

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL VENADO TUERTO**

**G I D E C**

**Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles**



**DETERMINACIÓN  
DE LA  
RESISTENCIA  
AL APLASTAMIENTO EN  
MADERA DE ÁLAMO PARA  
UNIONES TIPO CLAVIJA**

**ISBN: 978-9974-0-1168-7**

**JORNADAS SUDAMERICANAS DE  
INGENIERIA ESTRUCTURAL  
DEL 19 AL 21 DE NOVIEMBRE DE 2014  
MOTEBVIDEO - URUGUAY**

**AUTORES: Roberto D. Manavella - Alfredo A. Guillaumet  
María C. Filippetti - Miguel Tortoriello**



# DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN MADERA DE ÁLAMO PARA UNIONES TIPO CLAVIJA

## DETERMINATION OF THE EMBEDDING STRENGTH IN POPLAR WOOD FOR DOWEL TYPE FASTENERS

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

- (1) Profesor Titular, Universidad Tecnológica Nacional FRVT- Laprida 651, VenadoTuerto- Argentina.  
(2) Profesor Titular, Universidad Tecnológica Nacional FRVT- Laprida 651, VenadoTuerto- Argentina.  
(3) Profesor Adjunto, Universidad Tecnológica Nacional FRVT-Laprida 651, Venado Tuerto- Argentina.  
(4) Profesor Adjunto, Univ.Nac. del Noroeste de la Prov. de Buenos Aires. Roque S. Peña 456. Junín. Argentina.  
Laprida 651, Venado Tuerto, [aguillaumet@rec.utn.edu.ar](mailto:aguillaumet@rec.utn.edu.ar)

### Resumen

La concreción del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601) generó la necesidad de completar los suplementos con el comportamiento estructural de maderas provenientes de especies de rápido crecimiento cultivadas en bosques implantados en Argentina. En el suplemento 4, destinado a uniones, se incorporó una tabla de valores de resistencia al aplastamiento en función de la gravedad anhidra y el diámetro del perno, basada en la existente en las NDS 2005 (National Design Specifications for Wood Construction), para verificar su aplicabilidad se torna necesario determinar este parámetro para maderas de uso corriente en nuestro país. En este trabajo se determina la resistencia al aplastamiento para madera de álamo “Populus deltoides Australiano 129/60” procedente del Delta del Río Paraná, Argentina. Para ello se realizaron los ensayos, en las direcciones paralela y perpendicular 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 para ambas direcciones 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, álamo, fijación tipo clavija, Estructura de madera.*

### Abstract

The concretion of the Argentine Regulations for Wooden Structures (CIRSOC 601) generated the need to complete the supplements with the structural behavior of fast-grown species of timber grown in planted forests in Argentina. 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). To verify its applicability it is necessary to determine this parameter for wood commonly used in our country. In this work the embedding strength of Populus deltoids “Australian 129/60” from the Paraná River Delta, Argentina, is determined. The tests were performed in a parallel and perpendicular 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 from both directions 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, poplar, dowel type fasteners , structures timber.*

## 1. INTRODUCCIÓN.

Para el cálculo de 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. En el caso del Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1 2005) se necesita tener como datos de base, el valor característico de la tensión al aplastamiento de la madera utilizada, el valor característico del momento plástico y el valor característico de la resistencia a la extracción de la clavija. Para la aplicación del “Reglamento Argentino de Estructuras de Madera”, CIRSOC 601, 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. Por otra parte, la norma brasileña NBR 7190 en su capítulo “Ligações com pinos metálicos” establece que la resistencia de cálculo al aplastamiento de la madera y la resistencia de cálculo a fluencia de la clavija son los valores básicos necesarios para realizar el cálculo de la unión.

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 presenta suplementos con valores de diseño. En particular, en el Suplemento Nro. 4 establece valores de diseño de referencia para uniones mecánicas que permiten calcular la resistencia lateral de diseño de referencia  $Z$ . La tabla incluida en el Suplemento 4 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, para otras especies, 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. Guillaumet et al (2010), Manavella et al (2012).

Varios autores han estudiado la correlación existente entre la resistencia al aplastamiento, con la densidad de la madera, dando como resultado que a mayor densidad del material mayor resistencia. También se ha evaluado la correlación 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. 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.

Es habitual que una unión esté constituida por dos o más elementos de fijación, lo que conforman las llamadas uniones múltiples. Cuando los elementos de fijación que conforman una unión múltiple son del mismo tipo, tienen similares dimensiones, y presentan el mismo modo de rotura, es común establecer el valor de la capacidad portante de la unión, a partir del cálculo de la capacidad portante de uno de los elementos que la componen. El CIRSOC 601 punto 8.2.2.1 establece que para obtener el valor de la resistencia lateral de diseño de referencia de una unión múltiple, se debe multiplicar el valor obtenido para la unión simple por la cantidad de elementos que componen la unión.

En particular, las uniones múltiples con clavos de pequeño diámetro colocados neumáticamente, es una buena opción para materializar la unión ya que según Sosa Zito et al (2012a), “...la utilización de estos elementos permite optimizar la geometría de las uniones, provee mayor resistencia que la obtenida aplicando las ecuaciones de diseño del Proyecto CIRSOC 601 y del Eurocódigo 5, y reduce la aparición de roturas frágiles”.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la resistencia al aplastamiento en la dirección paralela y perpendicular a las fibras, en madera de álamo “*Populus deltoides Australiano 129/60*” procedente del Delta del Río Paraná, Argentina usando un perno rígido de 7 mm y comparar los resultados obtenidos experimentalmente con los valores propuestos en el Suplemento 4 del Reglamento Argentino CIRSOC 601.

## 2. METODOLOGÍA.

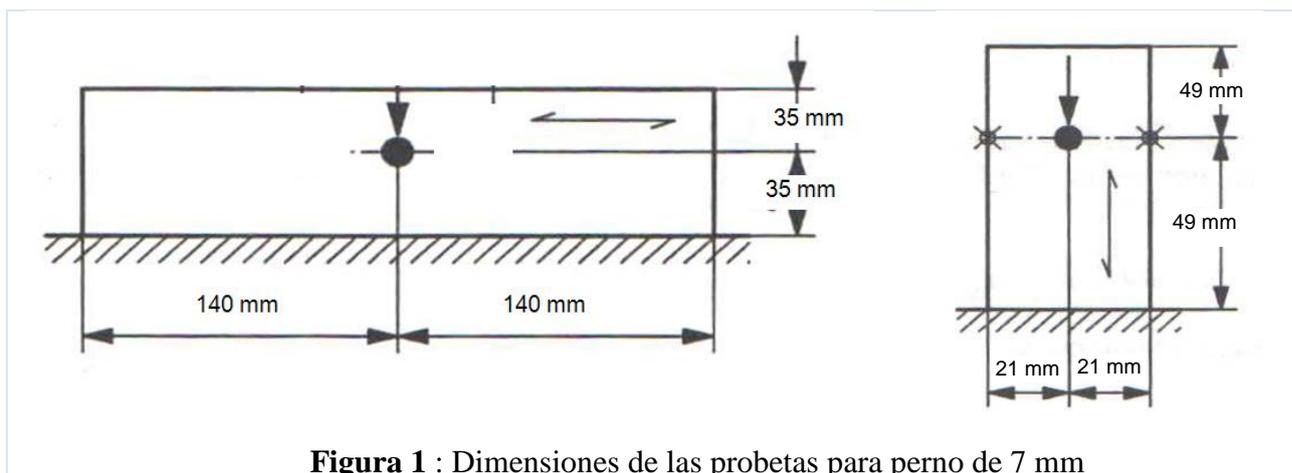
### 2.1 Material de ensayo, confección y preparación de probetas.

Las probetas ensayadas fueron confeccionadas a partir de tablas de madera aserrada de Álamo “*Populus deltoides* australiano 129/60” procedente del Delta del Río Paraná, Argentina.

Se procedió a efectuar una selección aleatoria de un lote de 200 tablas de 1” x 4” x 2,2 m de largo, las que una vez acondicionadas y cepilladas resultaron con un espesor de 23 mm. De ese lote se obtuvo el material libre de defectos con el que se confeccionaron 129 probetas de acuerdo a la norma UNE-EN 383:2007, de las cuales 68 probetas se ensayaron en dirección paralela y 61 en dirección perpendicular a la fibra. El material de ensayo se almacenó en condiciones controlada de humedad relativa ( $65 \pm 5$ ) % y temperatura ( $20 \pm 2$ ) °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 UNE-EN 383:2007 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 orificio de 7,25 mm. Esta perforación se ejecuta con guía de manera de garantizar la perpendicularidad entre el eje del elemento de fijación y la cara de apoyo de la probeta.

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a las prescripciones de la Norma UNE-EN 383:2007. En la figura 1 se visualizan las dimensiones de las probetas utilizadas.



**Figura 1** : Dimensiones de las probetas para perno de 7 mm

### 2.2 Equipo y dispositivos utilizados

La aplicación de la carga se realiza con una máquina Universal de ensayos marca Baldwin con capacidad máxima de 300 KN y accionamiento hidráulico. Posee una válvula reguladora de caudal que permite variar a voluntad la velocidad de aplicación de la carga. Para la medición de las cargas se interpone una celda con una capacidad máxima de 50 KN y precisión de 5 N 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 marca Mitutoyo de rango 0-12,7 mm, y lectura de 0,01mm, dispuestos en forma simétrica.

La figura 3 muestra aspectos de la máquina de ensayos. Se visualiza la celda de carga en la parte inferior, la rótula en la parte superior, los dispositivos de aplicación de la carga y los de medición de las deformaciones para el caso del ensayo perpendicular a las fibras.



**Figura 3 :** Dispositivo de carga, dirección perpendicular a las fibras

### 2.3 Procedimiento operatorio.

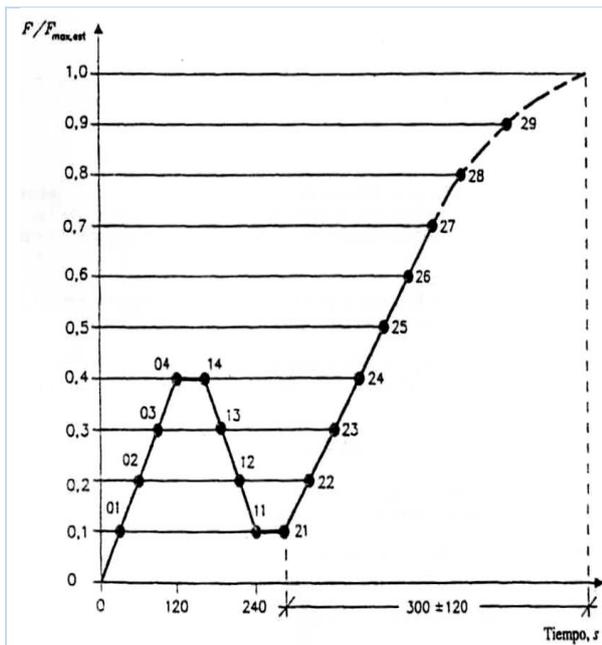
Se hace una estimación de la carga de rotura o fuerza máxima realizando ensayos preliminares. Este valor estimado permite la adopción de los intervalos de carga a utilizar.

La aplicación de la carga debe realizarse respetando el procedimiento de carga dado por la Norma UNE-EN 383:2007, el cual se muestra en la figura 4. El diagrama ideal de Fuerza/Desplazamiento y los puntos donde deben registrarse los desplazamientos se muestran en la figura 5.

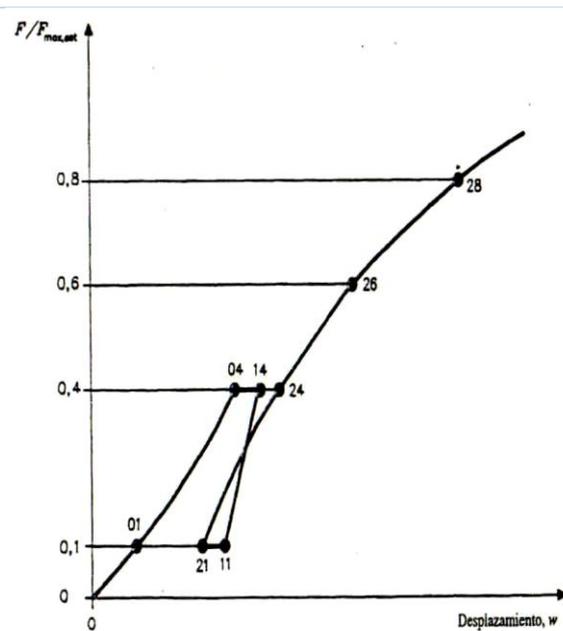
Previo a la realización de los ensayos se ejecuta la calibración del equipo de acuerdo a lo establecido por Norma. Las probetas acondicionadas se colocan simétricamente en el dispositivo de ensayo, de manera de asegurar que la aplicación de la fuerza se ejerza sobre el eje de la probeta.

Para cada probeta la fuerza se incrementó hasta alcanzar el 40% de la carga máxima estimada, se mantuvo por 30 segundos, se procedió a reducir la fuerza hasta el 10 % de la fuerza máxima estimada, se mantuvo constante nuevamente durante 30 segundos, procediendo luego a aumentar la fuerza de manera progresiva hasta la finalización del ensayo.

El ensayo de detuvo cuando se produjo la rotura física de la probeta o cuando el desplazamiento alcanzó los 5 mm.



**Figura 4:** Procedimiento de carga



**Figura 5:** Diagrama ideal de Fuerza/Desplazamiento y puntos de medición

La velocidad de desplazamiento de la máquina de ensayo fue constante y se reguló de manera que la fuerza máxima se alcance en un tiempo de  $300 \pm 120$  segundos luego de realizado el primer período de carga.

Para cada una de las probetas se registraron los valores de carga, los valores de desplazamiento de ambos comparadores y el tiempo de ensayo, en cada uno de los puntos indicados en la figura 5. Con posterioridad a los ensayos, en todos los cuerpos de prueba se determinó la densidad según norma ISO 3131/1975 y la humedad de acuerdo a norma ISO 3130/1975. Los valores de densidad se ajustaron a la humedad de referencia del 12% de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 384:2010

## 2.4 Cálculos.

Se realizan de acuerdo a lo establecido en la Norma UNE-EN 383:2007 apartado 6.6.1.

### a) 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) 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/mm<sup>2</sup>.

$F_{máx,est}$  : Carga máxima estimada, en N.

$d$  : Diámetro del perno, en milímetros.

$t$  : Espesor de la probeta, en milímetros.

### c) Desplazamiento inicial.

$$w_i = w_{04} \quad (3)$$

Donde:

$w_i$  : Desplazamiento inicial, en milímetros.

$w_{04}$  : Desplazamiento correspondiente al punto 04 del procedimiento de carga de la figura 5, en milímetros.

### d) Desplazamiento inicial modificado.

$$w_{i,mod} = \frac{4}{3}(w_{04} - w_{01}) \quad (4)$$

Donde:

$w_{i,mod}$  : Desplazamiento inicial modificado, en milímetros.

$w_{04}$  : Desplazamiento correspondiente al punto 04 del procedimiento de carga de la figura 5, en milímetros.

$w_{01}$  : Desplazamiento correspondiente al punto 01 del procedimiento de carga de la figura 5, en milímetros.

### e) Desplazamiento Elástico.

$$w_e = \frac{2}{3}(w_{14} + w_{24} - w_{11} - w_{21}) \quad (5)$$

Donde:

$w_e$  : Desplazamiento elástico, en milímetros.

$w_{14}$  : Desplazamiento correspondiente al punto 14 del procedimiento de carga de la figura 5, en milímetros.

$w_{24}$  : Desplazamiento correspondiente al punto 24 del procedimiento de carga de la figura 5, en milímetros.

$w_{11}$  : Desplazamiento correspondiente al punto 11 del procedimiento de carga de la figura 5, en milímetros.

$w_{21}$  : Desplazamiento correspondiente al punto 21 del procedimiento de carga de la figura 5, en milímetros.

### f) Módulo de aplastamiento inicial.

$$K_i = \frac{0,4 \times f_{h,est}}{w_i} \quad (6)$$

Donde:

$K_i$  : Módulo de aplastamiento inicial, en  $\text{N/mm}^3$ .

$f_{h,est}$  : Resistencia estimada al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ .

$w_i$  : Desplazamiento inicial, en milímetros.

### g) Módulo de aplastamiento.

$$K_s = \frac{0,4 \times f_{h,est}}{w_{i,mod}} \quad (7)$$

Donde:

$K_s$  : Módulo de aplastamiento, en  $\text{N/mm}^3$ .

$f_{h,est}$  : Resistencia estimada al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ .

$w_{i,mod}$  : Desplazamiento inicial corregido, en milímetros.

### g) Módulo de aplastamiento elástico.

$$K_e = \frac{0,4 \times f_{h,est}}{w_e} \quad (8)$$

Donde:

$K_e$  : Módulo de aplastamiento elástico, en  $\text{N/mm}^3$ .

$f_{h,est}$  : Resistencia estimada al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ .

$w_e$  : Desplazamiento elástico, en milímetros.

## 3.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### 3.1. Determinación de la resistencia al aplastamiento.

Se utilizó la formula (1) para el cálculo de la resistencia al aplastamiento. Los valores obtenidos para la resistencia al aplastamiento en las direcciones paralela y perpendicular a las fibras, así como la densidad de la madera ensayada, corregida a una humedad de referencia del 12 % se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Valores de Resistencia al Aplastamiento y Densidad

PARÁMETROS	fh //	fh ⊥	γ
	$\text{N/mm}^2$	$\text{N/mm}^2$	$\text{Kg/m}^3$
Promedio	30,41	21,61	408,75
Desvio STD	4,20	4,11	26,80
Máximo	43,19	11,63	475,33
Mínimo	22,19	32,32	350,76
Percentil 5%	24,54	14,67	364,18
COV %	14%	19%	7%

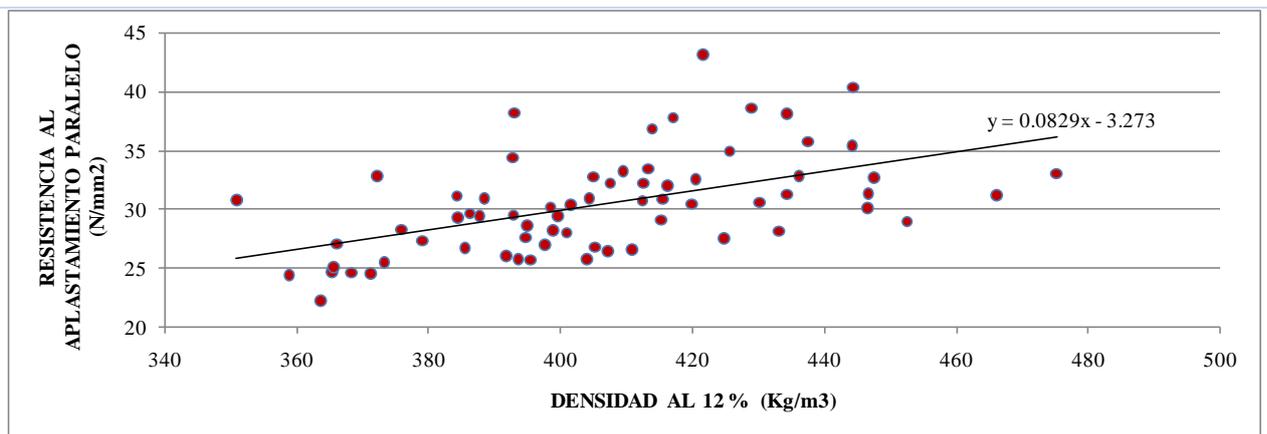
$f_h //$  : Resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra.  
 $f_h \perp$  : Resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra.  
 $\gamma$  : Densidad al 12 %

Se establece la correlación existente entre la resistencia al aplastamiento en cada una de las direcciones ensayadas y la densidad, mediante un análisis de regresión. Los valores de correlación para ambas direcciones de ensayo y la ecuación de la regresión lineal aparecen en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Coeficientes de Correlación

PARÁMETROS	Coef. de Correlación	Ecuación de la regresión lineal
Correlación Tensión Paralela -Densidad	0,531	$y = 0.0829x - 3.273$
Correlación Tensión Perpendicular -Densidad	0,653	$y = 0.1008x - 19.922$

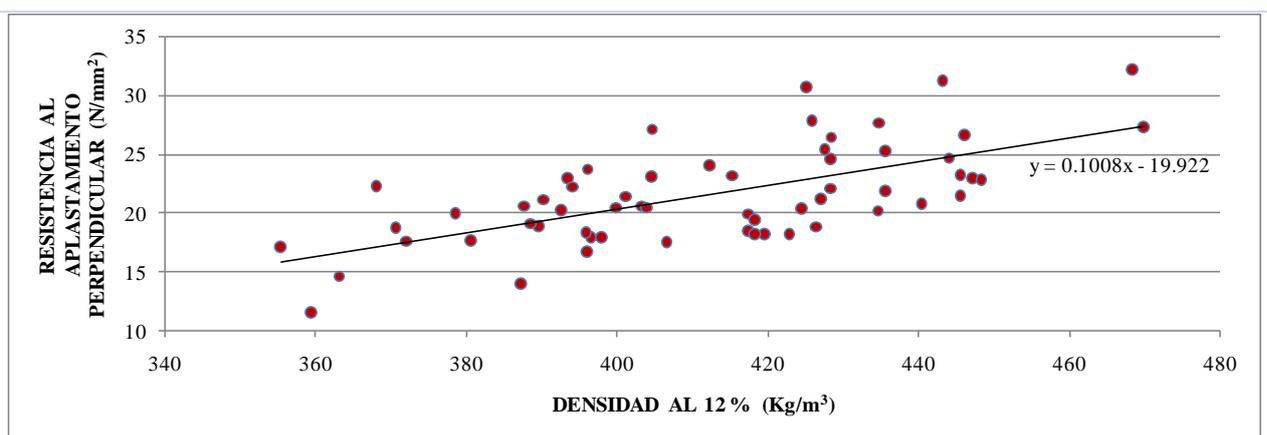
El coeficiente de correlación para ambas direcciones indica una relación moderadamente fuerte entre las variables analizadas, apreciándose una mejor correlación para el caso de la tensión perpendicular a la fibra.



**Figura 6:** Correlación Densidad-Resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra.

En las figura 6 se muestra la correlación entre los valores de densidad y resistencia al aplastamiento y la recta de regresión lineal para el caso de aplastamiento paralelo a las fibras.

En las figura 7 se muestra la correlación entre los valores de densidad y resistencia al aplastamiento y la recta de regresión lineal para el caso de aplastamiento perpendicular a las fibras.



**Figura 7:** Correlación Densidad-Resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra.

Comparada con otras especies, las correlaciones del Álamo son inferiores a las obtenidas para *Araucaria Angustifolia* que resultaron de 0,841 y de 0,931 para la tensión paralela y perpendicular respectivamente, y las correspondientes al Híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *pinus Caribaea* var. *Hondurensis*, que dieron valores de 0,86 para la dirección paralela a las fibras y de 0.788 para la dirección perpendicular.

### 3.2. Análisis de los desplazamientos.

La figura 8 ilustra la variación de la resistencia al aplastamiento y el desplazamiento en la dirección paralela a las fibras, para el ciclo de carga completo establecido en la norma UNE-EN 383:2007.

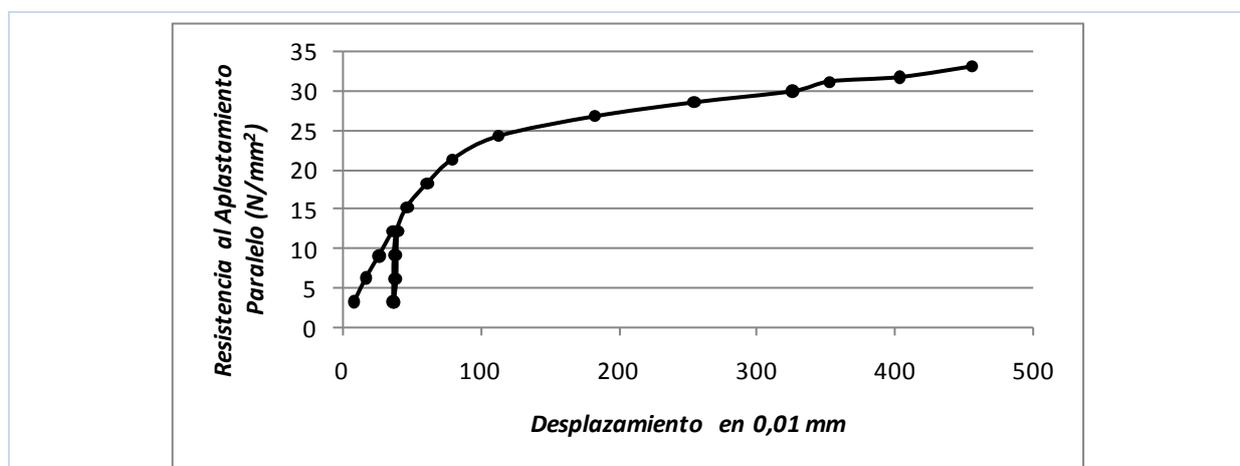


Figura 8: Gráfico desplazamiento-Resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra

En la figura 9 se muestra un análisis similar al anterior relacionando la variación de la resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra y su correspondiente desplazamiento.

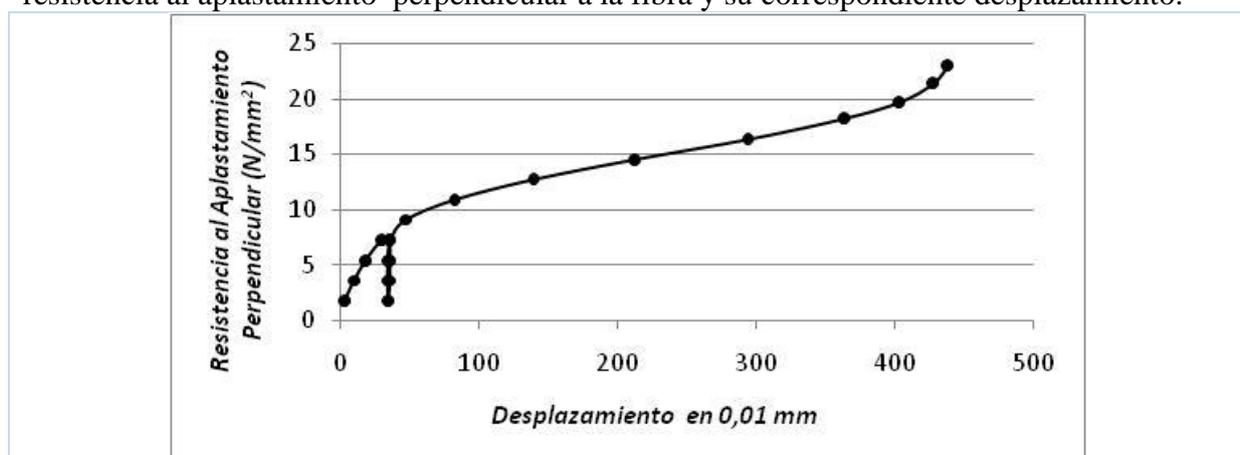


Figura 9: Gráfico desplazamiento-Resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra

La gráfica de figura 10 presenta la variación del desplazamiento en función de la resistencia al aplastamiento paralelo a las fibras para el segundo período de carga propuesto por la UNE-EN 383:2007, es decir a partir del punto 21 del procedimiento de carga. De esta gráfica

puede estimarse en aproximadamente 1,25 mm el valor del desplazamiento correspondiente a la resistencia característica al aplastamiento paralelo percentil 5 % cuyo valor es de  $24,54 \text{ N/mm}^2$ .

Se puede observar que para ese valor característico el desplazamiento presenta valores bajos, respecto de los 5 mm establecidos como valor de rotura, a partir de ese valor de resistencia las deformaciones aumentan considerablemente para pequeñas variaciones de tensiones, hasta alcanzar la rotura del elemento ensayado.

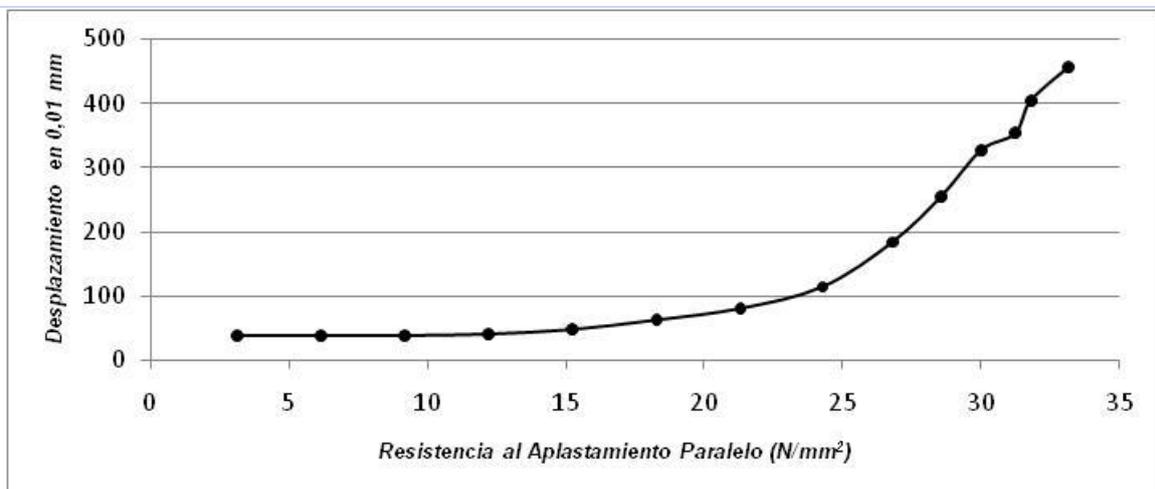


Figura 10: Gráfico Resistencia al aplastamiento - desplazamiento paralelo a las fibras para el segundo período de carga

De manera similar, la gráfica de figura 11 presenta la variación del desplazamiento en función de la resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras, también para el segundo período de carga propuesto por la Norma.

En este caso se observa, para el valor de la resistencia característica al aplastamiento perpendicular percentil 5 %, un desplazamiento del orden de 2 mm para una resistencia de  $14,67 \text{ N/mm}^2$ .

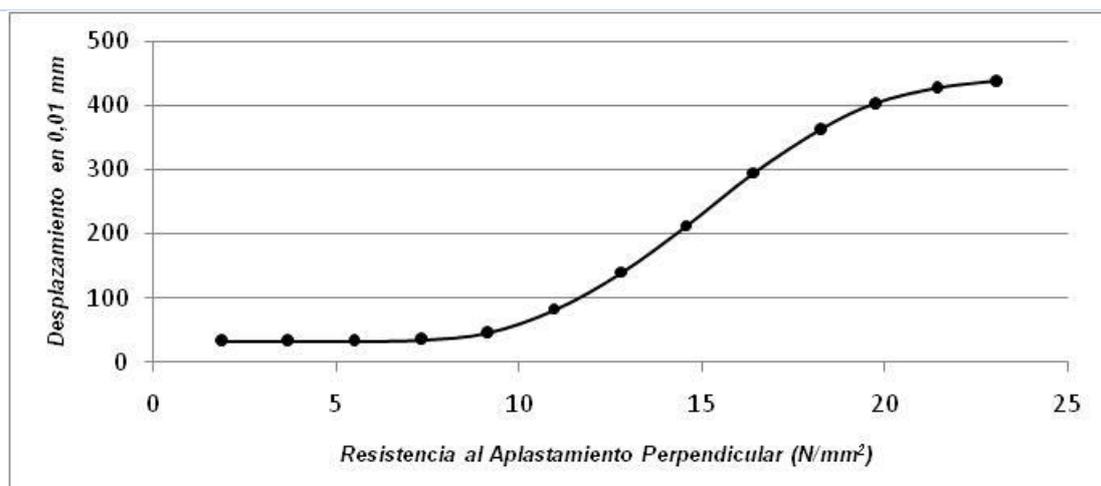


Figura 11: Gráfico Resistencia al aplastamiento-desplazamiento perpendicular a las fibras para el segundo período de carga

A partir de los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento de carga de figura 4 se pueden calcular otros valores de desplazamientos descritos en la UNE-EN 383:2007.

En la Tabla 3 se exponen los valores de desplazamientos para los ensayos paralelo a las

fibras y calculados a partir de los resultados de las mediciones, de acuerdo a las ecuaciones (3), (4) y (5). De manera similar se procede al cálculo de los desplazamientos para la dirección perpendicular a las fibras, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

<b>Tabla 3:</b> Desplazamientos para Ensayo Paralelo a las Fibras					<b>Tabla 4:</b> Desplazamientos para Ensayo Perpendicular a las Fibras				
$W_i$ mm	$W_{i,mod}$ mm	$W_e$ mm	$W_{0.6}$ mm	$W_{0.8}$ mm	$W_i$ mm	$W_{i,mod}$ mm	$W_e$ mm	$W_{0.6}$ mm	$W_{0.8}$ mm
0,368	0,373	0,108	0,619	1,137	0,292	0,355	0,103	0,824	2,123

A partir de la resistencia al aplastamiento estimada y de los valores de desplazamientos obtenidos anteriormente, la norma permite calcular el módulo de aplastamiento inicial ( $K_i$ ), el módulo de aplastamiento ( $K_s$ ) y el módulo de aplastamiento elástico ( $K_e$ ), usando las ecuaciones (6),(7) y (8).

Los valores de módulos de aplastamiento para la dirección paralela a la fibra se muestran en la Tabla 5 y en la Tabla 6 se visualizan los valores de módulos para la dirección perpendicular.

<b>Tabla 5:</b> Módulos de Aplastamiento para Ensayo Paralelo a las Fibras			<b>Tabla 6:</b> Módulos de Aplastamiento para Ensayo Perpendicular a las Fibras		
$K_i$ (N/mm <sup>3</sup> )	$K_s$ (N/mm <sup>3</sup> )	$K_e$ (N/mm <sup>3</sup> )	$K_i$ (N/mm <sup>3</sup> )	$K_s$ (N/mm <sup>3</sup> )	$K_e$ (N/mm <sup>3</sup> )
33,75	33,31	115,49	42,61	34,96	120,61

### 3.3 Comparación de los valores experimentales con el Reglamento CIRSOC 601

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. Estos valores se presentan en la Tabla 11.3.2 de página 73 de las National Design Specification For Wood Construction. Esta tabla es de particular importancia ya que fue adoptada como base para la confección de la Tabla S.4.1.1-1. incluida en el Suplemento 4 del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601, la cual permite estimar la resistencia al aplastamiento de referencia de la madera en N/mm<sup>2</sup>, para uniones con elementos de fijación tipo clavija sometidas a carga lateral.

El valor de la gravedad anhidra 5 % percentil de la madera ensayada se determinó de acuerdo a lo expresado en el Reglamento CIRSOC 601, partiendo de la gravedad específica a un determinado contenido de humedad  $G_{mc}$ , a partir de la siguiente fórmula:

$$G = \frac{G_{mc}}{(1 + mc) - 0.84 \cdot mc \cdot G_{mc}} \quad (9)$$

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

El valor de la gravedad anhidra 5% percentil para el Álamo, *Populus deltoides Australiano 129/60* resultó de 336,5 Kg/m<sup>3</sup>, 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  $D \geq 6,35$  mm y se interpoló entre los valores de densidad 0,33 y 0,34 g/cm<sup>3</sup>. Para los valores de resistencia de aplastamiento perpendicular a las fibras se realizó una primera interpolación entre los diámetros  $D= 6,35$  mm y  $D= 7,94$  mm para obtener los valores correspondientes a un perno de diámetro 7 mm y luego se efectuó una nueva interpolación entre las densidades 0,33 y 0,34 g/cm<sup>3</sup> para obtener los valores definitivos. Los valores se indican en la Tabla 7 renglón 3 y resultaron de 25,96 N/mm<sup>2</sup> y de 16,60 N/mm<sup>2</sup> para la dirección paralela y perpendicular, respectivamente.

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. El Reglamento CIRSOC 601 presenta un coeficiente de ajuste  $C_D$  por duración de la carga y sus valores están presentados en la Tabla 4.3-2. del Capítulo 4.

En el CIRSOC 601, la duración de la carga es considerada normal cuando el material 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 que se afecte el coeficiente de seguridad adoptado. Para cargas de distinta duración a la normal, se deben afectar las tensiones de diseño de referencia con los valores de  $C_D$ , con el fin de tener en cuenta el cambio en la resistencia del material en función del tiempo de actuación de la carga.

En acuerdo a lo expuesto y dado que los ensayos de resistencia al aplastamiento tienen una duración aproximada de 10 minutos, los valores obtenidos se afectaron con un factor de corrección  $C_D = 1,6$ . En la Tabla 7 se indican los valores comparativos.

**Tabla 7 : Comparación de valores de Resistencia al Aplastamiento**

PARÁMETROS	Unidad	$f_h //$	$f_h \perp$
Resistencia Experimental 5 % percentil (Duración 10 minutos)	N/mm <sup>2</sup>	24,54	14,67
Resistencia Experimental Corregida con $C_D=1,6$ (Duración 10 años)	N/mm <sup>2</sup>	15,34	9,17
Resistencia calculada según CIRSOC 601	N/mm <sup>2</sup>	25,96	16,60
Relacion entre Valor Exp. Corregido y valor de CIRSOC 601	%	59%	55%

$f_h //$  : Resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra.

$f_h \perp$  : Resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra.

Se puede apreciar 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 calculados aplicando la metodología dada por el Reglamento CIRSOC 601.

### 3.4 Comparación de valores obtenidos experimentalmente para distintas especies y los dados por el CIRSOC 601.

El cálculo experimental de la resistencia al aplastamiento en las direcciones paralela y perpendicular a las fibras con elemento de fijación rígido tipo clavija ya fue motivo de estudios en otras especies. En particular, para el *Eucalyptus grandis* Sosa Zito et al (2012b), para la *Araucaria Angustifolia*, Guillaumet et al (2010) y para el Híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, Manavella et al (2012). En estos dos últimos trabajos mencionados, también se efectuó la comparación de los resultados obtenidos con los dados por

las NDS 2005.

En los trabajos del Híbrido y de la Araucaria se usaron pernos de 7 mm y 12 mm respectivamente, en el caso del Eucalyptus grandis, se utilizó como elemento de unión clavo liso de diámetro 5,5 mm. En el caso del Eucalyptus grandis se considera un único valor de resistencia al aplastamiento ya el CIRSOC 601 establece que para diámetros de clavija menor a 6,35 mm la fuerza de aplastamiento es independiente de la dirección de las fibras y del diámetro.

En la Tabla 8 se muestra una comparación entre la Araucaria Angustifolia, el Híbrido, el Eucalyptus grandis y el Álamo.

Se puede observar que para el Álamo y el Híbrido var. Hondurensis, especies que presentan densidades anhidras prácticamente idénticas, los valores obtenidos para la relación entre el valor experimental corregido y el dado por el CIRSOC 601 son similares, variando entre el 55% y el 61%.

A su vez, para la Araucaria y el Eucalyptus grandis, especies que también presentan densidades similares entre ellas pero superiores a las otras dos especies comparadas, los valores obtenidos para la relación entre el valor experimental corregido y el dado por el CIRSOC 601 también resultan similares, del orden del 85%.

**Tabla 8 :** Comparación entre especies

PARÁMETROS	Unidad	Pino Paraná		Eucalyptus	Híbrido		Álamo	
		$f_h //$	$f_h \perp$	$f_h$	$f_h //$	$f_h \perp$	$f_h //$	$f_h \perp$
Densidad anhidra	Kg/m <sup>3</sup>	371,6		375,0	337,0		336,5	
Resistencia Experimental 5 % Percentil (Duración 10 minutos)	N/mm <sup>2</sup>	38,51	20,33	21,30	23,19	16,39	24,54	14,67
Resistencia Experimental Corregida con Cd=1,6 (Duración 10 años)	N/mm <sup>2</sup>	24,07	12,71	13,31	14,50	10,25	15,34	9,17
Resistencia calculada según CIRSOC 601	N/mm <sup>2</sup>	28,71	14,95	16,29	25,97	16,69	25,96	16,60
Relacion entre Valor Exp. Corregido y valor de CIRSOC 601	%	84%	85%	82%	56%	61%	59%	55%

$f_h //$  : Resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra.

$f_h \perp$  : Resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra.

#### 4.- CONCLUSIONES.

La resistencia característica al aplastamiento paralelo a las fibras 5% percentil para la madera de álamo "Populus deltoides Australiano 129/60" procedente del Delta del Paraná, Argentina es de 24,54 N/mm<sup>2</sup>.

La resistencia característica al aplastamiento perpendicular a las fibras 5% percentil para la madera de álamo "Populus deltoides Australiano 129/60" procedente del Delta del Paraná, Argentina es de 14,67 N/mm<sup>2</sup>.

Las deformaciones en la dirección paralela a las fibras para la tensión de aplastamiento característica resultaron del orden del 20% de la deformación de rotura.

Las deformaciones en la dirección perpendicular a las fibras para la tensión de aplastamiento característica resultaron del orden del 40% de la deformación de rotura.

Para el Álamo, los resultados experimentales de la resistencia al aplastamiento, corregidos por el factor de duración de la carga son del orden de 55% al 59% de los valores determinados a partir de la metodología establecida por el Reglamento CIRSOC 601.

Para el Híbrido Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. Hondurensis y para el Álamo "Populus deltoides Australiano 129/60", especies con densidades similares del orden de los 337 Kg/m<sup>3</sup>, los resultados experimentales de la resistencia al aplastamiento muestran valores entre el 55% y el 61% de los valores dados en el CIRSOC 601.

Para el Eucalyptus grandis y para la Araucaria Angustifolia, especies con densidades entre 370 y 375 Kg/m<sup>3</sup>, los resultados experimentales de la resistencia al aplastamiento muestran valores entre el 82% y el 85% de los valores dados en el CIRSOC 601.

La comparación entre los valores dados por el CIRSOC 601 y los obtenidos experimentalmente para distintas especies sugiere que a medida que la densidad de la especie aumenta los resultados obtenidos experimentalmente se acercan a los valores calculados según el CIRSOC 601, debería avanzarse en este sentido, estudiando otras especies de diferentes densidades para verificar esta tendencia.

## **5.- AGRADECIMIENTOS.**

A los alumnos, becarios y graduados de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional que participaron activamente del grupo GIDEC, colaborando con los ensayos.

## **6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas, NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira, revisão ABNT NBR 7190. Brasil.2011
- 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 383:2007.
- Agencia Española de Normalización y Certificación (2010). Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. UNE-EN 384:2010.
- 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. UNE-EN 408:2011.
- 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.
- European Committee for standardization (2005) Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. EN 1995-1-1 (2005), Brussels.
- 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.
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles. (2011). Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. CIRSOC 601. Buenos Aires.
- International Organization for Standardization (1975). Wood. Determination of moisture content for physical and mechanical tests. ISO 3130 (1975).
- International Organization for Standardization (1975). Wood. Determination of density for physical and mechanical tests. ISO 3131 (1975).
- 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.
- 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
- Sosa Zitto, M.A; Dr. Ing. Rougier, V.C; Dr. Ing. Piter, J.C.(2012). Análisis comparativo de los resultados de un programa de ensayos sobre uniones ejecutadas con clavos de pequeño diámetro y el criterio de diseño del proyecto CIRSOC 601. 22º Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Buenos Aires . Argentina.

Sosa Zitto M.A., Köhler J., Piter JC. (2012). Embedding strength in joints of fast-growing Argentinean *Eucalyptus grandis* with dowel-type fasteners. Analysis according to the criterion adopted by European standards. *European Journal of Wood and Wood Products*. Volume 70. Number 4. ISSN 0018-3768.