



La Ingeniería Estructural, motor del desarrollo en América, en un marco de Integración y Sustentabilidad

RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN MADERA DE ÁLAMO, INFLUENCIA DEL DIÁMETRO DE PERNO Y LA DENSIDAD

EMBEDDING STRENGTH IN POPLAR WOOD, INFLUENCE OF THE BOLT DIAMETER AND THE DENSITY

Roberto D. Manavella (P) (1); Alfredo A. Guillaumet (2); María C. Filippetti (3); Miguel Tortoriello (4); Cesar Alí Mossre (5)

- (1) Ing. Civil, Profesor Titular, Investigador, Universidad Tecnológica Nacional FRVT. Argentina
(2) Ing. en Construcciones, Profesor Titular, Investigador, Univ. Tec. Nacional FRVT y UNNOBA. Argentina
(3) Ing. en Construcciones, Profesor Adjunto, Universidad Tecnológica Nacional FRVT. Argentina.
(4) Ing. Mecánico, Profesor Adjunto, Univ. Nac. del Noroeste de la Prov. de BsAs. Argentina.
(5) Ing. Mecánico, Profesor Adjunto, Univ. Nac. del Noroeste de la Prov. de Bs As. Argentina.
Laprida 651, Venado Tuerto, aaguillaumet@rec.utn.edu.ar

Resumen

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 presenta valores de resistencia al aplastamiento en función de la gravedad anhidra y el diámetro del perno. Estos valores tienen su origen en la norma americana NDS 2005. El Suplemento 4 del citado reglamento considera que la resistencia al aplastamiento para diámetros menores a 6,35 mm es independiente de la dirección de las fibras y del diámetro del perno. Para diámetros mayores a 6,35 mm, relaciona la resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra con el diámetro de la clavija y considera que la resistencia al aplastamiento en la dirección paralela a la fibra es independiente de dicho parámetro. Resulta necesario verificar estos valores para maderas argentinas, en particular para las provenientes de bosques implantados. En este trabajo se determinaron los valores de resistencia al aplastamiento para madera de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' procedente del delta del río Paraná, Argentina y se analizó la influencia que sobre dicha resistencia tienen la densidad anhidra y el diámetro del perno. Se efectuaron 337 ensayos de acuerdo a las prescripciones de la Norma UNE-EN 383:2007, 182 probetas en dirección paralela a la fibra y 155 en dirección perpendicular, utilizando pernos rígidos de 6,7 y 8 mm. Al comparar los resultados experimentales con los propuestos en el Reglamento se observan singulares diferencias, situación que exige ampliar los ensayos a más diámetros de perno y a nuevas especies de distinta densidad para establecer valores que se ajusten a las especies que se comercializan en Argentina.

Palabras-clave: resistencia al aplastamiento, álamo, fijación tipo clavija, uniones, estructura de madera.

Abstract

The Argentine Regulation for Wooden Structures (CIRSOC 601), establishes embedding strength values as a function of the specific gravity and the bolt diameter. These values are based on the ones given by NDS 2005. The supplement 4 of that regulation considers that the embedding strength for diameters less than 6.35 mm is independent of the direction of the fibers and of the bolt diameter. For diameters greater than 6.35 mm perpendicular embedding strength is directly related to the bolt diameter, whereas the embedding strength in parallel direction is independent of that parameter. It is necessary to verify these values for Argentine wood, particularly for those from implanted forests. In this paper the embedding strength for wood of *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' from the delta of the Parana River, Argentina and the influence that the specific gravity and the bolt diameter has on them are determined.

337 specimens have been tested according with the requirements of the UNE-EN 383: 2007, 182 specimens were tested in a direction parallel to the fiber and 155 in perpendicular direction, using rigid bolt of 6,7 and 8 mm of diameter. The comparison of the experimental results with those given by CIRSOC 601, reaches different values, situation that requires extend tests to more bolt diameters and new species of different density, to establish values that conform to the species that are marketed in Argentina.

Keywords: embedding strength, poplar, dowel type fasteners, fastenings, timber structures.



La Ingeniería Estructural, motor del desarrollo en América, en un marco de Integración y Sustentabilidad

1. INTRODUCCIÓN.

Aunque en la Argentina, los estudios sobre caracterización de la madera para uso estructural de especies de rápido crecimiento han mejorado notablemente en este último tiempo, y en especial aquellos sobre madera de especies implantadas, aún quedan importantes vacíos que deben completarse.

A la fecha se ha avanzado en la Normativa IRAM sobre madera generando las IRAM 9662/1, 9662/2, 9662/3 y 9662/4, aplicadas a la clasificación visual de tablas de *Araucaria angustifolia* de Misiones, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* de Misiones y Corrientes, *Eucalyptus grandis* de la Mesopotamia y Álamo del delta del río Paraná, así como también la IRAM 9660/1 sobre madera laminada encolada estructural y el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601. Sin embargo aún existe un marcado déficit de información confiable, especialmente para completar los suplementos del Reglamento Argentino con valores de diseño de referencia para las diferentes especies utilizadas en nuestro país.

En el Suplemento Número 4 del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 se presentan valores de diseño de referencia para las uniones mecánicas. En particular, en la Tabla S.4.1.1-1. se muestran valores de la resistencia al aplastamiento de referencia F_c , en N/mm^2 , para uniones con elementos de fijación tipo clavija sometidas a carga lateral. Esta tabla se basa en la Tabla 11.3.2 publicada inicialmente en las NDS 2005 y que mantiene su vigencia en la actualización 2015 (como Tabla 12.3.3), donde se expresan valores de la resistencia al aplastamiento en función de la gravedad anhidra de la madera y del diámetro del elemento de fijación.

Existen trabajos de investigación previos sobre el Álamo (Manavella et al, 2014) y sobre el híbrido *Pinus Elliottii* var. *Elliottii* x *Pinus Caribaea* var. *Hondurensis* (Manavella et al, 2012), especie de densidades similares, donde se han comparado los valores de resistencia al aplastamiento experimentales con los calculados a partir de la Tabla incluida en el CIRSOC 601, observándose que los valores obtenidos de manera experimental están entre el 55% y el 61 % de los valores dados en el CIRSOC 601.

Este trabajo complementa la publicación “Determinación de la Resistencia al Aplastamiento en Madera de Álamo para Uniones Tipo Clavija”, expuesto en las XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural realizada en Montevideo en 2014. En dicho trabajo se determinó la resistencia al aplastamiento para madera de *Populus deltoides* ‘Australiano 129/60’ procedente del delta del río Paraná, Argentina, en las direcciones paralela y perpendicular a la fibra, con un pasador rígido de 7 mm de diámetro. En el presente estudio se amplía el análisis a pernos rígidos de diámetros 6 mm y 8 mm. Se procede, además, a realizar la comparación de los resultados experimentales con los valores obtenidos anteriormente y con los dados en el Suplemento 4 del Reglamento Argentino CIRSOC 601.

2. METODOLOGÍA.

2.1 Material de ensayo, confección y preparación de probetas.

El material de ensayo fue elaborado a partir de tablas de madera aserrada de Álamo *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' procedente del delta del río Paraná, Argentina. Se realizó una selección aleatoria a partir de un lote de 200 tablas de 1" x 4" x 2,2 m de largo, las cuales fueron canteadas y cepilladas en ambas caras a un espesor de 23 mm. Una vez acondicionado el lote se separó el material libre de defectos con el que se confeccionaron las probetas a ensayar de acuerdo a la norma UNE-EN 383:2007. Una vez finalizada la fabricación de las probetas, el material se almacenó en condiciones controladas de humedad (65 ± 5) % y temperatura (20 ± 2) °C hasta su ensayo.

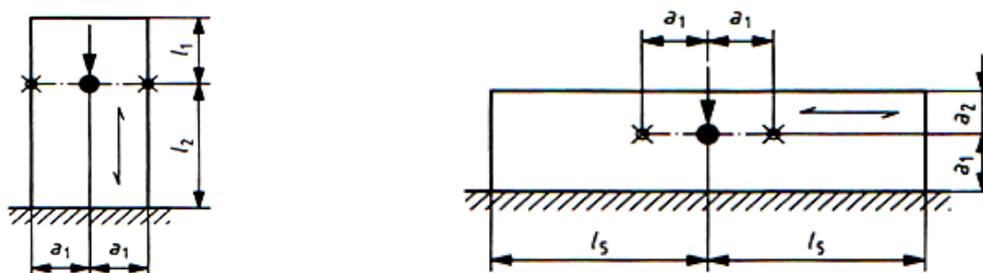


Figura 1 : Dimensiones de las probetas

En la Figura 1, se muestran las dimensiones genéricas de las probetas dadas por la Norma para pernos y pasadores y en la Tabla 1 se muestran los valores adoptados para los diferentes diámetros.

Tabla 1: Dimensiones de las probetas según diámetro

Parámetros (*)	a_1	a_2	l_1	l_2	l_5
Medidas (**)	5 D	5 D	7 D	7 D	20 D
D (mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
6	30	30	42	42	120
7	35	35	49	49	140
8	40	40	56	56	160

(*) Los parámetros son los que se muestran en la Figura 1.

(**) Las medidas dadas son en función de **D** (diámetro del perno o pasador), según UNE-EN 383

Los elementos de fijación utilizados consisten en pernos rígidos de acero trefilado de diferentes diámetros. Según indica la norma el valor del espesor de la pieza debe estar entre $1,5 d$ y $4 d$ para considerar la condición de perno rígido, valor que se cumple en todos los casos. La colocación de los elementos de fijación se realiza en orificios pre-taladrados con una holgura de 0,25 mm. Las perforaciones se ejecutan en una agujereadora de banco de manera de garantizar la perpendicularidad entre el eje del elemento de fijación y la cara de apoyo de la probeta.

En la Tabla 2 se muestran los diámetros de pernos utilizados y la relación entre el espesor de la probeta y el diámetro del pasador. Se verifican que los valores de la relación se encuentran entre 1,5 y 4 veces el diámetro, de acuerdo a lo establecido en la UNE-EN 383:2007.

Tabla 2: Relación espesor/diámetro

<i>D</i> (mm)	<i>Espesor(t)</i> (mm)	<i>Relación t/d</i> --
6	23	3,83
7	23	3,29
8	23	2,88

(t) : Espesor de la probeta en mm
(D) : diámetro del perno o pasador en mm

2.2 Equipo y dispositivos utilizados

La carga fue aplicada con una máquina Universal de ensayos de accionamiento hidráulico marca Baldwin con capacidad máxima de 300 KN. La misma posee una válvula reguladora de caudal manual con la cual se puede variar a voluntad la velocidad de aplicación de la carga. La medición de las cargas se realizó a través de una celda y un transductor de registración continua con una capacidad máxima de 50 KN y precisión de 5 N. Entre la máquina y el dispositivo de ensayo se interpuso una rótula para garantizar la perpendicularidad de la aplicación de la carga.

Las deformaciones fueron medidas usando dos relojes comparadores digitales dispuestos simétricamente marca Mitutoyo de rango 0-12,7 mm, y lectura de 0,01mm.



Figura 2 :Dispositivos de ensayos.

La Figura 2 muestra aspectos de la máquina de ensayos y la disposición de las probetas. En la foto de la izquierda se visualiza la celda de carga en la parte inferior, y los dispositivos de ensayo y de medición. En la foto de la derecha se muestra un detalle de los dispositivos de ensayo y medición de deformaciones para el caso de un ensayo paralelo a las fibras.

2.3 Procedimiento operatorio.

Previo a la realización de los ensayos se ejecuta la calibración del equipo de acuerdo a lo establecido por Norma. A continuación se procede a la ejecución de ensayos preliminares a los efectos de estimar la carga de rotura o fuerza máxima, ya que a partir de este valor se establecen los intervalos de cargas a usar.

La aplicación de la carga se ajusta al procedimiento dado por la Norma UNE-EN 383:2007, el cual puede observarse en la Figura 3. En la Figura 4 se visualiza el diagrama ideal de Fuerza/Desplazamiento y los puntos donde deben registrarse los desplazamientos.

El procedimiento de ensayo aplicado a cada probeta es el siguiente: se incrementa la fuerza hasta alcanzar el 40% de la carga máxima estimada, en un tiempo de 120 segundos, se mantiene ese valor durante 30 segundos, a continuación, en un tiempo de 90 segundos, se reduce la fuerza hasta el 10 % de la fuerza máxima estimada y se mantiene constante nuevamente durante 30 segundos, a partir de ese momento la aplicación de la carga es progresiva hasta la finalización del ensayo. El ensayo se da por finalizado cuando se produce la rotura física de la probeta o cuando el desplazamiento alcanzó un valor de 5 mm.

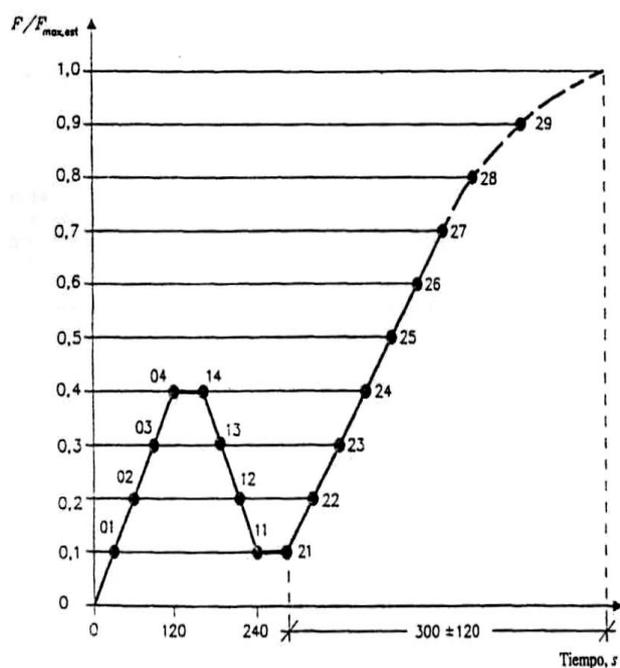


Figura 3: Procedimiento de carga

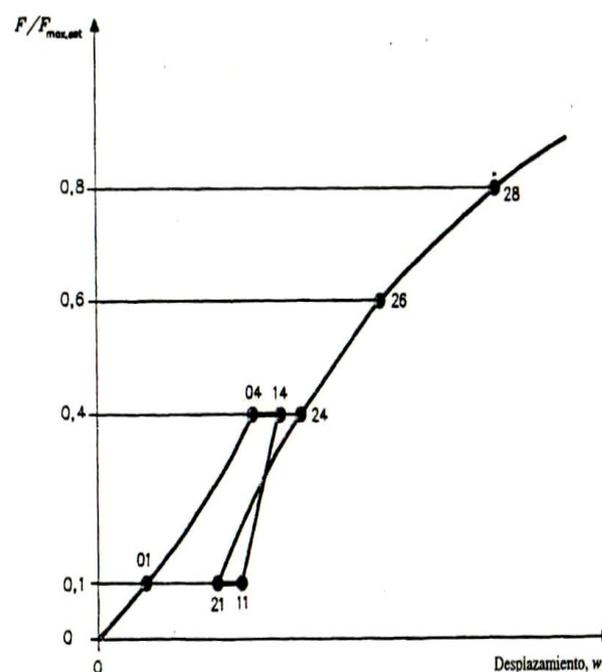


Figura 4: Diagrama ideal de Fuerza/Desplazamiento y puntos de medición

Luego de realizado el primer período de carga, la fuerza máxima debe alcanzarse en un tiempo de 300 ± 120 segundos, de acuerdo a lo establecido en el procedimiento de carga. 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.

Finalizado el ensayo, para cada probeta, se determina 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 384:2010.

3.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Determinación de la resistencia al aplastamiento.

La resistencia al aplastamiento se calculó usando la fórmula (1), dada por la Norma UNE-EN 383:2007.

$$f_h = \frac{F_{máx}}{d \times t} \quad (1)$$

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 milímetros.

t : Espesor de la probeta, en milímetros.

En la Tabla 3 se muestran los valores de resistencia al aplastamiento en la dirección paralela a las fibras para perno de diámetros 6, 7 y 8 milímetros y para el total de las probetas ensayadas.

Tabla 3: Valores de Resistencia al Aplastamiento Paralelo a las fibras

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DE PERNO			
		D= 6 mm	D= 7 mm	D= 8 mm	D= 6+7+8
Promedio	N/mm^2	27,03	30,41	26,56	28,14
Desvio STD	N/mm^2	3,58	4,20	2,82	4,10
Mínimo	N/mm^2	20,32	22,19	20,37	20,32
Máximo	N/mm^2	38,13	43,19	33,41	43,19
Percentil 5%	N/mm^2	21,94	24,54	21,69	22,19
COV %	%	13,3	13,8	10,6	14,6

Se observa que para la resistencia al aplastamiento paralelo promedio la variación entre el valor mínimo y el máximo es del orden del 14 %. Algo similar sucede al analizar la resistencia paralela percentil 5 % en donde ese porcentaje disminuye al 13 %. Se observa que el mayor valor de resistencia se da para el perno de diámetro 7 mm, disminuyendo tanto para el diámetro

de 6 mm como para el de 8 mm. Deberían ensayarse más diámetros para verificar alguna tendencia.

Tabla 4: Valores de Resistencia al Aplastamiento Perpendicular a las fibras

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DE PERNO			
		D= 6 mm	D= 7 mm	D= 8 mm	D= 6+7+8
Promedio	N/mm ²	21,19	21,61	17,62	20,22
Desvio STD	N/mm ²	5,13	4,11	4,01	4,73
Mínimo	N/mm ²	13,01	11,63	11,85	11,63
Máximo	N/mm ²	34,94	32,32	28,31	34,94
Percentil 5%	N/mm ²	14,04	14,67	12,45	13,43
COV %	%	24,2	19,0	22,7	23,4

En la Tabla 4 se muestran los valores de resistencia al aplastamiento en la dirección perpendicular a las fibras para los tres diámetros de pernos y para la población total.

En este caso se puede observar que, para la resistencia al aplastamiento perpendicular promedio, la diferencia entre los valores máximos y mínimos está cerca del 22 %, disminuyendo a un 18 % si se comparan los valores de resistencia 5 % percentil. Se puede visualizar que los valores de resistencia promedio para los diámetros 6 y 7 mm son prácticamente idénticos disminuyendo para el caso del pasador de 8 mm. Como el caso anterior deberían ensayarse más diámetros para tratar de establecer alguna tendencia bien definida.

Al comparar las resistencias al aplastamiento promedio y percentil 5%, se observa que para todos los diámetros, los valores de los ensayos paralelos a las fibras dan resultados superiores a los resultados de los ensayos perpendiculares.

3.2 Determinación de la densidad y su correlación con la Resistencia al aplastamiento.

En la Tabla 5 se muestran los valores de densidad corregidas a la humedad de referencia del 12%, de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 384, para las probetas de diámetro de pasador 6 mm, 7 mm, 8 mm y para el total de las probetas. Se advierte que no existen diferencias significativas entre los máximos y los mínimos para la densidad promedio corregida al 12 % y para la densidad percentil 5 %, ya que dichas diferencias son del orden del 4 % y del 2 % respectivamente.

Tabla 5: Valores de Densidad corregida a la humedad de referencia 12 %

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DE PERNO			
		D= 6 mm	D= 7 mm	D= 8 mm	6+7+8 mm
Promedio	Kg/m ³	394,55	408,75	395,77	400,29
Desvio STD	Kg/m ³	31,92	26,80	30,38	30,23
Mínimo	Kg/m ³	345,61	350,76	352,76	345,61
Máximo	Kg/m ³	500,44	475,33	479,33	500,44
Percentil 5%	Kg/m ³	358,13	364,18	358,80	359,32
COV %	%	8,1	6,6	7,7	7,6

Para los diámetros estudiados, mediante un análisis de regresión lineal, se establece la correlación existente entre la resistencia al aplastamiento en cada una de las direcciones ensayadas y la densidad corregida al 12 %. En la Tabla 6 se visualizan los resultados.

Tabla 6: Coeficientes de Correlación Resistencia-Densidad

PARÁMETROS	Coef. de Correlación		
	D= 6 mm	D= 7 mm	D= 8 mm
Correlación Tensión Paralela -Densidad	0,584	0,531	0,793
Correlación Tensión Perpendicular -Densidad	0,568	0,653	0,740

Los coeficientes de correlación para los diferentes diámetros y las distintas direcciones de ensayo muestran una relación de moderada a fuerte entre las variables analizadas, apreciándose mejores correlaciones para el diámetro 8 mm. La menor correlación se da para el diámetro 7 mm en la dirección paralela y la mayor para la dirección paralela diámetro 8 mm.

Si se comparan las correlaciones del Álamo con otras especies, se observa que son inferiores a las obtenidas para el Híbrido *Pinus elliottii var. elliottii x pinus Caribaea var. Hondurensis*, que dan valores de 0,86 para la dirección paralela a las fibras y de 0.79 para la dirección perpendicular (Manavella et al ,2012) y para la *Araucaria Angustifolia* que presentan valores de 0,84 y de 0,93 para la tensión paralela y perpendicular respectivamente (Guillaumet et al ,2010).

3.3. Comparación de los valores experimentales obtenidos con el Reglamento CIRSOC 601

3.3.1 Introducción.

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601, en la Tabla S.4.1.1-1. del Suplemento 4 aporta valores de la resistencia al aplastamiento de referencia, F_e , en N/mm^2 , para uniones con elementos de fijación tipo clavija sometidas a carga lateral, en función de la gravedad anhidra de la madera usada en la unión y del diámetro de perno. Esta tabla incluida en el Reglamento se basa en la publicada en las NDS 2005 (National Design Specification For Wood Construction, edición 2005), página 73 como Tabla 11.3.2 y con vigencia en la actualización 2015 como Tabla 12.3.3.

A partir de la gravedad específica a un determinado contenido de humedad G_{mc} , se puede determinar el valor de la gravedad anhidra 5 % percentil de la madera ensayada, usando la fórmula (2), de acuerdo a lo expresado en el Reglamento CIRSOC 601.

$$G = \frac{G_{mc}}{(1 + mc) - 0.84 \cdot mc \cdot G_{mc}} \quad (2)$$

Donde:

G = Gravedad anhidra

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

mc = contenido de humedad expresado como cociente entre el peso del agua contenida y el peso anhidro.

Los valores obtenidos de gravedad anhidra para cada diámetro y para el total de la muestra se visualizan en la Tabla 7.

Tabla 7: Valores de Densidad Anhidra según CIRSOC 601

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DE PERNO			
		D= 6 mm	D= 7 mm	D= 8 mm	6+7+8 mm
Promedio	Kg/m ³	363,61	379,44	367,98	370,95
Desvio STD	Kg/m ³	30,45	25,79	29,50	29,19
Mínimo	Kg/m ³	317,80	323,94	327,36	317,80
Máximo	Kg/m ³	464,04	443,70	451,77	464,04
Percentil 5%	Kg/m ³	330,08	336,54	332,63	332,32
COV %	%	8,4	6,8	8,0	7,9

Se observa que para los valores percentil 5 % no hay diferencias apreciables entre los valores para cada diámetro y para el total de la muestra, dando diferencias máximas del orden del 2% entre el valor máximo y mínimo. Se adopta el valor de 332 Kg/m³ como valor de cálculo para la gravedad anhidra percentil 5 % de *Populus deltoides* ‘Australiano 129/60’.

La madera tiene la propiedad de soportar cargas máximas sustancialmente mayores cuando éstas actúan durante un tiempo breve que cuando lo hacen durante un tiempo prolongado. Este fenómeno está contemplado en el Reglamento CIRSOC 601 a través de un factor de ajuste C_D por duración de la carga, el cual está tabulado en el Capítulo 4 Tabla 4.3-2.

Los valores de diseño de referencia para las tensiones dadas por el Reglamento CIRSOC 601, se refieren al material cuando es sometido a una carga que lo solicita al nivel de su tensión de diseño durante un tiempo acumulado de aproximadamente 10 años, o al 90 % de una carga que solicita al material al nivel de su tensión de diseño en forma continua durante toda la vida útil de la estructura sin afectar el coeficiente de seguridad adoptado. De acuerdo con este criterio, esta duración de la carga es considerada normal y para esta condición el factor de duración de la carga, C_D es igual a 1. Para cargas de distinta duración a la normal, se deben afectar las tensiones de diseño de referencia con los valores de C_D correspondientes, a fin de tener en cuenta el cambio en la resistencia del material en función del tiempo de actuación de la carga.

De lo expuesto y dado que los ensayos de resistencia al aplastamiento tienen una duración aproximada de 10 minutos, los valores obtenidos experimentalmente se deben afectar con un factor de corrección $C_D = 1,6$ para hacerlos comparables con los resultados obtenidos usando el Reglamento.

3.3.2 Cálculo de la resistencia al aplastamiento Paralela a la fibra.

Para diámetros de clavija menor a 6,35 mm el Reglamento establece que la resistencia al aplastamiento es independiente de la dirección de las fibras y del diámetro, por lo tanto para el perno de diámetro 6 mm, los valores de resistencia al aplastamiento paralela y perpendicular a la fibra son iguales y se calculan a partir de una interpolación lineal entre los valores de densidades correspondientes. También puede calcularse aplicando la fórmula siguiente:

$$F_e = 114,4 * G^{1,84} \quad (3)$$

Donde :

F_e : Resistencia al aplastamiento de referencia en N / mm^2 .

G : Valor característico (5 %) de la gravedad específica anhidra en Kg/dm^3 .

Para diámetros superiores a 6,35 mm el CIRSOC 601 estipula que la resistencia al aplastamiento depende de la dirección de la fibra, estableciendo que para la dirección paralela el valor es independiente del diámetro del pasador. De acuerdo a esto, la resistencia paralela a la fibra para las clavijas de diámetro 7 mm y 8 mm tienen igual valor y se calculan por interpolación entre las densidades 0,33 y 0,34. También puede calcularse usando la fórmula que a continuación se detalla :

$$F_{e//} = 77,2 * G \quad (4)$$

Donde:

$F_{e//}$: Resistencia al aplastamiento de referencia paralela a la fibra en N / mm^2 .

G : Valor característico (5 %) de la gravedad específica anhidra en Kg/dm^3 .

Los valores calculados según CIRSOC para cada diámetro de perno se presentan en la Tabla 8, donde se muestran además, los resultados experimentales, los resultados experimentales corregidos por el factor de duración de la carga $C_D = 1,6$ y la relación entre los valores.

Tabla 8: Comparación de los valores de resistencia al aplastamiento paralelo según CIRSOC 601 y experimental

PARÁMETROS	Unidad	f _h //		
		D= 6 mm	D= 7 mm	D= 8 mm
Resistencia propuesta según CIRSOC 601	N/mm ²	15,04	25,63	25,63
Resistencia Experimental 5 % Percentil (10 minutos)	N/mm ²	21,94	24,54	21,69
Resistencia Experimental Corregida con Cd=1,6 (a 10 años)	N/mm ²	13,71	15,34	13,55
Relacion entre Valor Exp. Corregido y valor de CIRSOC 601	%	91%	60%	53%

En la Tabla 8 se observa que la relación entre los valores experimentales corregidos a una carga de duración 10 años y los dados por el Reglamento para diámetros mayores a 6,35 mm está entre el 53 % y 60 %, en tanto que para el perno de diámetro 6 mm es del 91 %. También se visualiza que los valores experimentales corregidos para los diámetros 7 mm y 8 mm presentan resultados de 15.34 N/mm² y de 13.55 N/mm² respectivamente, valores que aunque cercanos no son iguales ya que se aprecia una diferencia del orden del 13 %. Según el Reglamento, los valores deberían ser iguales ya que considera que, para diámetros superiores a 6,35 mm, la resistencia paralela es independiente del diámetro de pasador.

En la figura 4 se han graficado los valores de resistencia paralelo a la fibra obtenidos experimentalmente y los dados por el CIRSOC 601. Se muestra la recta dada por el Reglamento para diámetros mayores a 6,35 mm según Fórmula (4), y los valores obtenidos experimentalmente para los pernos de 7 y 8 mm, afectados por el coeficiente de duración de la carga, comentado anteriormente. Se hace notar que se han incorporado en el gráfico los

resultados experimentales obtenidos para el pasador de 6 mm a fin de analizar su comportamiento en conjunto con los otros dos, ya que prácticamente está sobre el valor límite impuesto por el Reglamento.

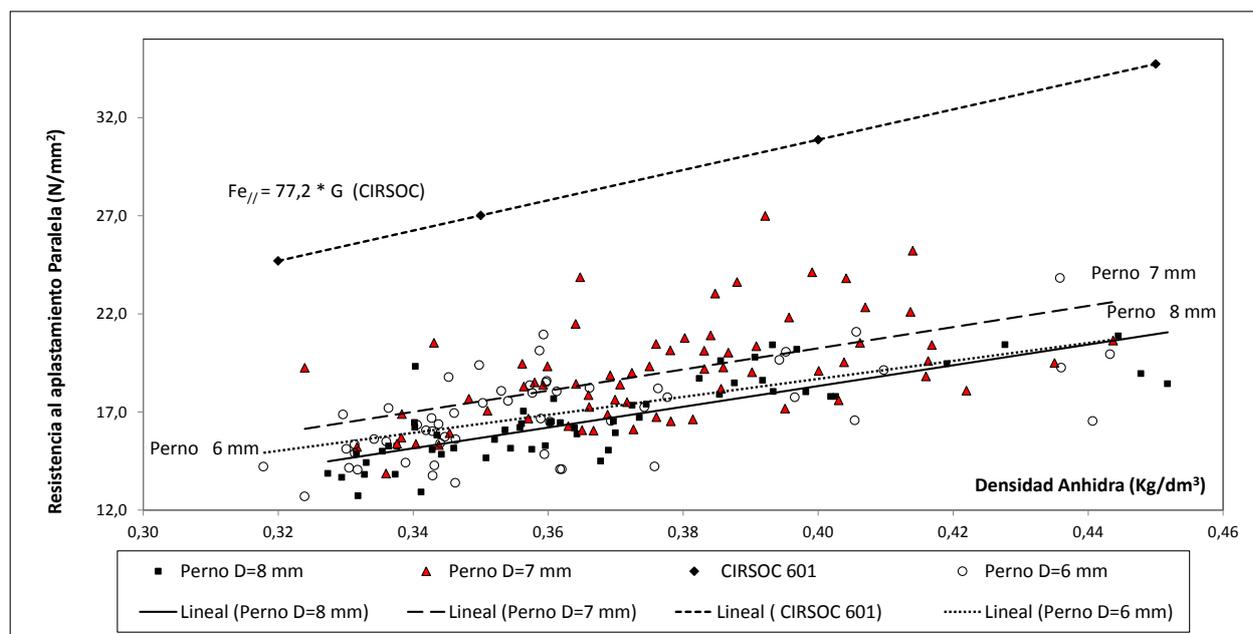


Figura 5 : Gráfico Densidad Anhidra- Resist. Paralela para pernos de 6,7,8 mm

Se observa en primer lugar que la recta correspondiente a la ecuación dada por el Reglamento Argentino está por encima de las otras tres, comportamiento que nos manifiesta que los valores calculados experimentalmente y afectados por el factor de duración de la carga $C_D = 1,6$ son sensiblemente menores a los dados por el CIRSOC y por las NDS. También se observa que las rectas para los tres diámetros estudiados tienen una pendiente similar, resultando visiblemente paralelas a la graficada según el Reglamento, lo que nos permite deducir que la variación de la resistencia al aplastamiento paralela a la fibra calculada experimentalmente respecto de la densidad anhidra es similar a la propuesta en el CIRSOC 601, aunque con valores numéricos bastante menores. Debe notarse además que el comportamiento del perno de diámetro 6 mm, aunque con una pendiente algo diferente, es de características similares a los otros dos, no visualizándose el salto planteado en el Reglamento a partir del diámetro 6,35 mm.

3.3.2 Cálculo de la resistencia al aplastamiento Perpendicular a la fibra.

Como ya se dijo anteriormente para diámetros de perno menor a 6,35 mm el CIRSOC 601 indica que la resistencia al aplastamiento es independiente de la dirección de las fibras y del diámetro. Por lo tanto, el valor de la resistencia al aplastamiento perpendicular para el pasador de diámetro 6 mm es idéntico al calculado para la dirección paralela, resultando de una interpolación lineal entre los valores de densidades correspondientes. También puede calcularse a partir de la Fórmula (3).

Para diámetros de pasadores superiores a 6,35 mm la resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras es función del diámetro y de la densidad anhidra, disminuyendo progresivamente su valor al aumentar el diámetro de perno y aumentando al aumentar la densidad. Su valor se puede obtener de la Tabla 4.3-2. interpolando entre diámetros y entre densidades o a partir de la fórmula siguiente:

$$F_{e\perp} = 212 * G^{1,45} / D^{0,5} \quad (5)$$

Donde:

$F_{e\perp}$: Resistencia al aplastamiento de referencia perpendicular a la fibra en N / mm^2 .

G : Valor característico (5 %) de la gravedad específica anhidra en Kg/dm^3 .

D : Diámetro del perno en mm.

En la Tabla 9, se presentan los valores de resistencia perpendicular calculados para cada diámetro de perno y se muestran además, los resultados experimentales sin corregir y corregidos por el factor de duración de la carga $C_D = 1,6$ y la relación entre los valores.

Tabla 9: Comparación de los valores de resistencia al aplastamiento perpendicular según CIRSOC 601 y experimental

PARÁMETROS	Unidad	$f_{h\perp}$		
		D= 6 mm	D= 7 mm	D= 8 mm
Resistencia propuesta según CIRSOC 601	N/mm^2	15,04	16,28	15,16
Resistencia Experimental 5 % Percentil (10 minutos)	N/mm^2	14,04	14,67	12,45
Resistencia Experimental Corregida con $C_D=1,6$ (a 10 años)	N/mm^2	8,77	9,17	7,78
Relacion entre Valor Exp. Corregido y valor de CIRSOC 601	%	58%	56%	51%

Se puede observar que los valores de resistencia al aplastamiento experimentales 5 % percentil referenciados a una duración de la carga de 10 años, son sensiblemente menores a los valores propuestos por el Reglamento CIRSOC 601. Las variaciones van desde un 51 % a un 58 %. También se observa que el mayor valor de resistencia percentil 5 % se da para el perno de 7 mm disminuyendo para el de 6 mm y 8 mm, insinuando un comportamiento similar a los valores propuestos por el Reglamento Argentino, que debería validarse con más ensayos.

En la Figura 6 se han graficado los valores de resistencia perpendicular a la fibra obtenidos experimentalmente y los dados por el CIRSOC 601. Se presenta la recta dada por el Reglamento para diámetros mayores a 6,35 mm según Fórmula (5), y los resultados experimentales para los pernos de 7 y 8 mm afectados por el factor de duración de la carga. Como en el caso anterior, se anexan los valores experimentales del perno de 6 mm a fin de analizar si su comportamiento es similar al de los otros dos diámetros, puesto que está en el valor límite propuesto por el Reglamento. Se hace notar que la curva CIRSOC para diámetro 6 mm se grafica con la fórmula (3) que es la propuesta por el Reglamento.

En dicha figura, como en el caso anterior, se observa que las rectas correspondiente a los diámetros 6 mm, 7 mm y 8 mm dadas por el Reglamento CIRSOC están por encima de las otras rectas, esto nos señala que los valores calculados experimentalmente y afectados por el factor de

duración de la carga $C_D = 1,6$ son marcadamente inferiores a los dados por el CIRSOC y por las NDS.

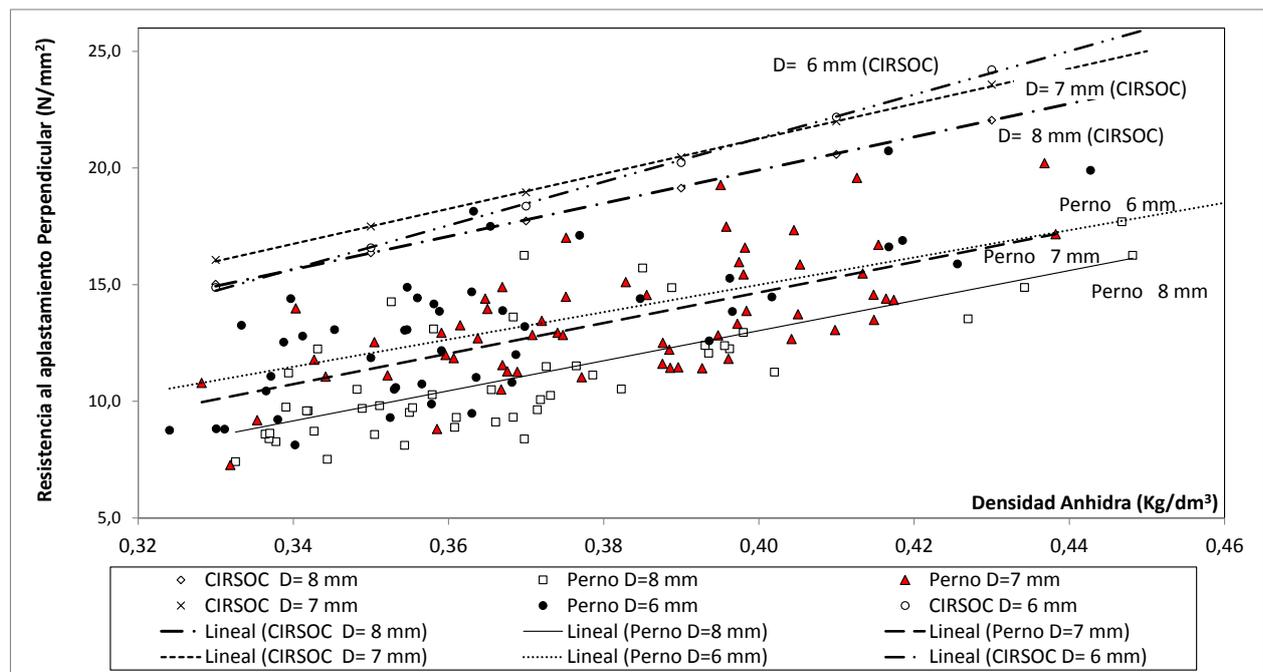


Figura 6 : Gráfico Densidad Anhidra-Resist. Perpendicular para pernos de 6,7,8 mm

Las rectas para los diámetros 7 y 8 mm resultan prácticamente paralelas y con una pendiente muy similar a las graficadas según el Reglamento. La recta para diámetro 6 mm aunque presenta alguna pequeña variación en su pendiente muestra un comportamiento parecido a las otras. Estas apreciaciones nos permiten inferir que la variación de la resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra calculada experimentalmente respecto de la densidad anhidra, es similar a la propuesta en el Reglamento CIRSOC 601 aunque con valores notablemente más bajos. La recta del perno de 6 mm se comporta de manera parecida a la recta de los diámetros 7 mm y 8 mm, lo que sugiere la no existencia del corte planteado por el Reglamento en el diámetro de 6,35 mm.

En el gráfico se observa también que, para los valores de densidad graficados, las rectas para los pernos 7 y 8 mm se muestran en ese orden y de manera descendente, lo que insinúa que para una misma densidad anhidra los valores de resistencia al aplastamiento perpendicular disminuyen con el diámetro del pasador, tal como lo plantea el CIRSOC 601.



La Ingeniería Estructural, motor del desarrollo en América, en un marco de Integración y Sustentabilidad

4.- CONCLUSIONES.

La resistencia característica al Aplastamiento percentil 5%, en la dirección paralela a las fibras, para la madera de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' procedente del delta del río Paraná, Argentina, calculada a partir de las prescripciones de la Norma UNE-EN 383 es de 22,19 N/mm², para una duración de la carga de 10 minutos.

La resistencia característica al Aplastamiento percentil 5%, en la dirección perpendicular a las fibras, para la madera de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' procedente del delta del río Paraná, Argentina, calculada a partir de las prescripciones de la Norma UNE-EN 383 es de 13,43 N/mm², para una duración de la carga de 10 minutos.

Los resultados obtenidos experimentalmente de resistencia al aplastamiento paralelo y perpendicular a las fibras para diámetro de perno de 6 mm son notablemente distintos entre sí, con diferencias del orden del 55%. Estos resultados no se corresponden con lo expresado en el Reglamento CIRSOC 601 donde para diámetros menores a 6,35 mm se establece que el valor de la resistencia al aplastamiento es independiente de la dirección de la fibra y del diámetro del perno.

Los valores experimentales que presenta la resistencia al aplastamiento paralela a las fibras para los pernos de 7 mm y 8 mm dan valores que, aunque cercanos no son iguales, apreciándose una diferencia del orden del 13 %. Estos valores no reflejan exactamente lo formulado en el Reglamento Argentino donde se indica que para diámetros de pasadores mayores a 6,35 mm la resistencia al aplastamiento paralela a las fibras es independiente del diámetro de la clavija.

Para los diámetros de pernos 7 mm y 8 mm la resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras obtenida experimentalmente dan valores que varían con el diámetro del pasador, disminuyendo al aumentar dicho diámetro. Estos datos están de acuerdo con lo indicado en el CIRSOC 601, donde para pasadores con diámetros superiores a 6,35 mm se indica que la resistencia es función del diámetro de la clavija y de la densidad anhidra, reduciendo progresivamente su valor al aumentar el diámetro de perno.

Los valores de resistencia al aplastamiento, tanto paralelo como perpendicular a la fibra, en todos los casos analizados en este trabajo, aumentan al aumentar la densidad anhidra del material, confirmando el comportamiento establecido en la Tabla S.4.1.1-1 del Suplemento 4 del CIRSOC 601.

Los resultados experimentales de la resistencia al aplastamiento, en la dirección paralela y perpendicular a las fibras para diámetros de perno 6, 7 y 8 mm corregidos por el factor de duración de la carga, excepto para el caso particular de resistencia paralela a la fibra del perno de diámetro 6 mm, dan valores del orden de 50 % al 60 % de los determinados con la metodología establecida por el Reglamento CIRSOC 601. Esto se condice con otros resultados ya expuestos en otras publicaciones y para otras especies.



La Ingeniería Estructural, motor del desarrollo en América, en un marco de Integración y Sustentabilidad

5.- AGRADECIMIENTOS.

A los alumnos, becarios, graduados y docentes investigadores de la UNNOBA, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, por su valiosa participación en el desarrollo de los ensayos realizados.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- UNE-EN 383:2007. Agencia Española de Normalización y Certificación (2007). Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija.
- UNE-EN 384:2010. Agencia Española de Normalización y Certificación (2010). Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.
- UNE-EN 408:2011. Agencia Española de Normalización y Certificación (2011). Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
- NDS 2005. American Forest & Paper Association. American Wood Council. (2005). National Design Specification (NDS) for Wood Construction with commentary and Supplement :Design Values for Wood Construction 2005 Edition. Washington.
- NDS 2015. American Wood Council. (2015). National Design Specification (NDS) for Wood Construction 2015 Edition.
- Guillaumet A.A., Manavella R.D; Filippetti M.C., Diab J. y Armas A. (2010) Tensiones de aplastamiento en uniones tipo clavija en madera de Araucaria Angustifolia .XXXIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural .San Juan. Argentina.
- CIRSOC 601(2013). Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles. Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Buenos Aires.
- CIRSOC 601(2013). Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles. Manual de aplicación de los criterios de diseño adoptados por el Reglamento CIRSOC 601. Buenos Aires.
- ISO 3130 (1975). International Organization for Standardization (1975). Wood. Determination of moisture content for physical and mechanical tests.
- ISO 3131 (1975). International Organization for Standardization (1975). Wood. Determination of density for physical and mechanical tests.
- Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti M.C. (2012). Determinación de la resistencia al aplastamiento en madera de híbrido Pinus Elliottii var. Elliottii x Pinus Caribaea var. Hondurensis para uniones tipo clavija. 22º Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Buenos Aires . Argentina.
- Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti María 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.