

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN MADERA DE PINO ELLIOTTI

DETERMINATION OF THE CRUSHING STRENGTH IN PINUS ELLIOTTII WOOD

Bianchi Silvina, Estudiante Ing. Civil, Grupo GIDEC, UTN FRVT
Martínez Merlo Hugo, Estudiante Ing. Civil, Grupo GIDEC, UTN FRVT
silvinabian@gmail.com; h-e-martinez@hotmail.com

Resumen

El comportamiento estructural de maderas provenientes de especies cultivadas en bosques implantados en Argentina se rige según nuestro Reglamento CIRSOC 601. En el suplemento 4, destinado a uniones, contiene una tabla de valores de resistencia al aplastamiento basada en la existente de las NDS 2005 (National Design Specifications for Wood Construction), pero para verificar su aplicabilidad es necesario determinar este parámetro en maderas de uso corriente de nuestro país. El presente trabajo tiene como objetivo calcular la resistencia al aplastamiento y las deformaciones sobre los elementos de fijación tipo clavija realizadas con pernos rígidos, y luego comparar los resultados obtenidos con los valores dados por el CIRSOC 601. Para ello se realizaron los ensayos en dirección paralela a la fibra con un perno rígido de 7 mm de diámetro, de acuerdo a las prescripciones de la Norma UNE-EN 383:2007. Los valores de resistencia característica al aplastamiento obtenidos resultaron sensiblemente inferiores respecto a los propuestos en la tabla S.4.1.1-1 del suplemento 4 del Reglamento CIRSOC 601. Publicaciones anteriores, para otras especies cultivadas en la Argentina, presentan comportamientos similares, por lo que los valores con origen en las NDS 2005 deben ser utilizados con precaución.

Palabras-clave

Resistencia al aplastamiento, uniones, pinus elliottii, pino elliotti, fijación tipo clavija, Estructura de madera.

Abstract

The structural behavior of wood from species grown in forests planted in Argentina is governed by our CIRSOC 601 Regulation. In supplement 4, destined to unions, a table of embedding strength values which depends on anhydrous specific gravity and pin diameter was incorporated, based on the existing NDS 2005 (National Design Specifications for Wood Construction), but to verify its applicability, it is necessary to determine this parameter for wood commonly used in our country. The objective of this work is to calculate the resistance to crushing and deformations on the dowel-type fixing elements, made with rigid bolts, and then comparing the results obtained with the values given by CIRSOC 601. The tests were performed in a parallel direction to the fibers, with a rigid bolt of 7 mm of diameter, according to the requirements of the UNE-EN 383:2007. Characteristic values for embedding strength obtained were significantly lower compared with those given in Table S.4.1.1-1 Supplement 4 of CIRSOC 601. Previous publications for other cultivated species in Argentina show similar behavior, so that the values given by the NDS 2005 should be used with caution.

Keywords

Embedding strength, unions, pinus elliottii, pino elliotti, dowel type fasteners, structures timber.

1. INTRODUCCIÓN.

Para determinar la capacidad portante de una unión, independientemente del método de cálculo utilizado, resulta de particular importancia conocer, además de ciertas características geométricas, los valores de la resistencia al aplastamiento de la especie y las propiedades mecánicas del elemento metálico utilizado.

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, CIRSOC 601, presenta suplementos con valores de diseño en donde deben conocerse 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. En particular, en el Suplemento Nro. 4, dispone valores de diseño de referencia para uniones mecánicas. La tabla incluida en dicho Suplemento toma como base la existente en las NDS 2005 y establece la resistencia al aplastamiento en función de la gravedad anhidra de la madera y del diámetro de la clavija. Ya se han realizado trabajos de investigación comparando los valores de resistencia al aplastamiento obtenidos experimentalmente con los valores determinados aplicando la tabla del Suplemento 4 del CIRSOC 601, en los que se observa que los valores determinados experimentalmente son sensiblemente menores a los dados por el CIRSOC 601. Varios autores han estudiado la correlación existente entre la densidad y la resistencia al aplastamiento de la madera, dando como resultado que a mayor densidad del material mayor resistencia. También se han realizado investigaciones sobre la relación entre la resistencia al aplastamiento paralela y perpendicular a la fibra con el diámetro del elemento de fijación, verificando que para la dirección paralela a la fibra no hay variación significativa, en tanto que para la dirección perpendicular la resistencia disminuye a medida que aumenta el diámetro (Manavella R.D., 2016). Sawata K. et al (2002), en su trabajo sobre *Picea jezoensis* y *Abies sachalinensis* establece en una de sus conclusiones que existe una correlación significativa entre la resistencia al aplastamiento y la densidad, señalando también que para ensayos realizados bajo norma EN 383 el valor de la resistencia paralela a la fibra es poco influenciado por el diámetro de la clavija, en tanto que para la dirección perpendicular se observa una disminución de la resistencia a medida que aumenta el diámetro.

2. METODOLOGÍA.

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

La metodología empleada para los ensayos es la exigida en la Norma Europea EN 383.

Las probetas utilizadas fueron confeccionadas a partir de tablas de madera aserrada de Pino Elliottii que fueron seleccionadas aleatoriamente para confeccionar las 52 probetas ensayadas. Las mismas se almacenaron 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 diámetro 7 mm de acero trefilado. 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 3,28. La colocación del elemento de fijación se realiza en un orificio de 7,25 mm.

En la figura 1 se visualizan las dimensiones de las probetas utilizadas.

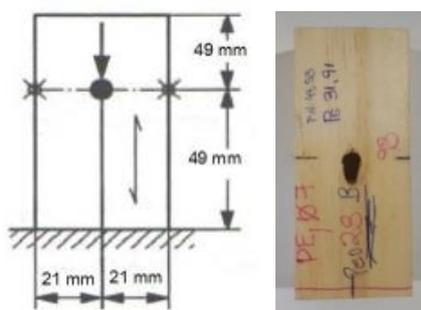


Figura 1. Probetas

2.2. Equipos y dispositivos utilizados

La aplicación de la carga se realiza con una máquina Universal de ensayos con capacidad máxima de 300 KN y accionamiento hidráulico, posee una válvula reguladora de caudal que permite variar a voluntad la velocidad. Para la medición de las cargas se utiliza una celda conectada a un transductor de registración continua de lectura. Una rótula ubicada entre la máquina y el dispositivo de ensayo garantiza la perpendicularidad de la aplicación de la carga. La medición de las deformaciones se realiza mediante balancines y dos relojes comparadores digitales, dispuestos en forma simétrica.

La figura 2 muestra aspectos de los elementos de ensayo.



Figura 2. Dispositivos de ensayo

2.3. Procedimiento de aplicación de la fuerza.

Previo a los ensayos se estimó la carga de rotura o fuerza máxima para establecer el valor de 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. En cada ensayo se incrementó la fuerza hasta alcanzar el 40% de la carga estimada, se mantuvo la misma por 30'', a continuación, se la redujo hasta el 10 %, manteniéndola nuevamente durante 30'' y a continuación se la aumentó hasta que se produjo la rotura de la probeta o se alcanzó un desplazamiento de 5 mm. En la figura 3 se muestra el procedimiento de carga.

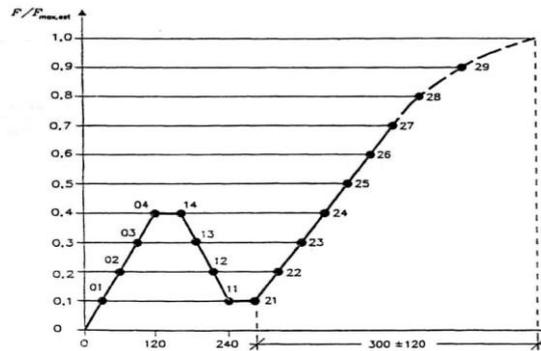


Figura 3. Procedimiento de carga

2.4. Cálculos.

Se utilizaron las siguientes fórmulas dadas por la Norma EN 383, apartado 6.6.1.

a) Determinación de la resistencia al aplastamiento

$$f_h = \frac{f_{máx}}{d \times t}$$

Donde:

- f_h = Resistencia al aplastamiento, en N/mm^2 .
- $f_{máx}$ = Fuerza máxima correspondiente a la rotura o a 5 mm de deformación, en N .
- d = Diámetro del perno, en mm .
- t = Espesor de la probeta, en mm .

b) Determinación de la resistencia estimada de aplastamiento

$$f_{h,est} = \frac{f_{máx,est}}{d \times t}$$

Donde:

- $f_{h,est}$ = Resistencia estimada al aplastamiento, en N/mm^2 .
 $f_{máx,est}$ = Carga máxima estimada, en N .
 d = Diámetro del perno, en mm .
 t = Espesor de la probeta, en mm .

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Determinación de la resistencia al aplastamiento.

En la tabla 1 se muestran los valores de resistencia al aplastamiento y la densidad de la madera calculada según la norma EN 384.

Parámetros	f_h [N/mm^2]	γ [Kg/m^3]
Promedio	36,26	458,21
Desvío STD	6,57	58,79
COV	18,11%	12,83%
Máximo	51,13	619,06
Mínimo	24,39	346,76
Percentil 5%	25,63	370,26

TABLA 1: Resistencia al aplastamiento y densidad

Se realizó un análisis de regresión para establecer la correlación existente, se puede observar una alta correlación entre ambas propiedades. En la tabla 2 se presentan los valores y la ecuación de la regresión lineal.

Parámetros	Coef. de Correlación	Ecuación de regresión lineal
Correlación Tensión Paralela-Densidad	0.875	$y = 0.0973x - 8,3099$

TABLA 2: Coeficiente de correlación

En la figura 4 se muestra gráficamente la relación entre los valores de densidad y resistencia al aplastamiento, y la recta de regresión lineal.

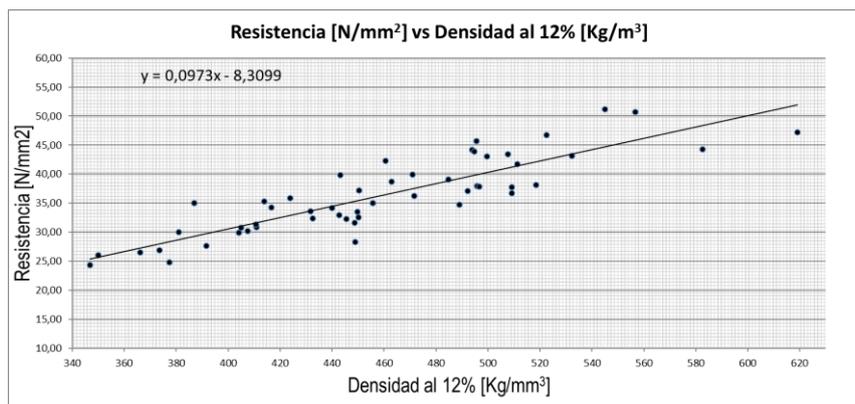


Figura 4. Correlación Densidad-Resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra.

4. COMPARACIÓN CON EL CIRSOC 601

Las NDS 2005 proponen una tabla para los valores de resistencia al aplastamiento en función del diámetro del perno y de la gravedad anhidra. La comparación con los valores de esta tabla tiene suma importancia porque la misma se propone como valor de diseño de referencia para la resistencia al aplastamiento en el suplemento 4 del CIRSOC 601 "Reglamento Argentino de Estructuras de Madera".

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

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

Donde:

- G = Densidad anhidra
 G_{mc} = Gravedad específica a un determinado contenido de humedad
 mc = Contenido de humedad como cociente entre el peso del agua contenida y el peso anhidro

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 $D \geq 6,35$ mm y los valores de densidad anhidra característica resultaron de $0,33$ g/cm³.

El CIRSOC 601 presenta coeficientes de ajuste por duración de la carga, considerando como carga normal la correspondiente a 10 años. Entonces, para cargas de distinta duración acumulada se deben multiplicar las tensiones de diseño de referencia con valores de CD, con el fin de tener en cuenta 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 $CD = 1,6$.

En la siguiente tabla se indican los valores comparativos.

Parámetros	Unidades	fh //
Resist. Experimental Percentil 5%	N/mm ²	25,63
Resist. determinada con CIRSOC 601	N/mm ²	25,50
Resist. Experimental corregida con Factor $C_D=1,6$	N/mm ²	16,02
Relación entre valor experimental corregido y valor CIRSOC 601	%	62,8 %

TABLA 3: Comparación con valores del CIRSOC 601

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

5. CONCLUSIONES

Para el Pinus Elliottii, se obtuvo lo siguiente:

- Una resistencia característica al aplastamiento paralelo a las fibras percentil 5% de 25,63 N/mm², para desplazamientos del orden de 1mm.
- Los resultados experimentales de las resistencias al aplastamiento, corregidos por el factor de duración de la carga son del orden del 62,8 % de los valores determinados a partir del CIRSOC 601.

6. AGRADECIMIENTOS

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

7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

Sosa Zitto María Alexandra (2015). Comportamiento resistente y elástico de uniones construidas con elementos de fijación de acero tipo clavija en piezas aserradas de Eucalyptus grandis cultivado en Argentina. UTN Concepción del Uruguay.

Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti M.C., Tortoriello M., Alf 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.

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.