

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN MADERA DE PINO PARANÁ (ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA) DETERMINATION OF THE CRUSHING RESISTANCE IN PARANÁ PINE WOOD

Sabrina Grillo (1); Ayelén Grillo (2); Nicolás Gatica (3); Aylén Wyschckony (4); Camila Franco (5)

- (1) Estudiante Ing. Civil, Grupo GIDEC, UTN FRVT, sabrina.eshter.grillo@gmail.com;
- (2) Estudiante Ing. Civil, Grupo GIDEC, UTN FRVT, ayelengrillo01@gmail.com;
- (3) Estudiante Ing. Civil, UTN FRVT, nicogatica95@gmail.com;
- (4) Estudiante Ing. Civil, Grupo GIDEC, UTN FRVT, aylenwyschckony99@gmail.com;
- (5) Estudiante Ing. Civil, Grupo GIDEC, UTN FRVT, camifrancco2@gmail.com;

Resumen

Considerando que en Argentina existen pocas especies de madera caracterizadas para uso estructural, es importante verificar los valores establecidos en los suplementos del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601) para aquellas de uso corriente. En este trabajo se determina la resistencia al aplastamiento en madera de Pino Paraná procedente de bosques implantados de la provincia de Misiones. Para ello, se ensayaron 131 probetas de 24 mm de espesor con perno rígido de 10 mm de diámetro, adecuadas a los lineamientos de la Norma UNE-EN 383:2007, de las cuales 62 fueron ensayadas con la carga aplicada en dirección paralela a la fibra y 69 en dirección perpendicular. Los valores de resistencia al aplastamiento obtenidos fueron de 34,43 N/mm² para la dirección paralela y de 23,36 N/mm² para la perpendicular. Estos valores resultan ser menores respecto de los indicados en la tabla S.4.1.1-1 del Suplemento 4 del CIRSOC 601.

Palabras-clave

Resistencia al aplastamiento, uniones, pino Paraná, fijación tipo clavija, estructura de madera.

Abstract

Considering that in Argentina there are a few species of wood characterized for structural use, it is important to verify the values established in The Regulation CIRSOC 601, for those of common use. In this work, the resistance to crushing of Paraná Pine wood from implanted forests in the province of Misiones is determined. For this purpose, 131 specimens of 24 mm thickness were tested with a rigid bolt of 10 mm diameter, in accordance with UNE-EN 383:2007, of which 62 were tested with the load applied parallel to the fiber and 69 in perpendicular direction. The values of characteristic embedment strength percentile 5%, obtained were 34,43 N/mm² for the parallel direction and 23,36 N/mm² for the perpendicular direction.

These values are significantly lower than those indicated in Table S.4.1.1-1 of Supplement 4 of CIRSOC 601.

Keywords

Embedding strength, unions, Araucaria angustifolia, dowel type fasteners, structures timber

1. INTRODUCCIÓN.

La investigación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera es un requisito indispensable para su utilización en estructuras. La Norma UNE-EN 383:2007 especifica los métodos de ensayos que permiten determinar la resistencia al aplastamiento de los elementos de fijación tipo clavija. Por otro lado, en el Suplemento 4 del CIRSOC 601 (2016) se presentan los valores de diseño de referencia para uniones mecánicas, tomando como datos de partida el valor característico de la resistencia al aplastamiento de la madera y el valor característico de la tensión de fluencia en flexión de la clavija. La *Tabla S.4.1.1-1* establece la resistencia al aplastamiento en función de la gravedad anhidra de la madera y del diámetro de la clavija, con valores extraídos de las normas *NDS 2005* (National Design Specifications for Wood Construction).

Existen varios trabajos de investigación dedicados a calcular, de manera experimental, la resistencia al aplastamiento para maderas provenientes de especies de rápido crecimiento cultivadas en bosques implantados de Argentina, entre ellas podemos nombrar: *Araucaria Angustifolia* proveniente de Misiones (Guillaumet et al., 2010); *Pinus Elliottii* Var. *Elliottii* x *Pinus Caribaea* Var. *Hondurensis*, proveniente de Misiones (Manavella et al., 2012); y *Populus Deltoides Australiano* 129/60, proveniente del Delta del Río Paraná (Manavella et al., 2014); en los últimos dos trabajos mencionados, se comparan los valores de resistencia obtenidos, con los determinados en las NDS y en el CIRSOC 601 respectivamente.

Se puede observar que los valores determinados experimentalmente son sensiblemente menores a los proporcionados por el Reglamento CIRSOC 601 (2016); razón por la que deberían ser utilizados con cierta precaución, teniendo en cuenta las posibles variaciones de acuerdo a la especie utilizada. De igual manera, resulta importante destacar la correlación existente entre resistencia al aplastamiento y densidad de la madera. Varios autores concluyeron que, a mayor densidad del material, mayor resistencia. Sawata K. et al (2002), en su trabajo sobre *Picea jezoensis* y *Abies sachalinensis*, analiza dicha relación para ensayos realizados bajo norma UNE-EN 383.

2. METODOLOGÍA.

2.1. Material de ensayo, confección y preparación de probetas.

Los ensayos se realizaron siguiendo los lineamientos indicados en la Norma Europea UNE-EN 383:2007. El material de ensayo fue elaborado a partir de tablas de madera aserrada de *Araucaria Angustifolia* procedentes de bosques implantados de la provincia de Misiones, seleccionadas aleatoriamente de un lote de 100 tablas con dimensiones: 1" x 4" x 2,5m de largo; éstas fueron acondicionadas y cepilladas en ambas caras logrando un espesor de 24 mm. Se separaron las piezas libres de defecto y con ellas se confeccionaron 62 probetas con dimensiones 24x60x140mm para ensayar en dirección paralela a las fibras, y 69 probetas con dimensiones 24x400x100 mm para ensayar en dirección perpendicular. El material de ensayo se almacenó en condiciones controladas de humedad relativa (65±5) % y temperatura (20±2) °C hasta el momento del ensayo.

El elemento de fijación utilizado consiste en un perno rígido de acero trefilado con diámetro de 10mm. La Norma establece que el valor del espesor de la pieza debe estar entre 1,5 d y 4 d, valor que se cumple ya que la relación de esbeltez establecida entre el largo del perno y su diámetro, tiene un valor aproximado de 2,4. La colocación del elemento de fijación se realiza en un orificio pretaladrado con una holgura de 0,25 mm. Las perforaciones se ejecutan en una agujereadora de banco para garantizar la perpendicularidad entre el eje del elemento de fijación y la cara de apoyo de la probeta.

En la *Figura 1* se visualizan las dimensiones de las probetas utilizadas, a la izquierda vemos las correspondientes para el ensayo en dirección paralelo a las fibras, y a la derecha para la dirección perpendicular.

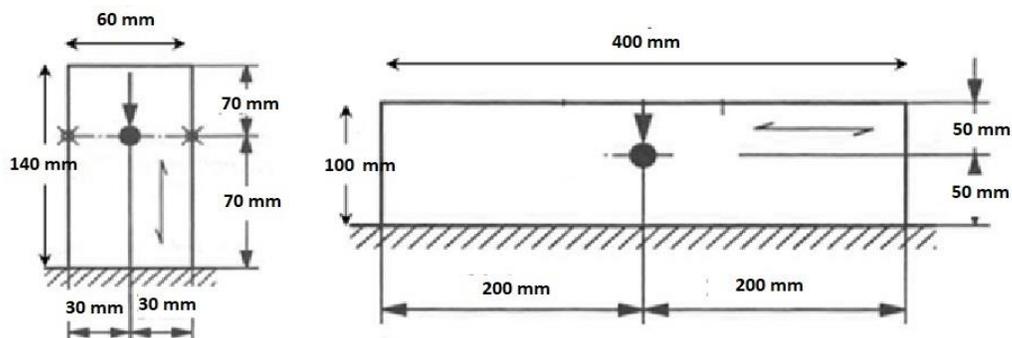


Figura 1: Dimensiones de las probetas para perno de 10 mm.

2.2. Equipos y dispositivos utilizados

La aplicación de la carga se realiza con un cilíndrico hidráulico instalado en un banco de ensayo accionado con una central hidráulica que posee válvula reguladora de caudal permitiendo variar a voluntad la velocidad de aplicación de la carga. Para la medición de las cargas se utiliza una celda conectada a un transductor de registración continua de lectura. Además, para garantizar la perpendicularidad de la aplicación de la carga, se colocó una rótula entre la máquina y el dispositivo de ensayo. Las deformaciones fueron medidas mediante dos relojes comparadores digitales marca Mitutoyo de rango 0-12,7mm y lectura de 0,01 mm, dispuestos en forma simétrica.

La *Figura 2* muestra la disposición de las probetas listas para ensayar (izquierda: ensayo paralelo a las fibras – derecha: ensayo perpendicular a las fibras).



Figura 2: Dispositivos de ensayo y probetas.

2.3. Procedimiento de aplicación de la fuerza.

Previo a la realización de los ensayos, se ejecuta la calibración del equipo de acuerdo a las prescripciones de la Norma, y se realizan ensayos preliminares a los efectos de estimar la carga de rotura o fuerza máxima, estableciendo así, los intervalos de carga a utilizar. La aplicación de la carga debe realizarse respetando el procedimiento de carga dado por la Norma UNE-EN 383:2007.

El procedimiento de ensayo aplicado a cada probeta es el siguiente: en un tiempo de 120'' se incrementa la fuerza hasta alcanzar el 40% de la carga máxima estimada, se mantiene la misma por 30'', y en un tiempo de 90'' se reduce la fuerza hasta el 10 % de la carga de rotura estimada, manteniéndola nuevamente durante 30''. A partir de allí, la aplicación de la carga es progresiva hasta la finalización del ensayo, lo que ocurre cuando se produce la rotura física de la probeta o cuando el desplazamiento alcanza los 5 mm.

En la *Figura 3* se muestra el procedimiento de carga, mientras que en la *Figura 4* se puede ver el diagrama ideal de fuerza/desplazamiento junto con los puntos de medición.

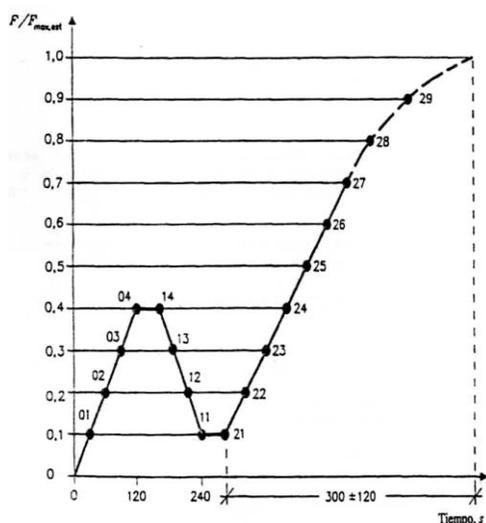


Figura 3: Procedimiento de carga.

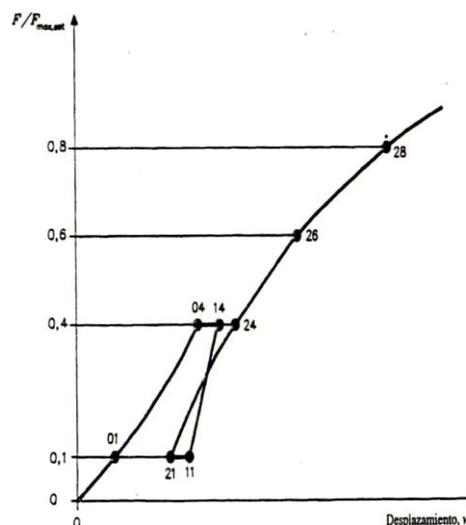


Figura 4: Diagrama ideal de Fuerza/Desplazamiento y puntos de medición

De acuerdo a lo establecido en el procedimiento de carga, luego de realizado el primer período, la velocidad de aplicación de la fuerza es constante y se regula de manera que la fuerza máxima se alcance en un tiempo de 300 ± 120 segundos. Para cada uno de los puntos indicados en la Figura 3 se registraron los valores de carga, los valores de desplazamiento de ambos comparadores y el tiempo medido desde el inicio del ensayo.

Una vez finalizado el ensayo, se determina para cada probeta la humedad, de acuerdo a la norma ISO 3130/1975, y la densidad, según norma ISO 3131/1975 ajustándose los valores de densidad a la humedad de referencia del 12% de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 384:2016.

2.4. Cálculos.

Se utilizaron las siguientes fórmulas dadas por la Norma UNE-EN 383:2007, apartado 6.6.1.

a) Determinación de la resistencia al aplastamiento

$$f_h = \frac{F_{m\acute{a}x}}{d \times t} \quad (1)$$

Donde:

f_h : Resistencia al aplastamiento, en N/mm^2 .

$F_{m\acute{a}x}$: Fuerza máxima correspondiente a la rotura o a 5 mm de deformación, en N.

d : Diámetro del perno, en milímetros.

t : Espesor de la probeta, en milímetros.

b) Determinación de la resistencia estimada al aplastamiento.

$$f_{h,est} = \frac{F_{m\acute{a}x,est}}{d \times t} \quad (2)$$

Donde:

$f_{h,est}$: Resistencia estimada al aplastamiento, en N/mm².

$F_{m\acute{a}x}$: Carga máxima estimada, en N.

d : Diámetro del perno, en milímetros.

t : Espesor de la probeta, en milímetros.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Determinación de la resistencia al aplastamiento.

En la *Tabla 1* se muestran los valores de resistencia al aplastamiento paralela y perpendicular a las fibras junto con la densidad al 12% de la madera.

PARÁMETROS	$f_h //$ [N/mm ²]	$f_h _ _$ [N/mm ²]	γ [kg/m ³]
Percentil 5%	34,43	23,36	435,25
Promedio	43,70	32,81	501,25
Desvío STD.	5,68	8,25	45,25
Mínimo	31,62	15,20	391,69
Máximo	55,96	59,72	663,41
COV %	13,00	25,16	9,03
Nro Probetas	62	69	131

$f_h //$: Resistencia al Aplastamiento paralela a la fibra.

$f_h _ | _$: Resistencia al Aplastamiento perpendicular a la fibra.

γ : Densidad al 12 %

Tabla 1: Valores de resistencia al aplastamiento paralela y perpendicular a la fibra y densidad.

Para establecer la correlación existente entre la resistencia al aplastamiento en cada una de las direcciones de ensayo y la densidad al 12 %, se realizó un análisis de regresión lineal. Existe una alta correlación entre ambas propiedades, siendo mayor en el caso de la tensión perpendicular a la fibra. En la *Tabla 2* se muestran los valores y la ecuación de la regresión lineal.

PARÁMETROS	Coefficiente de correlación	Ecuación de la regresión lineal
Correlación Tensión Paralela Densidad 12 %	0,875	$y = 0,1148x - 13,245$
Correlación Tensión Perpendicular Densidad 12 %	0,943	$y = 0,1665x - 51,437$

Tabla 2: Coeficientes de Correlación Resistencia-Densidad 12 %

En la *Figura 5* se muestra la relación entre los valores de densidad y resistencia al aplastamiento, junto con la recta de regresión lineal, para la dirección paralela a la fibra. En la *Figura 6* se muestran los mismos elementos para la dirección perpendicular.

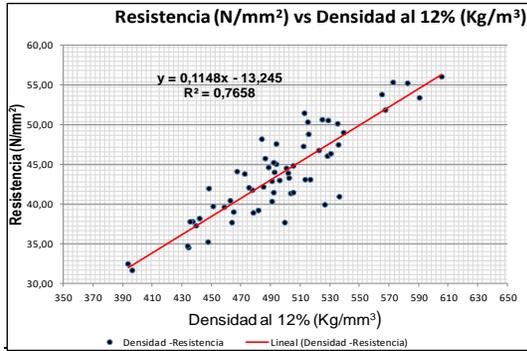


Figura 5. Correlación Densidad-Resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra.

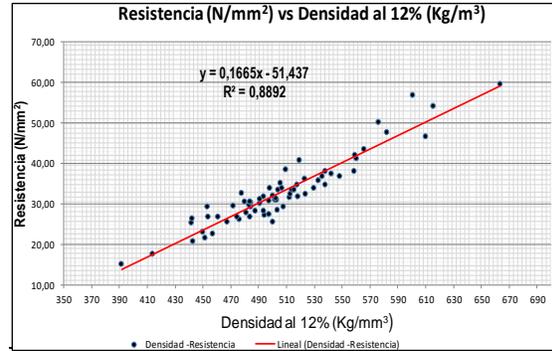


Figura 6. Correlación Densidad-Resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra.

4. COMPARACIÓN CON EL CIRSOC 601 (2016)

Para el cálculo de la resistencia al aplastamiento, tanto paralela como perpendicular a las fibras, las *NDS 2005* establecen valores en función de la gravedad anhidra de la madera utilizada en la unión y del diámetro del elemento de fijación, que son tomados como valores de referencia por el Suplemento 4 del CIRSOC 601 (2016).

La gravedad anhidra del percentil 5% de las probetas ensayadas se determinó de acuerdo a lo expresado en el Reglamento Argentino, partiendo de la gravedad específica a un determinado contenido de humedad (G_{mc}).

$$G = \frac{G_{mc}}{(1+mc) - 0,84 \cdot mc \cdot G_{mc}} \quad (3)$$

Donde:

G : Gravedad anhidra

G_{mc} : Gravedad específica a un determinado contenido de humedad

mc : Cont. de humedad expresado como cociente entre el peso del agua contenida y el peso anhidro

El valor de la gravedad anhidra percentil 5% para el Pino Paraná resultó ser de 404 Kg/m^3 , calculado sobre el total de las probetas ensayadas.

De acuerdo a la *Tabla S.4.1.1-1* del Suplemento 4, para el cálculo de la resistencia al aplastamiento paralelo a las fibras, se tomó la columna correspondiente a $D \geq 6,35 \text{ mm}$ y se interpoló entre los valores de densidad $0,40 \text{ g/cm}^3$ y $0,41 \text{ g/cm}^3$, obteniendo un resultado de $31,25 \text{ N/mm}^2$.

Para los valores de resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras se realizó una primera interpolación entre los diámetros $D = 9,53 \text{ mm}$ y $D = 11,11 \text{ mm}$ para obtener los valores correspondientes a un perno de diámetro 10 mm y luego se efectuó una nueva interpolación entre las densidades $0,40$ y $0,41 \text{ g/cm}^3$ para obtener los valores definitivos, obteniendo como resultado, un valor de resistencia al aplastamiento de $17,79 \text{ N/mm}^2$.

El CIRSOC 601 (2016) presenta coeficientes de ajuste por duración de la carga, indicados en la *Tabla 4.3-2.* del Capítulo 4 (considerando como carga normal la correspondiente a 10 años). Entonces, para cargas de distinta duración acumulada se deben afectar las tensiones de diseño de referencia con valores de C_D (y así considerar el cambio en la resistencia del material en función del tiempo de actuación de la carga). Como los ensayos de resistencia al aplastamiento tienen una duración aproximada de $10'$, se afectaron con un factor de corrección $C_D = 1,6$.

En la *Tabla 3* se indican los valores comparativos.

PARÁMETROS	fh // N/mm ²	fh _ _ N/mm ²
Resistencia experimental - percentil 5%	34,43	23,36
Resistencia determinada con CIRSOC 601	31,25	17,79
Resistencia experimental corregida con factor Cd=1,6	21,52	14,60
Relación entre el valor experimental corregido y valor CIRSOC 601 [%]	69 %	82 %

Tabla 3: comparación de valores de resistencia al aplastamiento

Si se comparan los valores dados por el CIRSOC 601 (2016) con los valores experimentales corregidos por el factor de duración de la carga C_d , se aprecia que nuestros resultados son menores a los valores dados por el Reglamento Argentino.

5. CONCLUSIONES

La resistencia característica al aplastamiento percentil 5% para el Pino Paraná y perno rígido de diámetro 10 mm, es de:

34,43 N/mm² en la dirección paralela a las fibras.

23,36 N/mm² en la dirección perpendicular.

Los resultados experimentales de las resistencias al aplastamiento corregidos por el factor de duración de la carga en la dirección paralela a las fibras son del orden del 69%, y del 82% para la dirección perpendicular, ambas respecto de los valores determinados a partir del CIRSOC 601 (2016).

6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIRSOC 601 (2016). Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Buenos Aires.

Guillaumet A.A., Manavella R.D., Filippetti M.C., Diab J., Armas A. (2010). Tensiones de aplastamiento en uniones tipo clavija en madera de araucaria angustifolia. XXXIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. San Juan. Argentina.

Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti M.C., Tortoriello M., Alí Mossre (2016). Resistencia al aplastamiento en madera de álamo, influencia del diámetro de perno y la densidad. XXXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Asunción. Paraguay.

Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti M.C., Tortoriello M. (2014). Determinación de la resistencia al aplastamiento en madera de álamo para uniones tipo clavija. XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo. Uruguay.

Sawata, K. & Yasumura M. (2002). "Determination of embedding strength of wood for dowel-type fasteners", Journal of Wood and Sciences, Vol 48, Issue 2, pág. 138-146. ISSN: 1435-0211.

UNE-EN 383:2007 (2007). Agencia Esp. de Norm. y Certificación. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija.

7. AGRADECIMIENTOS

A los docentes, alumnos, becarios y graduados de Ingeniería Civil de la UTN-FRVT que participan activamente del grupo GIDEC.