

Resistencia al Aplastamiento en Madera de Álamo para Uniones Mecánicas de Diámetro 5 mm.

Zorrilla, Lautaro; Lombardo, Gianluca; Carboni, Francisco; Cichero, Renso;

lautazorri@gmail.com ; gianlombardo.junin@gmail.com; carbonifrancisco@gmail.com ;

r.cichero@outlook.com.

Escuela de Tecnología.

Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Resumen.

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 propone 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 Álamo, *Populus deltoides* clones 'Australiano 129/60' y "Stoneville 67" procedente de bosques implantados en la localidad de Morse, al Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, y se analizó la correlación entre la resistencia al aplastamiento y la densidad anhidra. Se efectuaron 98 ensayos de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 383:2007, 64 en la dirección paralela a las fibras y 34 en dirección perpendicular, se utilizaron pernos rígidos de 5 mm. Los resultados obtenidos muestran que la resistencia en la dirección paralela es ligeramente superior (7 %) a la obtenida para la dirección perpendicular, 24,8 N/mm² versus 23,0 N/mm². Los valores experimentales son inferiores a los propuestos por el CIRSOC 601, en un 5 % para la dirección paralela y en un 17 % para la dirección perpendicular.

Palabras clave: *resistencia al aplastamiento, álamo, clavija.*

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 elliotii* de Misiones y Corrientes, *Eucalyptus grandis* de la Mesopotamia y *Populus deltoides* 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 “Fe”, 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 National Design Specification, 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.

Dado que resulta muy difícil distinguir, en la madera aserrada de *Populus deltoides*, entre los clones “Australiano 129/60” y “Stonville 67”, y que comercializan sin rotular, la norma IRAM 9662/4 los trata en conjunto.

2. Objetivos

Determinar la resistencia al aplastamiento para la madera de *Populus deltoides*, clones “Australiano 129/60” y “Stoneville 67” procedente del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, en las direcciones paralela y perpendicular a las fibras, para un pasador rígido de 5 mm de diámetro y realizar una comparación de los resultados experimentales con los valores dados en el Suplemento 4 del Reglamento Argentino CIRSOC 601.

3. Materiales y Métodos

3.1 Material de ensayo, confección y preparación de probetas.

El “Establecimiento Forestal San José” de la localidad de Morse (Junín - Buenos Aires) perteneciente a la firma Urionagüena Hnos. e Hijos S.H cuenta con más de 700 has plantadas con álamos. Se realizó la selección de individuos en rodales de álamo de 15 a 17 años de edad, para el clon *Populus deltoides* “Australiano 129/60” se tomaron trozas ya cortadas en la plantación y para el clon “Stoneville 67” se seleccionaron en forma aleatoria y representativa árboles. Las trozas se aserraron en tablas de 1” x 4” y 2,20 m de longitud, que se almacenaron en condiciones controladas de humedad (65 ± 5) % y temperatura (20 ± 2) °C. A partir de dichas tablas se confeccionaron las probetas libres de defectos para ensayar de acuerdo a la norma UNE-EN 383:2007. En la Figura 1-a y 1-b y la Tabla 1 se presentan los detalles y las dimensiones de las probetas para un perno de 5 mm

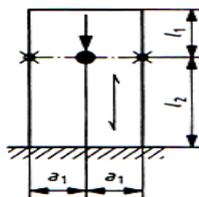


Figura 1-a: Dimensiones de las probetas para aplicación de carga paralela a las fibras

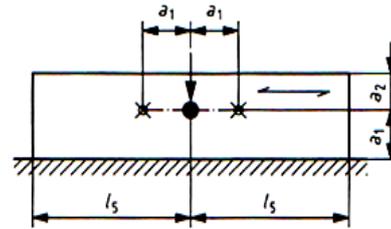


Figura 1-b: Dimensiones de las probetas para aplicación de carga perpendicular a las fibras

Tabla 1: Dimensiones de las probetas según diámetro

Parametros (*)	a1	a2	l1	l2	l5
Medidas (**)	5 D	5 D	7 D	7 D	20 D
D (mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
	5	25	25	35	35
					100

(*) 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 5 milímetros de diámetro. 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. 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 muestra el diámetro de perno utilizado y la relación entre el espesor de la probeta y el diámetro del pasador.

Tabla 2: Relación espesor/diámetro

D (mm)	espesor (mm)	relación t/D --
5	20	4

(t) : Espesor de la probeta en mm

(D) : diámetro del perno o pasador en mm

3.2 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.

La alineación del dispositivo de ensayos con el plato de aplicación de la carga se realizó con un nivel laser para garantizar la linealidad de la aplicación de la carga con el eje neutro de la probeta, evitándose así los efectos de flexión compuesta que podrían alterar los resultados.

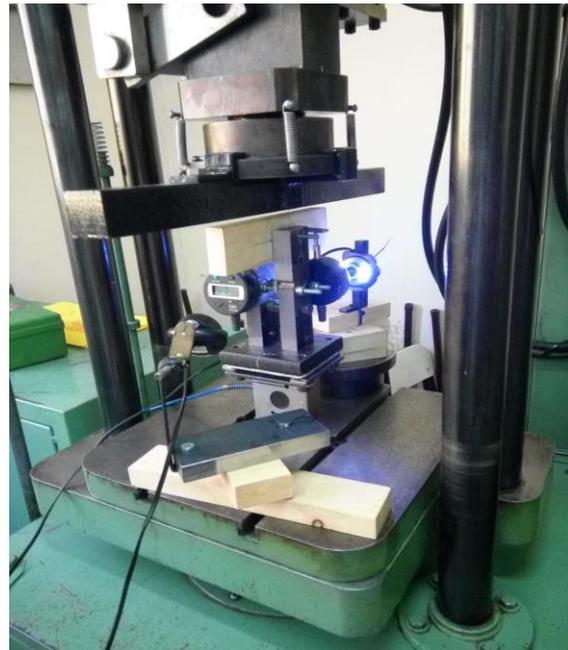


Figura 2-a: Dispositivos de ensayo.



Figura 2-b: Dispositivos de medición.

Las Figuras 2-a y 2-b muestran la disposición de las probetas en la máquina de ensayos. En la foto 2-a se visualiza la celda de carga en la parte inferior, y los dispositivos de ensayo y de medición para el ensayo perpendicular a las fibras. En la

foto 2-b se muestra un detalle de los dispositivos de ensayo y medición de deformaciones para el ensayo paralelo a las fibras.

3.3 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 milímetros.

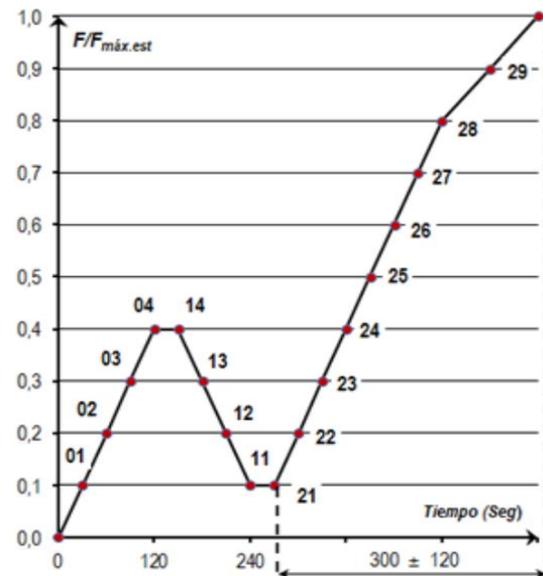


Figura 3: Procedimiento de carga

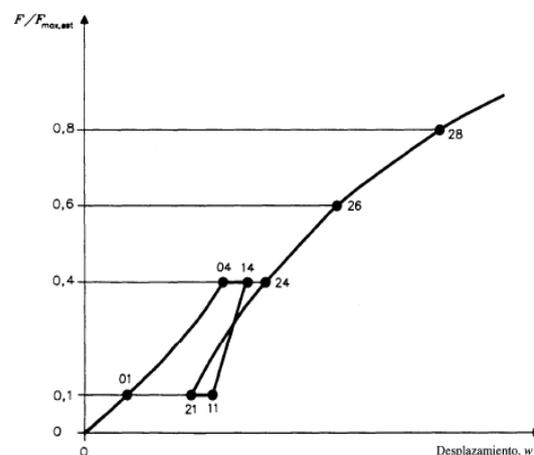


Figura 4: Diagrama ideal de Fuerza/Desplazamiento y puntos de medición.

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.

Por último se procesan los datos obtenidos mediante planillas de cálculos y procedimientos matemáticos.

4 Resultados y Discusión.

4.1 Determinación de la resistencia al aplastamiento.

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

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

Donde:

f_h : Resistencia al aplastamiento en N/mm²

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

d : Diámetro del perno, en mm.

t : Espesor de la probeta, en mm.

En la Tabla 3 se muestran los valores de resistencia al aplastamiento

en la dirección paralela y perpendicular a las fibras para perno de diámetro 5 milímetros y para el total de las probetas ensayadas.

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

PARÁMETROS	f_h Paralela	f_h Perpendicular
Promedio (N/mm ²)	32,02	32,21
Mínimo (N/mm ²)	23,09	21,15
Máximo (N/mm ²)	42,83	47,76
Percentil 5% (N/mm ²)	24,82	23,03
Cant. Probetas	56	34
COV (%)	15,0	22,9

f_h : Tensión de aplastamiento

Se observa que los resultados marcan una mayor resistencia al aplastamiento en la dirección paralela, con un valor 7,21 % mayor que para la dirección perpendicular.

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

En la Tabla 4 se muestran los valores de densidad corregidas a la humedad de referencia del 12 %, de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 384:2010.

Tabla 4: Valores de Densidad corregida a la humedad de referencia 12 %.

PARÁMETROS	$\gamma_{12\%}$ Paralela	$\gamma_{12\%}$ Perpendicular
Promedio (Kg/m ³)	442,20	433,39
Mínimo (Kg/m ³)	366,84	368,92
Máximo (Kg/m ³)	545,89	500,65
Percentil 5% (kg/m ³)	377,30	378,81
Cant probetas	56	34
COV (%)	9,8	8,2

$\gamma_{12\%}$: densidad al 12% de humedad

Por provenir de la misma muestra de tablas se obtienen valores similares para la densidad de las probetas de ambas direcciones, la pequeña diferencia solo es atribuible a la variabilidad de la madera.

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 %.

Tabla 5: Coeficientes de Correlación Resistencia-Densidad.

PARÁMETROS	Coef. de Corr.
Correlación Tensión Paralela- $\gamma_{12\%}$	0,709
Correlación Tensión Perpendicular- $\gamma_{12\%}$	0,538

Obteniéndose como ecuación de la regresión lineal:

Paralelo: **Tensión = 0,0786 * $\gamma_{12\%}$ - 2,7349**

Perp.: **Tensión = 0,1114 * $\gamma_{12\%}$ - 16,051**

Una correlación tensión-densidad relativamente fuerte se obtuvo para los ensayos paralelos a las fibras con un valor de 0,709. En cambio, para los ensayos de tensión perpendicular se obtuvo un valor de correlación moderado de 0,538.

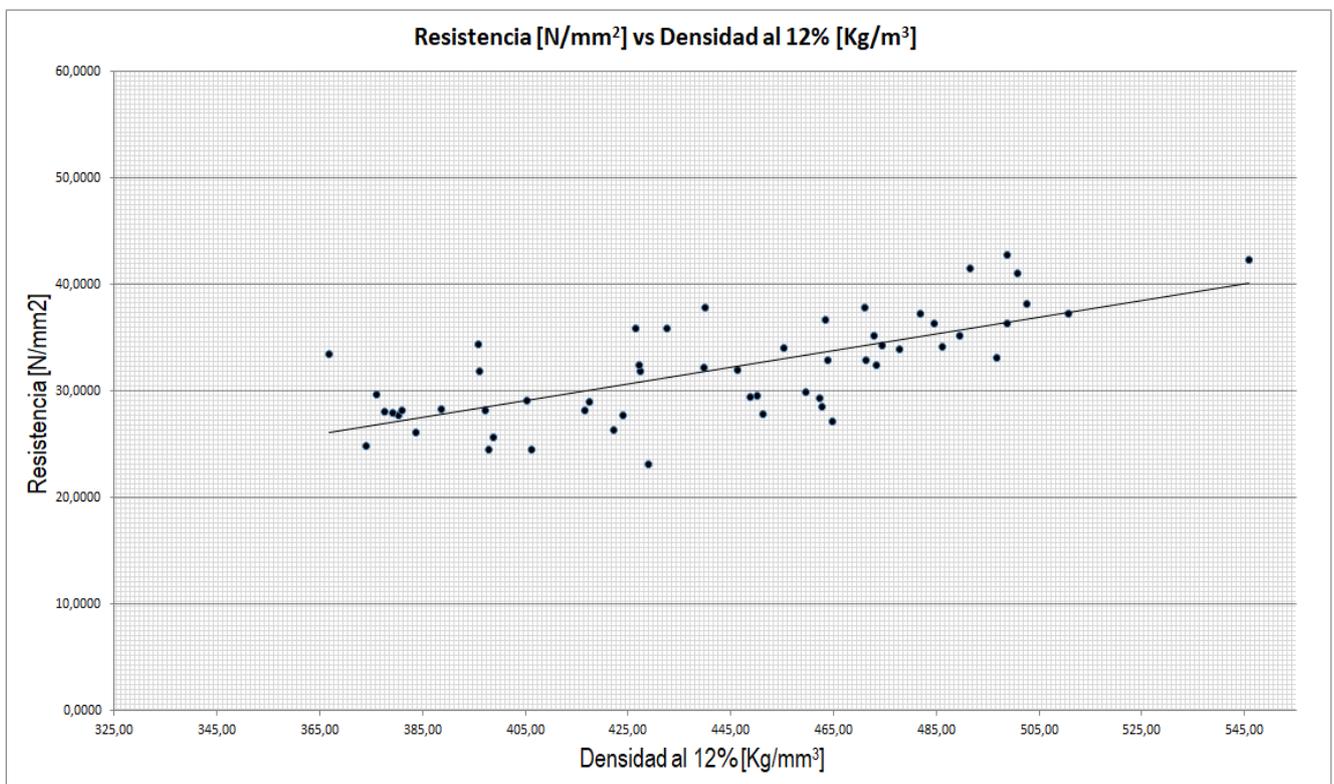


Figura 4-a: Gráfico de correlación para paralela.

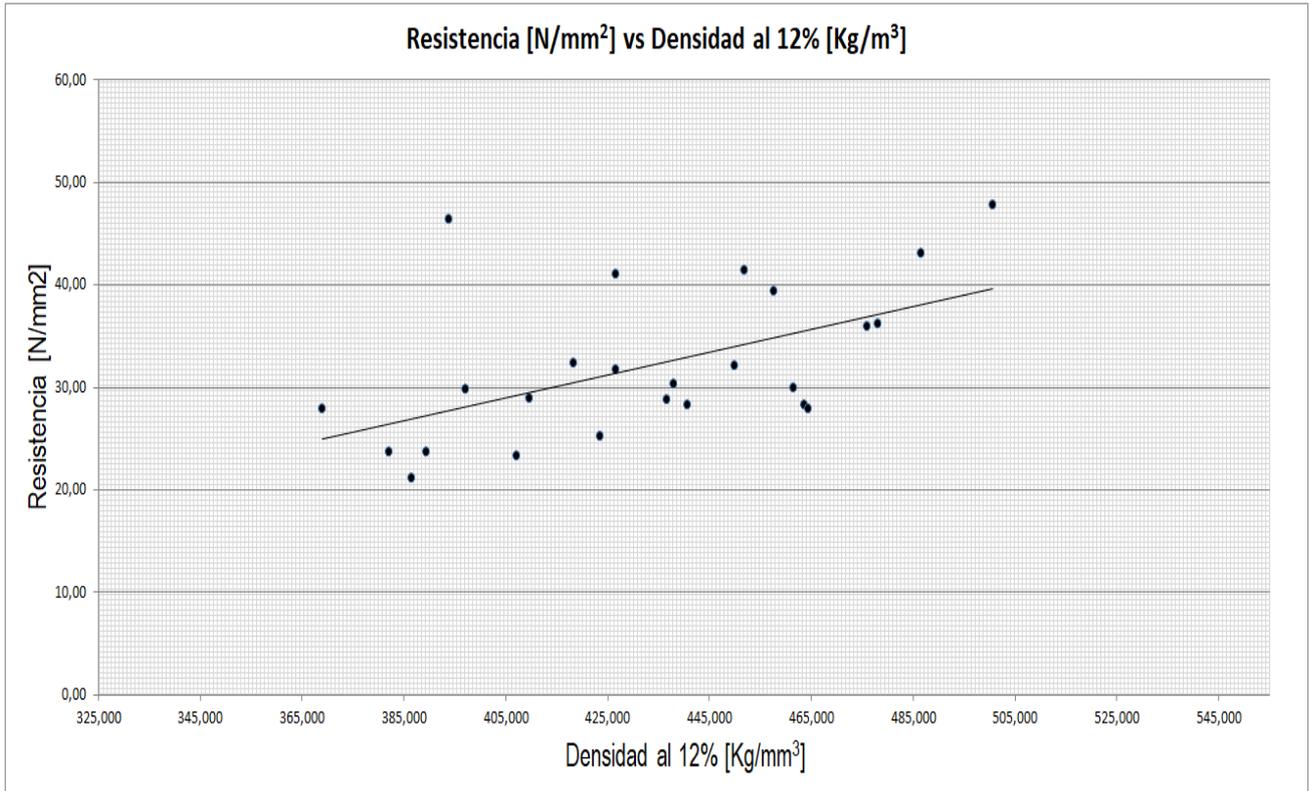


Figura 4-b: Gráfico de correlación para perpendicular.

4.3 Comparación de los Valores experimentales obtenidos con el Reglamento CIRSOC 601.

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, “Fe”, en N/mm², 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.

A partir de la gravedad específica a un determinado contenido de humedad “G_{mc}”, se puede determinar el valor de la gravedad anhidra de la madera ensayada,

usando la fórmula (2), propuesta en el Reglamento CIRSOC 601.

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

Dónde:

G: Densidad Anhidra.

G_{mc}: Gravedad específica a un determinado porcentaje 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 el total de la muestra de las probetas de ensayo paralelo y perpendicular se visualizan en la Tabla 6.

Tabla 6: Valores de Densidad Anhidra según CIRSOC 601.

PARÁMETROS	γ Anhidra Paralela	γ Anhidra Perpendicular
Promedio (Kg/m ³)	406,60	410,94
Percentil 5% (Kg/m ³)	346,55	357,84

γ Anhidra: Relación Peso Volumen sin humedad.

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 "CD" por duración de la carga, el cual está tabulado en el Capítulo 4 Tabla 4.3-2.

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 CD=1,6 para hacerlos comparables con los resultados obtenidos usando el Reglamento.

4.4 Cálculo de la resistencia al aplastamiento paralelo 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 5 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 (3):

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

Dónde:

Fe: Resistencia al aplastamiento de referencia en N/mm².

G: Valor característico (5 %) de la densidad específica anhidra en kg/dm³.

En la Tabla 7 se presentan los valores de resistencia al aplastamiento calculados según CIRSOC, además se añaden los valores obtenidos experimentalmente incluyendo el valor corregido por el factor de duración de carga CD=1,6 y la relación entre valores.

Tabla 7: Comparación de los valores de resistencia al aplastamiento paralelo según CIRSOC 601 y experimental.

PARÁMETROS	f_n	UNIDAD
Resistencia propuesta por CIRSOC	16,28	N/mm ²
Resistencia experimental 5% percentil (10 min)	24,82	N/mm ²
Res. Exp. Corregida con CD=1,6 (a 10 años)	15,52	N/mm ²
Relacion entre Exp. Corregido y CIRSOC 601	95,31%	%

En la Tabla se observa que la relación entre los valores experimentales corregidos a una carga de duración 10 años y los dados por el Reglamento para

diámetro de 5 mm está en 95,31%, lo cual implica que el valor tabulado es ligeramente superior al obtenido de manera experimental mediante ensayos para los clones implantados en el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

4.5 Cálculo de la resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra.

Como ya se mencionó 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 del elemento de fijación. Por lo tanto, el valor de la resistencia al aplastamiento perpendicular para el pasador de diámetro 5 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).

Se presentan en la Tabla 8 los valores de resistencia perpendicular calculados y se muestran además, los resultados experimentales sin corregir y corregidos por el factor de duración de la carga $CD=1,6$ y la relación entre los valores.

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

PARÁMETROS	f_h	UNIDAD
Resistencia propuesta por CIRSOC	17,27	N/mm ²
Resistencia experimental 5% percentil (10 min)	23,03	N/mm ²
Res. Exp. Corregida con $CD=1,6$ (a 10 años)	14,39	N/mm ²
Relacion entre Exp. Corregido y CIRSOC 601	83,35%	%

En contraste con los valores obtenidos con los ensayos realizados en dirección paralela a las fibras se obtiene un valor considerablemente menor de un 83,3 % del indicado por el Reglamento Argentino CIRSOC 601.

5. Conclusiones.

La resistencia característica al aplastamiento, percentil 5 %, en la dirección paralela a las fibras, para la madera de *Populus deltoides*, clones “Australiano 129/60” y “Stoneville 67” procedente del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, determinada de acuerdo a las prescripciones de la Norma UNE-EN 383:2007, en uniones mecánicas de diámetro 5 milímetros es de 24,82 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*, clones “Australiano 129/60” y “Stoneville 67” procedente del Noroeste de la Provincia

de Buenos Aires, Argentina, para uniones mecánicas de diámetro 5 milímetros es de 23,03 N/mm², para una duración de la carga de 10 minutos.

Los resultados obtenidos experimentalmente para la resistencia al aplastamiento paralelo y perpendicular a las fibras presentan poca diferencia entre sí (7,21 %), coincidente con lo establecido en el reglamento CIRSOC 601 que afirma que para diámetros menores a 6,35 mm no influye la dirección de las fibras.

Los valores experimentales son inferiores a los propuestos por el CIRSOC 601, en un 5 % para la dirección paralela a las fibras y en un 17 % para la dirección perpendicular a las fibras.

Resulta necesario continuar con los ensayos para distintos diámetros de perno y de esa manera generar una base de datos amplia y confiable para complementar y reforzar los datos establecidos en el Reglamento Argentino CIRSOC 601 para uniones mecánicas en elementos estructurales de madera. Todo ello en pos de obtener, la inclusión en el Reglamento CIRSOC 601 los valores de propiedades mecánicas de maderas de *Populus deltoides* provenientes del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires para su uso como estructuras.

6. Bibliografía.

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.

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.

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.

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.

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.

7. Agradecimientos.

A los alumnos, becarios 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.

A la EEST N°1 Antonio Bermejo, Escuela de Educación Secundaria Técnica N°1 de Junín, y al LEMEJ, Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras Junín, por facilitar sus instalaciones para realizar ensayos.

A los docentes investigadores intervinientes en el proyecto, de UTN FRVT, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto, por su apoyo en el desarrollo de los ensayos realizados.

A la firma Urionagüena Hnos. e Hijos S.H por proveer las maderas para realizar los ensayos.