396	1993	1568	2355	2863
Mínimo	365	472	688	471	395	1811
Máximo	2131	2334	3096	4046	4594	4466
Desvió estándar	505	558	674	953	1164	763
Coeficiente variación	35	40	34	61	49	27

En la tabla 1. se observa que los coeficientes de variación son altos tanto a baja como alta densidad siendo mayor en los planos axiales y radiales

Esta variación tan alta en el plano axial y radial podría deberse a que el tornillo puede ser introducido en el leño tardío o temprano y entre ellos hay diferentes densidades y la resistencia queda en función de la densidad de ese leño y no de la propiedad promedio de la probeta (Jovanovski et al., 2005) como puede observarse en la figura 4.



Figura 4. Anillos de leño temprano y tardío. A la izquierda corte axial y la derecha corte radial

Figure 4. Rings of early and late wood. On the left upper part of the axial plane, on the right upper part radial plane

En cambio, al colocar el tornillo en el plano tangencial, este atraviesa los leños tardíos y tempranos varias veces como puede observarse en la figura 5 siendo más representativo la densidad general de la probeta.



Figura 5. Al atravesar el tornillo en el plano tangencial atraviesa los leños temprano y tardío

Figure 5. As the screw passes through the tangential plane it passes through the early and late logs

Antes del análisis de varianza, se realizó la prueba de Levene para determinar si las muestras cumplían con el criterio de homocedasticidad, requisito necesario para el análisis de varianza. Los p-valores para los planos axial, radial y tangencial fueron 0,005, 0,002 y 0,099 respectivamente. Puede verse que el p-valor del plano tangencial es mayor que el nivel de significancia de 0,05 lo que indica que la varianza de las muestras en el grupo de alta densidad es similar al de baja densidad y se cumple con el criterio de homocedasticidad necesario para aplicar la prueba de ANOVA. Este criterio no se cumple para el plano axial ni radial por lo que se aplicó una prueba de ANOVA solo al plano tangencial. El resultado del ANOVA en el plano tangencial arroja un p-valor = $6,9 \cdot 10^{-7}$ lo que indica claramente que hay una diferencia significativa al

nivel de confianza del 95% en la resistencia a la extracción del tornillo en el plano tangencial a baja y alta densidad, siendo un valor mucho más elevado a alta densidad donde este fue en promedio 2863 N mientras que el de baja densidad este fue en promedio 1993 N.

Hay mucha bibliografía que sugiere que la densidad es un factor determinante en la fuerza para la extracción de tornillo (Reinhard, 2019; Kiliç et al., 2006), y que las caras en las que se colocan los tornillos arrojan valores diferentes. Aytekin (2008) trabajo con maderas de *Quercus robur* L., *Pinus pinea* L., *Pinus nigra* Arnold con densidades de 0,696 g cm⁻³, 0,534 g cm⁻³, 0,496 g cm⁻³ y obtuvo valores de resistencia a la extracción de 650 N, 582N y 518 N respectivamente indicando que la densidad tiene una relación positiva con la resistencia a la extracción de tornillo.

Conclusión

La resistencia promedio a la extracción de tornillos fue mayor en la madera de *Pinus taeda* de alta densidad comparada con la de baja densidad. En los planos axial y radial, la variabilidad en los valores impidió realizar un análisis de varianza. Sin embargo, en el plano tangencial, las muestras mostraron variaciones similares, permitiendo un ANOVA que reveló una resistencia significativamente mayor en la madera de alta densidad.

Estos resultados proporcionan información valiosa para la industria de la construcción en madera. La conclusión de que la madera de alta densidad ofrece una mayor resistencia a la extracción de tornillos en el plano tangencial es crucial para diseñadores y constructores. Este conocimiento puede influir en la selección de materiales y en el diseño de uniones en estructuras de madera, mejorando así la seguridad y la durabilidad de las edificaciones. Además, los datos obtenidos pueden ayudar a formular recomendaciones específicas para la construcción de edificios más altos y robustos con madera, optimizando el uso de este material en combinación con otros, como el concreto.

Referencias bibliográficas

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). (1997) NBR 7190: *Projetos de estruturas de madeira*.
- Arriaga, F., González, G., Álvarez, R., & Cabo, J. L. (2011). *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera*. Maderia Construcción.
- ASTM (2000) D1761-88. Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood

- Aytekin, A. (2008). Determination of screw and nail withdrawal resistance of some important wood species. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(4), 626-637.
- Brandner, R. (2019). Properties of axially loaded self-tapping screws with focus on application in hardwood. *Wood Material Science & Engineering*, 14(5), 254–268. <https://doi.org/10.1080/17480272.2019.1635204>
- Feirer, J. L. (1972). *Advanced wood work and furniture making* (4th ed.).
- Hänsel, A., Sandak, J., Sandak, A., Mai, J., & Niemz, P. (2022). Selected previous findings on the factors influencing the gluing quality of solid wood products in timber construction and possible developments: A review. *Wood Material Science & Engineering*, 17(3), 230-241. <https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1925963>
- IRAM N° 9532. Maderas. Método de determinación de la humedad.
- Jovanovski, A., Davelly, M., & Mohr-Bell, D. (2005). Densidad básica de la madera de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la Patagonia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 14(2), 153-160.
- Kiliç, M., Burdurlu, E., & Usta, İ. (2006). Comparative analysis of the nail and screw withdrawal resistances of fir (*Abies Mill.*), cherry (*Prunus Avium L.*), walnut (*Juglans Regia L.*) and oak (*Quercus L.*) wood. *Düzce University Faculty of Forestry Journal of Forestry*, 2(2), 61-75.
- NBCC, N. (2005). *National building code of Canada*. National Research Council of Canada (NRCC).
- Ottenhaus, L. M., Jockwer, R., van Drimmelen, D., & Crews, K. (2021). Designing timber connections for ductility – A review and discussion. *Construction and Building Materials*, 304.
- Pan, Y., Tannert, T., Kaushik, K., Xiong, K., & Ventura, C. (2021). Seismic performance of a proposed wood-concrete hybrid system for high-rise buildings. *Engineering Structures*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112194>