

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN MADERA DE PINUS ELLIOTTII Y DE EUCALYPTUS GRANDIS

DETERMINATION OF THE EMBEDMENT STRENGTH IN WOOD OF PINUS ELLIOTTII AND EUCALYPTUS GRANDIS

Manavella Roberto D.; Guillaumet Alfredo A.; Filippetti M. Cecilia; Meyer Lía C.
UTN Facultad Regional Venado Tuerto. Argentina. Email: rdmvt@yahoo.com

RESUMEN

En el cálculo de estructuras de madera, la capacidad portante de las uniones, resulta de vital importancia para garantizar la seguridad estructural del conjunto. El parámetro imprescindible para su determinación es el valor de la resistencia al aplastamiento de la madera utilizada. El INTI-CIRSOC 601 especifica valores en función de la gravedad anhidra de la madera y del diámetro del elemento de unión. Valores que por provenir de las NDS 2005 deben ser verificados para maderas de uso estructural en Argentina. En este trabajo se ha determinado la resistencia al aplastamiento para madera de *Pinus elliottii* y de *Eucalyptus grandis* procedentes de bosques implantados. Se realizaron 224 ensayos de acuerdo a la norma UNE-EN 383:2007, utilizando perno rígido de diámetro 7 mm, 118 en la dirección paralela a la fibra y 106 en la dirección perpendicular. La resistencia característica al aplastamiento percentil 5 %, para la dirección paralela y perpendicular, respectivamente, fueron: de 15,6 N/mm² y de 11,3 N/mm² para el *Pinus elliottii*, y de 24,6 N/mm² y de 14,4 N/mm² para el *Eucalyptus grandis*. En línea con estudios anteriores, los valores obtenidos son inferiores a los propuestos en el Reglamento Argentino, variando entre un 60% y un 73%. Se está avanzando en ampliar la base de ensayos a más especies y procedencias a fin de proponer nuevos valores para el CIRSOC 601 o validar los existentes.

ABSTRACT

*In the calculation of wooden structures, the bearing capacity of the joints is of vital importance to guarantee the structural safety of the whole. The essential parameter for its determination is the value of the embedment strength of the wood used. The Regulation CIRSOC 601 specifies crushing resistance values based on the anhydrous gravity of the wood and the diameter of the bolt. These values must be verified for wood for structural use in Argentina. In this work, the values of the embedment strength were determined for wood of *Pinus elliottii* and *Eucalyptus grandis* coming from implanted forests. 224 tests were performed in accordance with UNE-EN 383 using a rigid bolt with a diameter of 7 mm, 118 in the direction parallel to the grain and 106 in the perpendicular direction. The results obtained for characteristic embedment strength percentile 5%, for the parallel and perpendicular direction, respectively, were: 15.6 N/mm² and 11.3 N/mm² for *Pinus elliottii*, and 24.6 N/mm² and of 14.4 N/mm² for *Eucalyptus grandis*. In line with previous studies, the values obtained are lower than those proposed in CIRSOC 601, for these species and bolt diameter, varying between 60% and 73%. Progress is being made to expand the testing base to more species and provenances in order to propose new values for CIRSOC 601 or validate existing ones.*

INTRODUCCIÓN

En el cálculo de estructuras de madera, la capacidad portante de las uniones, resulta de vital importancia para garantizar la seguridad estructural del conjunto. Uno de los parámetros principales para su determinación es el valor de la resistencia al aplastamiento de la madera utilizada.

El Eurocódigo 5⁽¹⁾ parte del valor característico de la tensión al aplastamiento de la madera, de los valores característicos de la resistencia a la extracción y del momento plástico del elemento de unión. La norma brasileña NBR 7190⁽²⁾, indica en su capítulo "Ligações com pinos metálicos", que los parámetros básicos para el cálculo de una unión, son la resistencia al aplastamiento de la madera y la resistencia de cálculo a fluencia del elemento de unión. El Reglamento Argentino de estructuras de madera CIRSOC 601⁽³⁾, necesita, como datos básicos, 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.

Cuando no se tienen valores de resistencia de aplastamiento de la especie utilizada, el Reglamento Argentino presenta, en la Tabla S.4.1.1-1, valores 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 y del diámetro del elemento de unión utilizado. Esta tabla es transcripción de la publicada en las National Design Specification for Wood construction, NDS 2005⁽⁴⁾, como tabla 11.3.2, y continúa en vigencia como tabla 12.3.3. en las nuevas NDS 2018⁽⁵⁾. Dado que estos valores son de especies y procedencias foráneas, los mismos deben ser determinados para maderas de uso estructural provenientes de bosques implantados de Argentina. Estos estudios aportan a la reducción del evidente déficit de información existente en nuestro país, en particular de aquella necesaria para completar los suplementos del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera con valores de diseño de referencia propios y confiables.

Existen trabajos de investigación previos sobre diferentes especies de madera donde se han calculado los valores de resistencia al aplastamiento experimentales y se han comparado con los dados por el Reglamento Argentino, observándose que los resultados de los ensayos experimentales difieren sensiblemente de los valores de referencia indicados por el CIRSOC 601, reforzando la necesidad de establecer valores ciertos para la madera procedente de especies argentinas de reforestación de rápido crecimiento.

Entre estos trabajos se pueden enumerar algunos con madera de álamo: (Manavella et al, 2014)⁽⁶⁾, (Manavella et al, 2016)⁽⁷⁾, (Manavella et al, 2017)⁽⁸⁾, otros sobre *Eucalyptus grandis*, (Sosa Zitto, 2015)⁽⁹⁾ y otro sobre un híbrido de *Pino elliotii*, (Manavella et al, 2012)⁽¹⁰⁾. También se han realizado trabajos con madera de *Araucaria angustifolia* usando pasadores rígidos (Guillaumet et al, 2010)⁽¹¹⁾ y pasadores deformables (Guillaumet et al, 2010)⁽¹²⁾ y algunas comparaciones de diferentes especies con el Reglamento Argentino, (Manavella et al, 2018)⁽¹³⁾;

Por otra parte, el estudio de la correlación existente entre la resistencia al aplastamiento y la densidad de la madera ha sido abordada en innumerables trabajos de investigación que han confirmado la hipótesis de que a mayor densidad de la

madera mayor resistencia al aplastamiento. Otras investigaciones se han volcado al estudio de la influencia del diámetro del elemento de fijación sobre la resistencia al aplastamiento paralela y perpendicular y se ha verificado que para la dirección paralela no se manifiestan variaciones significativas, mientras que, para la dirección perpendicular, a medida que aumenta el diámetro, disminuye la resistencia. En su trabajo sobre *Picea jezoensis* y *Abies sachalinensis*, madera de densidad media aproximada de 400 kg/m^3 , Sawata K. et al (2002) (14), indica que existe una correlación significativa entre la resistencia al aplastamiento y la densidad, para diámetros de pasadores de 8, 12, 16 y 20 mm. En ese trabajo comenta también que, para ensayos realizados bajo norma EN 383, el valor de la resistencia paralela a la fibra es apenas influenciado por el diámetro de la clavija, en tanto que, para la dirección perpendicular, aunque también afecta poco, se observa una disminución de la resistencia a medida que aumenta el diámetro.

El objetivo del presente trabajo es determinar la resistencia al aplastamiento en madera de *Pinus elliottii* y de *Eucalyptus grandis*, de acuerdo a la norma UNE-EN 383:2007 (15), en la dirección paralela y perpendicular a la fibra, usando elemento de fijación rígido tipo clavija de 7 mm de diámetro y comparar los resultados obtenidos experimentalmente con los valores de referencia propuestos en la Tabla S.4.1.1-1. del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Este análisis nos permitirá corroborar o desestimar las tendencias observadas en publicaciones anteriores en cuanto a que los valores establecidos por el CIRSOC 601 están sobrevaluados conduciendo al cálculo de uniones inseguras.

MATERIAL DE ENSAYO Y MÉTODO.

Material de ensayo.

Para los ensayos se ha utilizado madera de Pino Elliotti (*Pinus elliottii*) y madera de Eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*) provenientes de bosques implantados de la Provincia de Misiones, Argentina.

La madera fue seleccionada y preparada en origen en lotes de 100 tablas de cada especie de $1" \times 4" \times 2,5 \text{ m}$ de largo y enviada al Laboratorio de la UTN Facultad Regional Venado Tuerto donde se acopió y acondicionó para su posterior uso. En todos los casos el proveedor ha garantizado el origen y la trazabilidad de la madera y ha aportado la información acerca del tratamiento de silvicultura aplicado en cada caso. La preparación de la madera se inició con un canteado y cepillado en ambas caras hasta las dimensiones necesarias según norma, y se siguió con una clasificación y selección separando el material libre de defectos para la confección de las probetas. La geometría y las dimensiones de los cuerpos de prueba se ajustan a lo establecido en la norma UNE-EN 383:2007. Para ambas direcciones de la fibra se confeccionaron probetas de 24 mm de espesor, siendo las dimensiones de las probetas paralelas de $24 \times 42 \times 98 \text{ mm}$ y las de las probetas perpendiculares de $24 \times 70 \times 280 \text{ mm}$. Las piezas se almacenaron en cámara controlada para su estabilización, a una temperatura de $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa ambiente de $(65 \pm 5) \%$. La totalidad de los ensayos se ejecutaron de acuerdo a las directivas de la norma UNE-EN 383:2007. Se ha usado como elementos de fijación pernos rígidos de acero

trefilado de 7 mm de diámetro. La relación de esbeltez es de 3,28 aproximadamente, cumpliendo con la condición de “elemento de fijación rígido” exigida por la norma, que establece que el espesor de la pieza (t) debe ser de 1,5 a 4 veces el diámetro de perno.

En la figura 1 se muestran las probetas de *Eucalyptus grandis*, en tanto que en la figura 2 se visualizan las probetas de *Pinus elliottii*.

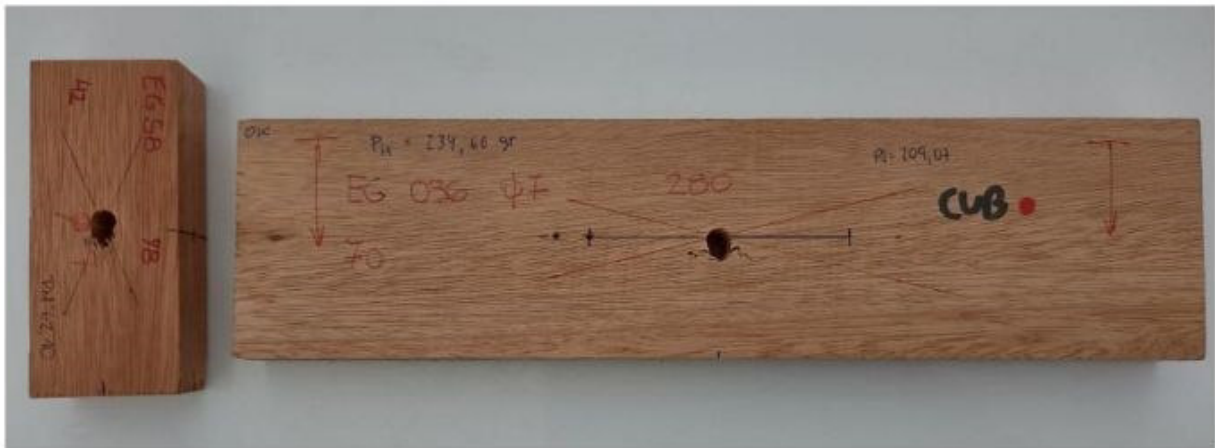


Figura 1: Probetas de *Eucalyptus grandis*

Para la colocación del perno se realizó un pre-taladrado de diámetro 7,25 mm. La perforación se ejecutó en una perforadora de banco a fin de asegurar la perpendicularidad entre el eje de la clavija y la cara de la probeta. Se confeccionaron un total de 224 probetas, 118 para ensayar en la dirección paralela a las fibras y 106 para la dirección perpendicular.



Figura 2: Probetas *Pinus elliottii*.

Equipo y dispositivos

La carga se aplicó con un cilindro hidráulico instalado en un marco de cargas accionado con una central hidráulica con control de velocidad. La medición de la carga se realizó con una celda de carga de 10 kN de capacidad interpuesta entre el cilindro y el dispositivo. Las deformaciones fueron medidas usando dos relojes comparadores digitales "Mitutoyo" de rango 0-12,7 mm, y lectura de 0,01 mm, dispuestos simétricamente a cada lado de la probeta. La aplicación de la carga se efectuó a través de dispositivos de diseño propio que evitan desviaciones, excentricidades y fricciones que alteren el fundamento de las pruebas adoptado por la norma UNE-EN 383:2007. Entre el cilindro y el dispositivo de ensayo se interpuso una rótula para garantizar la perpendicularidad de la aplicación de la carga.

Previo al ensayo, se aseguró que la probeta estuviera colocada simétricamente en el dispositivo. Las lecturas de carga y deformación se realizaron a través de tres cámaras web, una para cada reloj comparador y una para el lector de la celda de carga. Usando un programa de libre uso se visualizó de manera simultánea en pantalla las cámaras y un cronómetro digital que indicaba el tiempo de ensayo. La imagen de cada escalón de carga se almacenó, previa captura de pantalla con un software apropiado, también de distribución gratuita. A posteriori se transfirieron manualmente los datos extraídos de las imágenes guardadas a una planilla de cálculo para su procesamiento final.

En la Figura 3 se observa una probeta para ensayo perpendicular a la fibra, ubicada en el dispositivo de ensayo. En la parte superior puede verse la celda de carga y la rótula interpuesta y en los laterales se aprecian las cámaras Web para la lectura de los relojes comparadores y ambos relojes en posición.

Procedimiento de carga

La aplicación de la carga se ajusta al procedimiento dado por la norma UNE-EN 383:2007, cuyo desarrollo puede observarse en la Figura 4 donde también se visualizan los puntos donde deben registrarse los desplazamientos. Mediante experiencias previas, cálculo o ensayos preliminares, se debe establecer la carga máxima estimada $F_{m\acute{a}x,est}$, ya que a partir de ese valor se establecen los intervalos de cargas a aplicar en el ensayo. En nuestro caso se ejecutaron ensayos previos a los efectos de determinar el valor de dicha carga. Estableciéndose intervalos de carga, para ambas direcciones de las fibras, de 800 N en el *Eucalyptus grandis* y de 600 N en el *Pinus elliottii*.

El procedimiento de carga consta de dos ciclos. El primer ciclo de carga inicial, que se considera desde el punto "0" hasta el punto "21" de la Figura 4, y consiste en incrementar la fuerza hasta alcanzar el 40% de la carga máxima estimada en un tiempo de 120 segundos, mantener dicho valor durante 30 segundos, descargar hasta el 10 % de la fuerza máxima estimada en un tiempo de 90 segundos y volver a mantener constante ese valor durante 30 segundos. A continuación, se inicia un segundo ciclo, en el punto "21" de la Figura 4, hasta la finalización del ensayo. Este ciclo de carga final consiste en la aplicación de la carga en forma progresiva hasta terminar el ensayo.



Figura 3: Probeta y dispositivos de ensayo

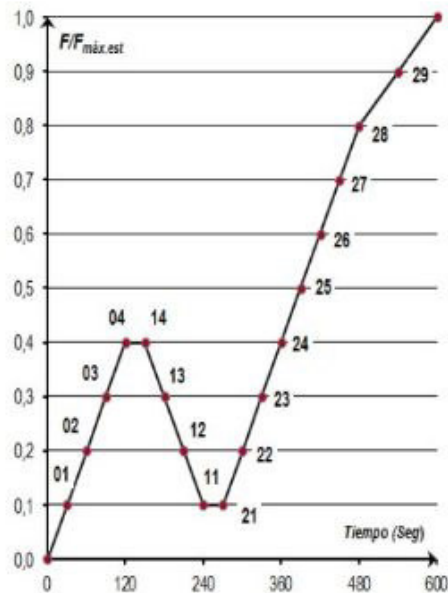


Figura 4: Procedimiento de carga, según UNE-EN 383:2007

El ensayo se detiene cuando se llegó a la carga máxima, por rotura física de la probeta, o cuando la deformación relativa alcanzó un valor de 5 mm. La carga se

aumenta o disminuye con velocidad de deslizamiento constante del cabezal de carga y la fuerza máxima debe alcanzarse en un tiempo de 300 ± 120 segundos a partir de la finalización del ciclo de carga inicial.

Para cada probeta se registró la fuerza aplicada, el tiempo, y las lecturas de los dos comparadores, en cada uno de los puntos indicados en el gráfico de carga.

El contenido de humedad y la densidad se determinaron según las normas ISO 13061-1 (2014) ⁽¹⁶⁾ e ISO 13061-2 (2014) ⁽¹⁷⁾, respectivamente. 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. ⁽¹⁸⁾.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Determinación de la resistencia al aplastamiento.

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

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

f_h : Resistencia al aplastamiento, en N/mm².

$F_{m\acute{a}x}$: 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.

Los valores de resistencia al aplastamiento en la dirección paralela y perpendicular a las fibras para *Eucalyptus grandis* se muestran en la Tabla 1. En la tabla 2 se disponen de los valores correspondientes a los ensayos de *Pinus elliotii*.

PARÁMETROS	UNIDAD	$f_h //$	$f_h \perp$
Percentil 5%	N/mm ²	39,4	23,1
Promedio	N/mm ²	55,3	43,3
Desvío STD	N/mm ²	10,2	11,7
COV %	%	18,5	27,0
Mínimo	N/mm ²	36,9	21,7
Máximo	N/mm ²	81,7	70,0
Nro Probetas	n	55	48
$f_h //$:	<i>Resist al Aplastamiento paralela a la fibra.</i>		
$f_h \perp$:	<i>Resist al Aplastamiento perpendicular a la fibra.</i>		

Tabla 1: Valores de resistencia al aplastamiento paralelo y perpendicular a las fibras de *Eucalyptus grandis*

Para el *Eucalyptus grandis* el valor de la resistencia al aplastamiento percentil 5%, en la dirección paralela a la fibra es de 39,4 N/mm². Los resultados varían desde un mínimo de 36,9 N/mm² hasta un máximo de 81,7 N/mm², con un COV de 18,5 %. Para la dirección perpendicular a la fibra el valor de la resistencia al aplastamiento percentil 5% es de 23,1 N/mm², siendo el menor valor de 21,7 N/mm² y el mayor de 70,0 N/mm², con un COV del 27 %.

En el *Pinus elliottii* el valor de la resistencia al aplastamiento percentil 5%, en la dirección paralela a la fibra es de 25,0 N/mm². Siendo el menor valor de 24,4 N/mm² y el mayor de 52,5 N/mm², con un COV de 18,6 %. Para la dirección perpendicular a la fibra, el valor de la resistencia al aplastamiento percentil 5% es de 18,1 N/mm², con resultados que varían desde un mínimo de 17,2 N/mm² hasta un máximo de 57,4 N/mm², con un COV del 28,5 %.

PARÁMETROS	UNIDAD	fh //	fh ⊥
Percentil 5%	N/mm ²	25,0	18,1
Promedio	N/mm ²	37,1	34,3
Desvío STD	N/mm ²	6,9	9,8
COV %	%	18,6	28,5
Mínimo	N/mm ²	24,4	17,2
Máximo	N/mm ²	52,5	57,4
Nro Probetas	n	63	58
<i>fh //</i> : Resist al Aplastamiento paralela a la fibra.			
<i>fh ⊥</i> : Resist al Aplastamiento perpendicular a la fibra.			

Tabla 2: Valores de resistencia al aplastamiento paralelo y perpendicular a las fibras de Pinus elliottii

Para ambas especies estudiadas se observa que los valores de resistencia al aplastamiento, obtenidos en los ensayos paralelos a las fibras son superiores a los valores de los ensayos perpendiculares y que el COV en la dirección paralela es del orden del 18,5 %, menor que el correspondiente al de la dirección perpendicular que tiene un valor entre el 27% y el 28.5%

Determinación de la densidad 12 % y correlación con la resistencia al aplastamiento.

Los valores de densidad fueron calculados y corregidos a la humedad de referencia del 12% según las indicaciones de la norma UNE-EN 384:2010. Los valores de densidad al 12 %, percentil 5 % son de 471 Kg/m³ para el *Eucalyptus grandis* y de 369 kg/m³ para el *Pinus elliottii*. Los resultados se muestran en la Tabla 3, en ambas especies se aprecia un COV de alrededor del 13 %.

Mediante un análisis de regresión lineal, se estableció la correlación existente entre la resistencia al aplastamiento en cada una de las direcciones y la densidad corregida al 12 %. Se observa una fuerte relación en todos los coeficientes analizados. El menor

valor es de 0,852 para el caso del Pino *elliottii* y el mayor es de 0,929 para el Eucalipto *grandis*, ambos para la dirección paralela a la fibra. Para la dirección perpendicular ambas especies muestran una correlación similar del orden de 0,91. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

PARÁMETROS	UNIDAD	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus elliottii</i>
Percentil 5%	Kg/m ³	471	369
Promedio	Kg/m ³	606	461
Desvío STD	Kg/m ³	80	60
COV %	%	13	13
Mínimo	Kg/m ³	452	338
Máximo	Kg/m ³	808	624
Nro Probetas	n	103	121

Tabla 3: Valores de densidad corregida al 12 %.

PARÁMETROS	Coef. de Correlación	
	E. grandis	P. elliottii
Correlación Tensión Paralela -Densidad 12 %	0,929	0,852
Correlación Tensión Perpendicular -Densidad 12 %	0,910	0,912

Tabla 4: Coeficientes de correlación resistencia-densidad 12 %

Determinación de la densidad anhidra según INTI-CIRSOC 601 (2016)

El Reglamento INTI-CIRSOC 601(2016), permite calcular la densidad Anhidra a partir del valor de la gravedad específica a un determinado contenido de humedad, G_{mc} , el valor en el estado anhidro (madera seca en horno), G , puede obtenerse con la expresión dada en (2):

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

G = Gravedad anhidra

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

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

Los valores de densidad anhidra se calcularon de acuerdo a la fórmula (2) dada por el INTI-CIRSOC 601 (2016), para ambas especies en estudio, obteniendo un valor de densidad anhidra percentil 5 % para el *Eucalyptus grandis* de 439 Kg/m³ y para el *Pinus elliottii* de 340 Kg/m³.

Cálculo de la resistencia al aplastamiento de referencia según CIRSOC 601

Con las ecuaciones dadas por el INTI-CIRSOC 601 (2016), se puede determinar la resistencia al aplastamiento de referencia de la madera (F_e) en N/mm^2 , para uniones con elementos de fijación tipo clavijas sometidas a carga lateral y en la dirección paralela y perpendicular, a partir de la densidad anhidra de la madera y del diámetro del elemento de sujeción. Estos valores se presentan en la Tabla S.4.1.1-1 del Suplemento 4.

Se debe aclarar que el Reglamento Argentino de madera establece que "...Los valores de diseño de referencia para las tensiones, indicados en los Suplementos de este Reglamento, 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 que se afecte el coeficiente de seguridad adoptado.*

De acuerdo con este criterio y a los fines de este Reglamento, esta duración de la carga es considerada normal y, consecuentemente, para esta condición el factor de duración de la carga, C_D , será igual a 1...". La madera tiene la propiedad de soportar cargas máximas sustancialmente mayores cuando éstas actúan durante un tiempo breve. El Reglamento lo contempla a través de un *Factor de duración de la carga (C_D)* 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, se deberían afectar los resultados obtenidos de forma experimental con un factor de corrección por duración de la carga cuyo valor es $C_D=1,6$ para poder efectuar la comparación con los valores de referencia propuestos en el INTI-CIRSOC 601 (2016).

Cálculo de la resistencia al aplastamiento paralela a la fibra y comparación con las establecidas por el INTI-CIRSOC 601 (2016)

El INTI-CIRSOC 601 (2016) establece que, para diámetros de clavija superiores a 6,35 mm, la resistencia al aplastamiento depende de la densidad anhidra y de la dirección de la fibra, estableciendo que para la dirección paralela el valor es independiente del diámetro de la clavija. Para nuestro elemento de fijación de diámetro 7 mm se puede calcular por tabla, interpolando entre densidades o haciendo uso de la fórmula (3) que a continuación se detalla:

$$F_{e//} = 77,2 * G \quad (3)$$

$F_{e//}$: 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 .

En la Tabla 5, se indican los valores de resistencia al aplastamiento de referencia paralelo a las fibras calculados según el Reglamento Argentino, renglón (3), para ambas especies estudiadas y con diámetro de clavija de 7mm. También se muestran los resultados experimentales con duración de carga de 10 minutos, renglón (1), y los valores corregidos a 10 años, es decir, afectados por el coeficiente de duración de la

carga $C_D = 1.6$, renglón (2). En el renglón (4) se observa la relación entre los valores experimentales corregidos y los calculados según CIRSOC.

PARÁMETROS	Unidad	fh //	
		E. grandis	P. elliottii
Resistencia Experimental 5 % Percentil (10 minutos) (1)	N/mm ²	39,4	25,0
Resistencia Experimental Corregida (con $C_d=1,6$ a 10 años) (2)	N/mm ²	24,7	15,6
Resistencia calculada según CIRSOC 601 (de Tabla) (3)	N/mm ²	33,9	26,2
Relacion entre Valor Exp. Corregido y valor de CIRSOC 601 (4)	%	73%	60%

(1) Resist. al Aplastamiento Experimental paralela a la fibra Percentil 5 % (Duracion de carga 10 minutos)
 (2) Resist. al Aplastamiento Experimental paralela a la fibra Percentil 5 % Correg.por duracion de la carga $C_D=1,6$ (Dur. Carga 10 años)
 (3) Resistencia al aplastamiento de Referencia Paralela(Fe), calculada de tabla S. 4.1.1-1CIRSOC 601
 (4) Relacion entre Valor Experimental Corregido con $C_D = 1,6$ (2) y valor de CIRSOC 601 (3)

Tabla 5: Resistencia al aplastamiento paralela a las fibras.
Comparación con INTI-CIRSOC 601 (2016)

Al analizar la relación entre los valores experimentales corregidos y la resistencia calculada según INTI-CIRSOC 601 (2016) se observa que la misma se encuentra entre un 60% para el Pinus elliottii y un 73 % para el Eucalyptus grandis. En ambos casos los valores propuestos por el Reglamento Argentino conducen a un subdimensionamiento de la unión y por lo tanto a inseguridad estructural.

Cálculo de la resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra y comparación con las establecidas por el INTI-CIRSOC 601 (2016).

El INTI-CIRSOC 601 (2016) plantea que para diámetros de perno mayores a 6,35 mm la resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras es función del diámetro del elemento de fijación y de la densidad anhidra. Su valor disminuye al aumentar el diámetro de perno y aumenta al aumentar la densidad. Se calcula a partir de la Tabla S.4.1.1-1. por interpolación entre diámetros y densidades o utilizando la expresión:

$$F_{e\perp} = 212 * G^{1,45} / D^{0,5} \quad (4)$$

$F_{e\perp}$: Resistencia al aplastamiento de referencia perpendicular a la fibra en N / mm².

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

D: Diámetro del perno en mm.

PARÁMETROS	Unidad	fh \perp	
		E. grandis	P. elliottii
Resistencia Experimental 5 % Percentil (10 minutos) (1)	N/mm ²	23,1	18,1
Resistencia Experimental Corregida (con $C_d=1,6$ a 10 años) (2)	N/mm ²	14,4	11,3
Resistencia calculada según CIRSOC 601 (de Tabla) (3)	N/mm ²	22,8	16,9
Relacion entre Valor Exp. Corregido y valor de CIRSOC 601 (4)	%	63%	67%

(1) Resist. al Aplastamiento Experimental perpendicular a la fibra Percentil 5 % (Duracion de carga 10 minutos)
 (2) Resist. al Aplastamiento Experimental perpendicular a la fibra Percentil 5 % Correg.por duracion de la carga $C_D=1,6$ (Dur. Carga 10 años)
 (3) Resistencia al aplastamiento de Referencia perpendicular (Fe), calculada de tabla S. 4.1.1-1CIRSOC 601
 (4) Relacion entre Valor Experimental Corregido con $C_D = 1,6$ (2) y valor de CIRSOC 601 (3)

Tabla 6: Resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras.
Comparación con INTI-CIRSOC 601 (2016)

En la Tabla 6, se indican, para las dos especies estudiadas, los resultados experimentales con duración de carga de 10 minutos, renglón (1), los valores corregidos a 10 años, es decir, afectados por el coeficiente de duración de la carga $C_D = 1,6$, renglón (2), los valores de resistencia al aplastamiento de referencia perpendicular a las fibras calculados según el Reglamento Argentino de Madera, renglón (3) y la relación entre los valores experimentales corregidos y los calculados según CIRSOC, renglón (4).

En este caso, la relación entre los valores experimentales corregidos y la resistencia al aplastamiento perpendicular calculada según CIRSOC nos muestran valores de 63% para el *Eucalyptus grandis* y el 67% para el *Pinus elliottii*. Al igual que para la resistencia paralela indican que de usar los valores de referencias propuestos por el INTI-CIRSOC 601 (2016) se arribaría a un cálculo subdimensionado de la unión y por lo tanto a una estructura no segura.

Comparación de la resistencia al aplastamiento entre el *Pinus elliottii* y el Híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Si se comparan los valores de *Pinus elliottii* obtenidos en este trabajo con los publicados en un trabajo anterior sobre un híbrido de esta especie, de *Manavella et al.* (2012) se pueden observar valores similares. Dicho trabajo fue realizado con madera del Híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de árboles de 10 años implantados en la Localidad de Esperanza, Provincia de Misiones, Argentina. En esa investigación se ensayaron un total de 118 probetas, de 25 mm de espesor y dimensiones idénticas a las de este trabajo, 74 probetas en dirección paralela a la fibra y 44 en dirección perpendicular. Como elemento de fijación, se utilizó un perno rígido de acero trefilado de diámetro 7 mm, lo que nos indica una relación de esbeltez aproximada de 3,5, adecuándose a la condición de perno rígido. Se tomó un valor de 337 Kg/m³ para la gravedad anhidra de ese híbrido. La comparación de valores se observa en la Tabla 7.

PARÁMETROS	Unidad	fh //		fh ⊥		
		P. elliottii	Híbrido P. elliottii	P. elliottii	Híbrido P. elliottii	
Resistencia Experimental 5 % Percentil	(1)	N/mm ²	25,0	23,2	18,1	16,4
Resistencia Experimental Corregida	(2)	N/mm ²	15,6	14,5	11,3	10,3
Resistencia según CIRSOC 601	(3)	N/mm ²	26,2	26,0	16,9	16,7
Relacion Resist. Exp. Corregida / CIRSOC 601	(4)	%	60%	56%	67%	61%

(1) Resist. al Aplastamiento Experimental Percentil 5 % (Duracion de carga 10 minutos)
(2) Resist. al Aplastamiento Experimental Percentil 5 % Correg. por duracion de la carga $C_D=1,6$ (Dur. Carga 10)
(3) Resistencia al aplastamiento de Referencia (F_e), calculada de tabla S. 4.1.1-1 CIRSOC 601
(4) Relacion entre Resistencia Experimental Corregida con $C_D = 1,6$ (2) y resistencia segun CIRSOC 601 (3)

Tabla 7: Comparación de la Resistencia entre el *Pinus elliottii* y el Híbrido *Pinus elliottii* var. *hondurensis*

Las resistencias al aplastamiento experimental percentil 5 %, en ambas direcciones, del Híbrido *Pinus elliottii* var. *hondurensis* son menores que las del *Pinus elliottii*, con

diferencias del orden del 10 %. En tanto que en las resistencias calculadas según el Reglamento Argentino se observan mínimas discrepancias, producto de haber utilizado para el cálculo densidades anhidras ligeramente diferentes, de 337 Kg/m³ para el Híbrido y de 340 Kg/m³ para el *P. elliottii* del presente trabajo.

Por otro lado, las relaciones entre los valores experimentales corregidos por duración de la carga y la resistencia calculada según el INTI-CIRSOC 601 (2016), se encuentran entre un mínimo de 56% y un máximo de 67 %, resultados que corroboran la afirmación de que los valores propuestos por el Reglamento Argentino conducen a un cálculo deficiente de la capacidad portante de la unión.

CONCLUSIONES.

1.- La resistencia característica al aplastamiento experimental percentil 5%, para el *Eucalyptus grandis*, con perno de 7 mm de diámetro, en la dirección paralela y perpendicular a las fibras, calculada según norma UNE-EN 383, tiene un valor de 39,4 N/mm² y de 23,1 N/mm², respectivamente.

2.- La resistencia característica al aplastamiento experimental percentil 5%, para el *Pinus elliottii*, con perno de 7 mm de diámetro, en la dirección paralela y perpendicular a las fibras, calculada según norma UNE-EN 383, tiene un valor de 25,0 N/mm² y de 18,1 N/mm², respectivamente.

3.- Para las dos especies estudiadas, tanto en la dirección paralela a la fibra como en la dirección perpendicular, se observa una fuerte correlación entre la resistencia al aplastamiento experimental y la densidad corregida al 12%, con un valor mínimo de 0,852 y un máximo de 0,929.

4.- En las dos especies estudiadas y para ambas direcciones de la fibra, la relación entre los valores de la resistencia al aplastamiento experimental corregida por duración de la carga y los calculados de acuerdo al Reglamento, dan valores entre el 60% y el 73%. Resultados que siendo inferiores al 100 % nos indican que el uso de los valores propuestos por el INTI-CIRSOC 601 (2016) llevarían a un cálculo deficiente de la unión.

5.- Se sugiere que los valores especificados por el Reglamento Argentino de estructuras de madera sean utilizados con cuidado, hasta tanto se ratifique o desestime la tendencia observada.

AGRADECIMIENTOS.

A los alumnos, becarios, graduados y docentes investigadores de UTN Facultad Regional Venado Tuerto por sus aportes en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

(1) European Committee for standardization. Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. EN 1995-1-1. Brussels.

(2005).

(²) ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas, NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira, revisão ABNT NBR 7190. Brasil. (2011).

(³) INTI-CIRSOC 601(2016). Instituto Nacional de Tecnología Industrial - Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles. Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. Buenos Aires.

(⁴) NDS 2005. American Forest & Paper Association. American Wood Council. National Design Specification (NDS) for Wood Construction with commentary and Supplement :Design Values for Wood Construction. 2005 Edition. Washington.(2005).

(⁵) NDS 2018. American Wood Council. National Design Specification (NDS) for Wood Construction 2018 Edition. (2018).

(⁶) Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti María C., Tortoriello M. Determinación de la Resistencia al Aplastamiento en Madera de Álamo para Uniones Tipo Clavija. XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo. Uruguay. (2014).

(⁷) Manavella R.D.,Guillaumet A.A., Filippetti M.C., Tortoriello M., Alí Mossre C. Resistencia al aplastamiento en madera de álamo, influencia del diámetro de perno y la densidad. XXXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Asunción. Paraguay. (2016).

(⁸) Roberto D. Manavella, Alfredo A. Guillaumet; Cesar Alí Mossre; Patricio Arrien. Determinación de la Resistencia al Aplastamiento en Madera de Populus Deltoides 'Australiano 129/60', Comparación con los Valores dados por el CIRSOC 601. CLEM +CIMAD 2017. Junín. Buenos Aires. Argentina. (2017).

(⁹) Sosa Zitto Alexandra. Tesis doctoral. Comportamiento resistente y elástico de uniones construidas con elementos de fijación de acero tipo clavija en piezas aserradas de Eucalyptus grandis cultivado en Argentina. (2015).

(¹⁰) Manavella R.D.,Guillaumet A.A., Filippetti M.C.. 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. (2012).

(¹¹) Guillaumet A.A., Manavella R.D; Filippetti M.C., Diab J. y Armas A. Tensiones de aplastamiento en uniones tipo clavija en madera de Araucaria Angustifolia .XXXIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural .San Juan. Argentina. (2010).

(¹²) Guillaumet A.A., Manavella R.D; Filippetti M.C., Diab J. y Armas A. Comportamiento de uniones tipo clavija con pernos deformables en madera de Araucaria angustifolia. "1º Congresso Ibero-Latinoamericano Da Madeira Na Construção". CIMAD 11. Coimbra. Portugal. (2011).

(¹³) Roberto D. Manavella; Alfredo A. Guillaumet; María C. Filippetti; Alexandra Sosa Zitto. Comparación De La Resistencia Al Aplastamiento De Especies De

Reforestación, Con Valores Del CIRSOC 601.XXXVIII Jornadas sudamericanas de ingeniería estructural. Lima. Perú. (2018).

(¹⁴) Sawata, K. & Yasumura M. "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. (2002).

(¹⁵) UNE-EN 383:2007. Agencia Española de Normalización y Certificación. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija. (2007).

(¹⁶) ISO 13061-1. 2014. Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens. Determination of moisture content for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization.

(¹⁷); ISO 13061-2. 2014. Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens. Determination of density for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization.

(¹⁸) UNE-EN 384:2010. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. (2010).