



# Uniones en madera de ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA: valores de resistencia al aplastamiento

## Joints in ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA wood: values of embedment strength

Presentación: 28/09/2023

Aprobación: 22/01/2024

### **Roberto Daniel Manavella**

 0000-0002-3809-9216

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto,  
Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
rdmanavella@frvt.utn.edu.ar

### **Alfredo Aníbal Guillaumet**

 0000-0001-9279-0019

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto,  
Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
aaguillaumet@frvt.utn.edu.ar

### **María Cecilia Filippetti**

 0000-0002-1778-6738

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto,  
Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
mcfilippetti@frvt.utn.edu.ar

### **Lía Caren Meyer**

 0000-0001-5187-1744

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto,  
Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
lmeyer@frvt.utn.edu.ar

### **Andrea Daiana Tosco**

 0009-0003-8501-4339

Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC), Facultad Regional Venado Tuerto,  
Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
atosco@frvt.utn.edu.ar

## Resumen

En la construcción con madera, conocer la capacidad portante de las uniones es un requisito indispensable para garantizar la estabilidad estructural del conjunto. Para su cálculo, por cualquiera de los métodos vigentes, conocer el valor de la resistencia al aplastamiento del material es un requerimiento básico.

En este trabajo se determinaron valores de resistencia al aplastamiento en dirección paralela y perpendicular a la fibra, de acuerdo a la norma UNE-EN 383:2007, para madera de *Araucaria angustifolia*, con pernos rígidos de diámetros 5, 7 y 10 mm. Se efectuaron un total de 388 ensayos, 189 en dirección paralela a la fibra y 199 en dirección perpendicular.

El desarrollo experimental muestra resultados por debajo de los valores de referencia establecidos en el Reglamento Argentino (INTI CIRSOC 601-2016), por lo tanto, se sugiere que los valores especificados en dicho Reglamento sean utilizados con precaución hasta tanto nuevos trabajos ratifiquen o desestimen la tendencia observada.

**Palabras-clave:** resistencia al aplastamiento; uniones; Pino Paraná; *Araucaria angustifolia*; CIRSOC 601.

## Abstract

In wood construction, to know the load-bearing capacity of the joints is an essential requirement to guarantee the structural stability of the whole. For its calculation, the embedment strength of the material is a basic parameter by any of the current methods.

In this work, embedment strength values were determined in parallel and perpendicular direction to the grain, according to UNE-EN 383:2007, for *Araucaria angustifolia* wood, with rigid bolts of diameters 5, 7 and 10 mm. A total of 388 tests were carried out, 189 in parallel direction and 199 in perpendicular direction.

The experimental development shows results below the reference values established in CIRSOC 601, therefore, it is suggested that the values specified in such Regulation must be used with caution until new works confirm or reject the observed trend.

**Keywords:** embedment strength; joints; Parana Pine; *Araucaria Angustifolia*; CIRSOC 601.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de la madera como material estructural es una opción cada vez más difundida y aceptada entre los profesionales de la construcción. Es un material que brinda una gran estética y puede ser utilizado para una amplia gama de diseños arquitectónicos y estructurales.

Los beneficios que aporta la madera son numerosos. Es un material renovable, de explotación sostenible, de construcción rápida, de menor peso respecto de los materiales tradicionales y de mayor facilidad de manipulación. También deben considerarse otros beneficios adicionales como su aporte a la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental, ya que, en el caso de la fabricación de viviendas de madera, por ser un material de naturaleza aislante, contribuye a un menor consumo de energía para refrigeración y calefacción, aportando a la reducción de costos y de emisiones de gases de efecto invernadero.

En la República Argentina, la construcción con madera empieza a ser considerada como una alternativa tan válida como la edificación tradicional, dejando de lado la visión de vivienda económica y de inferior calidad que se tenía tiempo atrás para este tipo de obras.

Para propiciar este cambio de paradigma es indispensable avanzar en el estudio de las características físicas, mecánicas y estructurales de los materiales intervinientes. A la par de la caracterización de la madera para uso estructural debe profundizarse el estudio del cálculo de la capacidad portante de las uniones, ya que estas son un elemento clave para garantizar la estabilidad estructural del conjunto.

Para el cálculo de las uniones, son parámetros de base, la tensión de aplastamiento de la madera y las propiedades mecánicas del elemento de sujeción. Un gran número de los métodos actuales para la determinación de la capacidad portante utilizan dichos parámetros.

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601-2016) basa su cálculo en el conocimiento de los valores característicos de la tensión de aplastamiento de la madera y de la tensión de fluencia del elemento de unión en flexión.

La norma americana NDS 2015 (National Design Specification for Wood Construction), publica en la tabla 12.3.3. valores de resistencia al aplastamiento indicativas. Esta tabla, en su versión 2005 (NDS 2005) se ha incorporado al Reglamento Argentino de Estructuras de Madera como Tabla S.4.1.1-1., permitiendo que, ante la falta de datos sobre la tensión de aplastamiento, se puedan usar los valores de referencia ( $F_e$ ) allí publicados. La tabla ha sido confeccionada para uniones con carga lateral y elementos de fijación tipo clavija y utiliza como variables de ingreso la gravedad anhidra de la madera y el diámetro del elemento metálico a usar.

Para la obtención de valores experimentales que sean más representativos del material a utilizar se vienen desarrollando diversos trabajos de investigación sobre la temática. En particular, para madera de Pino Paraná, (*Araucaria angustifolia*) se han realizado trabajos para pernos rígidos de 12 mm (Guillaumet et al., 2010) y para pernos deformables (Guillaumet et al., 2011). También pueden mencionarse investigaciones realizadas sobre madera de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' (Manavella et al., 2016), (Manavella et al., 2014), sobre *Pinus elliottii*, (Manavella et al., 2022), sobre madera de *Eucalyptus grandis* (Sosa Zitto et al., 2015) y comparaciones entre varias especies de bosques implantados, (Manavella et al., 2018).

El objetivo de esta investigación es el cálculo de la resistencia al aplastamiento en la dirección paralela y perpendicular a la fibra en madera de *Araucaria angustifolia*, (Pino Paraná) proveniente de la provincia de Misiones, Argentina, de acuerdo a la norma UNE-EN 383:2007, para clavijas de diámetro 5, 7 y 10 mm y compararlos con los valores de referencia establecidos en el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601-2016), Tabla S.4.1.1-1, a fin de confirmar su validez o eventualmente proponer su modificación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1 Materiales

Para los ensayos se ha utilizado madera de Pino Paraná (*Araucaria angustifolia*), procedente de una plantación de la provincia de Misiones, Argentina. El lote estaba compuesto de 100 tablas de dimensiones 1" x 4" x 2,5 m de largo las que fueron seleccionadas y preparadas en origen y enviadas al laboratorio de la UTN Facultad Regional Venado Tuerto donde se acondicionaron para su uso. Se utilizó una cámara controlada a una temperatura de  $(20 \pm 2)$  °C con una humedad relativa ambiente de  $(65 \pm 5)$  % para el almacenamiento y estabilización del material de ensayo.

El material fue canteado y cepillado en ambas caras hasta los espesores necesarios y a

continuación clasificado y seleccionado para la fabricación de las probetas. Se utilizó madera de espesor 24 mm para la confección de las probetas de diámetro de perno 7 mm y 10 mm, en tanto que para el pasador de 5 mm se usó un espesor de tabla de 20 mm. Los cuerpos de prueba se confeccionaron con madera libre de defectos y en un todo de acuerdo a la geometría y medidas establecidas en la norma UNE-EN 383:2007.

Se hicieron un total de 388 probetas, 189 para la dirección paralela a la fibra y 199 para la dirección perpendicular. En la Figura 1 se detallan las características geométricas de las probetas y en la Tabla 1 se indican las cantidades finales y las dimensiones exactas para cada diámetro ensayado.

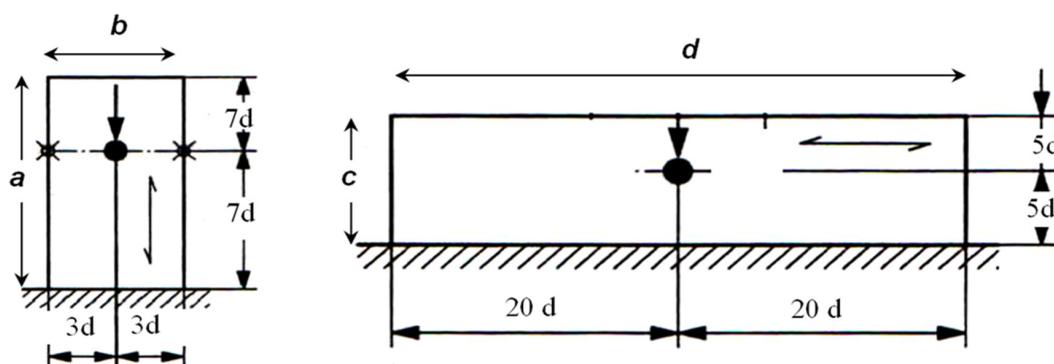


Figura 1: Dimensiones de las probetas

| Perno   | Nro Probetas |    | Dimensiones |         |          |          |
|---|--------------|----|-------------|---------|----------|----------|
|   |              |    | a           | b       | c        | d        |
|   | //           | ⊥  | 14.d (*)    | 6.d (*) | 10.d (*) | 40.d (*) |
|   |              |    | mm          | mm      | mm       | mm       |
| 5   | 63           | 64 | 70          | 30      | 50       | 200      |
| 7   | 64           | 66 | 98          | 42      | 70       | 280      |
| 10  | 62           | 69 | 140         | 60      | 100      | 400      |
| //: Nro. de Probetas paralela a la fibra.                                       |              |    |             |         |          |          |
| ⊥: Nro. de Probetas perpendicular a la fibra.                                   |              |    |             |         |          |          |
| (*): Dimensiones en función de (d) diámetro de la clavija según UNE-EN 383-2007 |              |    |             |         |          |          |

Tabla 1: Cantidad de probetas y dimensiones

Los pernos usados como clavija fueron confeccionados con acero treflado de 5, 7 y 10 mm de diámetro. La norma UNE-EN 383:2007 establece una condición de perno rígido, que viene definida por la relación entre el espesor de la probeta (t) y el diámetro del pasador (d) requisito que se cumple para todos los diámetros.

La colocación de las clavijas se realiza en orificio pretaladrado con una holgura de 0,25 mm realizado con perforadora de banco para asegurar la perpendicularidad entre el eje del elemento metálico y la pieza.

## 2.2 Equipo, dispositivos y procedimiento de carga

El desarrollo experimental se realiza en un todo de acuerdo a lo establecido en la Norma UNE-EN 383:2007. Para la aplicación de la carga se utilizó una central hidráulica con control de velocidad. La fuerza aplicada fue medida a través de una celda de carga de 10 kN. Las lecturas de las deformaciones se efectuaron con dos comparadores de rango 0-12 mm, y lectura de 0,01 mm, dispuestos simétricamente.

Para cada probeta se calculó la humedad y la densidad según las normas ISO 13061-1 (2014) e ISO 13061-2 (2014) respectivamente. Se ajustaron los valores de densidad a la humedad de referencia del 12%, de acuerdo a lo prescripto por la norma UNE-EN 384:2010.

## 3.- CÁLCULO, ANÁLISIS DE RESULTADOS y DISCUSIÓN.

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

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

$$f_h = \frac{F_{\text{máx}}}{dxt} \quad (1)$$

$f_h$  : Resistencia al aplastamiento, en N/mm<sup>2</sup>.

$F_{\text{máx}}$  : Fuerza máxima correspondiente a la rotura o a 5 mm de deformación, en N.

$d$  : Diámetro del perno, en milímetros.

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

En la Tabla 2 se muestran los valores de resistencia al aplastamiento en la dirección paralela a las fibras para pernos de diámetros 5, 7 y 10 milímetros.

| Parámetros   | Unidad            | Diámetro Perno (mm) |      |      |
|--------------|-------------------|---------------------|------|------|
|              |                   | 5                   | 7    | 10   |
| Percentil 5% | N/mm <sup>2</sup> | 30,1                | 35,0 | 34,4 |
| Promedio     | N/mm <sup>2</sup> | 37,4                | 42,6 | 43,7 |
| Desvío STD   | N/mm <sup>2</sup> | 5,5                 | 5,6  | 5,7  |
| COV %        | %                 | 14,7                | 13,1 | 13,0 |
| Mínimo       | N/mm <sup>2</sup> | 27,2                | 30,5 | 31,6 |
| Máximo       | N/mm <sup>2</sup> | 55,5                | 56,4 | 56,0 |
| Nro Probetas | n                 | 63                  | 64   | 62   |

Tabla 2: Valores de resistencia al aplastamiento paralelo a las fibras.

Para el perno de 5 mm el valor de la resistencia al aplastamiento percentil 5%, en la dirección paralela a la fibra resultó de 30,1 N/mm<sup>2</sup> con un COV de 14,7 teniendo un mínimo de 27,2 N/mm<sup>2</sup> y un máximo de 55,5 N/mm<sup>2</sup>. Para los pernos de 7 mm y 10 mm se tiene una

resistencia al aplastamiento percentil 5% de 35,0 N/mm<sup>2</sup> y 34,4 N/mm<sup>2</sup> con COV de 13,1 y 13,0 respectivamente.

En la Tabla 3 se indican los valores de resistencia al aplastamiento en la dirección perpendicular a las fibras para los tres diámetros de clavija ensayados.

| Parámetros   | Unidad            | Diámetro Perno (mm) |      |      |
|--------------|-------------------|---------------------|------|------|
|              |                   | 5                   | 7    | 10   |
| Percentil 5% | N/mm <sup>2</sup> | 31,2                | 27,2 | 21,2 |
| Promedio     | N/mm <sup>2</sup> | 46,5                | 38,8 | 32,8 |
| Desvio STD   | N/mm <sup>2</sup> | 10,1                | 7,5  | 8,3  |
| COV %        | %                 | 21,6                | 19,4 | 25,2 |
| Mínimo       | N/mm <sup>2</sup> | 26,4                | 25,4 | 15,2 |
| Máximo       | N/mm <sup>2</sup> | 75,0                | 59,8 | 59,7 |
| Nro Probetas | n                 | 64                  | 66   | 69   |

Tabla 3: Valores de resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras.

El valor de resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra percentil 5% para perno de 5 mm resultó de 31,2 N/mm<sup>2</sup>, siendo esa cifra similar al obtenido para el mismo diámetro de perno en la dirección paralela, con una diferencia menor al 4 %.

Para los pernos de 7 mm y 10 mm la resistencia al aplastamiento percentil 5%, resultó de 27,2 N/mm<sup>2</sup> y de 21,2 N/mm<sup>2</sup> con COV de 19,4 y 25,2 respectivamente.

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

De acuerdo a los lineamientos de la normativa UNE-EN 384 se determinaron los valores de densidad corregida a una humedad de referencia del 12% para los diámetros de perno 5 ,7 y 10 mm por separado y para el total de la muestra. En la Tabla 4 se exhiben los valores obtenidos para cada diámetro y para la población total.

En todos los casos, la diferencia entre los valores de la densidad corregida al 12 % del promedio y del percentil 5% no superan el 1,5 %

| Parámetros   | Unidad            | Diámetro de Perno |         |          |       |
|--------------|-------------------|-------------------|---------|----------|-------|
|              |                   | d= 5 mm           | d= 7 mm | d= 10 mm | Todas |
| Percentil 5% | N/mm <sup>2</sup> | 439               | 433     | 435      | 435   |
| Promedio     | N/mm <sup>2</sup> | 504               | 497     | 501      | 501   |
| Desvio STD   | N/mm <sup>2</sup> | 45                | 42      | 45       | 44    |
| COV %        | %                 | 8,8               | 8,5     | 9,0      | 8,8   |
| Mínimo       | N/mm <sup>2</sup> | 414               | 424     | 392      | 392   |
| Máximo       | N/mm <sup>2</sup> | 630               | 617     | 663      | 663   |
| Nro Probetas | n                 | 127               | 130     | 131      | 388   |

Tabla 4: Valores de densidad corregida al 12 %.

Para los tres diámetros de clavija, se determinó la correlación existente entre la densidad corregida al 12 % y la resistencia al aplastamiento en las direcciones paralela y perpendicular a la fibra, a partir de un análisis de regresión lineal.

En la Tabla 5 se muestran los resultados, observándose una fuerte correlación en las dos direcciones de análisis y para todos los diámetros. Los valores varían entre un mínimo de 0,809 para el pasador de 7 mm en la dirección paralela y un máximo de 0,943 en la dirección perpendicular para la clavija de 10 mm.

| Parámetros                                       | Coef. de Correlación |         |          |
|--|----------------------|---------|----------|
|  | d= 5 mm              | d= 7 mm | d= 10 mm |
| Correlación Tensión Paralela -Densidad 12 %      | 0,912                | 0,809   | 0,875    |
| Correlación Tensión Perpendicular -Densidad 12 % | 0,929                | 0,914   | 0,943    |

Tabla 5: Coeficientes de correlación resistencia-densidad 12 %

### 3.3. Determinación de la densidad Anhidra según CIRSOC 601

A partir del valor de la gravedad específica a un determinado contenido de humedad, (Gmc), puede calcularse el valor de la densidad anhidra (G), usando la expresión dada por el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera.

| Parámetros   | Unidad            | Diámetro de Perno |         |          |       |
|--------------|-------------------|-------------------|---------|----------|-------|
|              |                   | d= 5 mm           | d= 7 mm | d= 10 mm | Todas |
| Percentil 5% | N/mm <sup>2</sup> | 408               | 402     | 404      | 405   |
| Promedio     | N/mm <sup>2</sup> | 472               | 465     | 469      | 468   |
| Desvio STD   | N/mm <sup>2</sup> | 44                | 41      | 44       | 43    |
| COV %        | %                 | 9,3               | 8,9     | 9,5      | 9,2   |
| Mínimo       | N/mm <sup>2</sup> | 384               | 393     | 362      | 362   |
| Máximo       | N/mm <sup>2</sup> | 597               | 584     | 631      | 631   |
| Nro Probetas | n                 | 127               | 130     | 131      | 388   |

Tabla 6: Valores de densidad anhidra según CIRSOC 601

Se calculó la densidad anhidra para los diámetros de perno 5, 7 y 10 mm y para el total de la muestra. Estos resultados se muestran en la Tabla 6. Se observa que la diferencia entre los valores promedios y percentil 5 % de cada diámetro y del total de la muestra, no superan el 2 %. El valor de densidad anhidra percentil 5 % para el total de la muestra se establece en 405 Kg/m<sup>3</sup>.

### 3.4. Cálculo de la resistencia al aplastamiento de referencia según CIRSOC 601

A partir de la Tabla S.4.1.1-1 del Suplemento 4 del CIRSOC 601 teniendo como datos de ingreso, la densidad anhidra del material y el diámetro del pasador, se puede calcular la resistencia al aplastamiento de referencia de la madera, Fe, en N/mm<sup>2</sup>, para la dirección paralela y perpendicular, en uniones con elementos de fijación tipo clavijas sometidas a carga lateral.

La madera tiene la capacidad de resistir cargas máximas sustancialmente mayores cuando éstas actúan durante un tiempo breve que cuando lo hacen durante un tiempo prolongado. El Reglamento CIRSOC 601 tiene en cuenta esta propiedad a través de un *Factor de duración de la carga (CD)* cuyos valores están especificados en el Capítulo 4, Tabla 4.3-2.

El CIRSOC 601 establece textual 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, CD, será igual a 1...”. Dado que los ensayos de resistencia al aplastamiento tienen una duración aproximada de 10 minutos, los resultados experimentales deben afectarse con un factor CD =1,6 para ajustarlos a una duración de carga de 10 años y así poder compararlos con los valores de referencia propuestos en el Reglamento.

### 3.4.1 Cálculo de la Resistencia al aplastamiento paralela a la fibra.

En la Tabla 7 se muestran, para los pernos de 5, 7 y 10 mm, los resultados experimentales con duración de carga de 10 minutos, los valores ajustados por el factor de duración de la carga CD =1,6 (a 10 años), los valores de resistencia al aplastamiento de referencia paralelo a las fibras calculados según el CIRSOC 601 y la relación entre los valores experimentales corregidos y los calculados según Reglamento.

| Parámetros   | Unidad            | fh //   |         |          |
|--|-------------------|---------|---------|----------|
|  |                   | d= 5 mm | d= 7 mm | d= 10 mm |
| <b>Resistencia Experimental 5 % Percentil ( 10 minutos)</b> (1)  | N/mm <sup>2</sup> | 30,1    | 35,0    | 34,4     |
| <b>Resistencia Experimental Corregida con Cd=1,6 (10 años)</b> (2)   | N/mm <sup>2</sup> | 18,8    | 21,9    | 21,5     |
| <b>Resistencia calculada según CIRSOC 601 (de Tabla)</b> (3)   | N/mm <sup>2</sup> | 21,7    | 31,3    | 31,3     |
| <b>Relacion entre Valor Exp. Corregido y valor de CIRSOC 601</b>   | %                 | 87%     | 70%     | 69%      |
| <i>(1) Resistencia al aplastamiento experimental paralela a la fibra Percentil 5% (duración de carga 10 minutos)</i>         |                   |         |         |          |
| <i>(2) Resistencia al aplastamiento experimental paralela Percentil 5% corregida por duración de carga CD=1,6 ( 10 años)</i> |                   |         |         |          |
| <i>(3) Resistencia al aplastamiento de Referencia paralela (Fe). Calculada de Tabla S.4.1.1.-1 CIRSOC 601</i>                |                   |         |         |          |

Tabla 7: Resistencia al aplastamiento paralela a las fibras. Comparación con CIRSOC 601

La relación entre los resultados experimentales ajustados a una duración de la carga de 10 años (2) y los propuestos por el CIRSOC 601(3) resultan del 87 %, 70 % y 69 % para los pernos de diámetro 5, 7 y 10 mm respectivamente. En todos los casos los valores experimentales ajustados por el factor de duración de la carga Cd=1,6 resultan inferiores a los determinados por el Reglamento.

Los valores de la resistencia al aplastamiento experimental paralela a las fibras percentil 5% para los pernos de diámetro 7 y 10 mm, presentan diferencias menores al 2% entre ellos, lo que muestra un comportamiento similar al dado por el Reglamento CIRSOC 601, que establece que, para diámetros de clavija iguales o mayores de 6,35 mm, la resistencia al aplastamiento paralela es de valor único e independiente del diámetro de perno. También se observa que, para el diámetro de 5 mm, la resistencia tiene un valor menor a la obtenida para los pernos de 7 y 10 mm, comportamiento que también responde a lo estipulado en el Reglamento.

En la Figura 2 se grafican los valores de resistencia al aplastamiento de referencia paralelo a las fibras calculados con la Tabla S.4.1.1.-1 del Reglamento Argentino, los obtenidos experimentalmente afectados por el factor  $CD=1,6$  y la línea de tendencia para estos últimos.

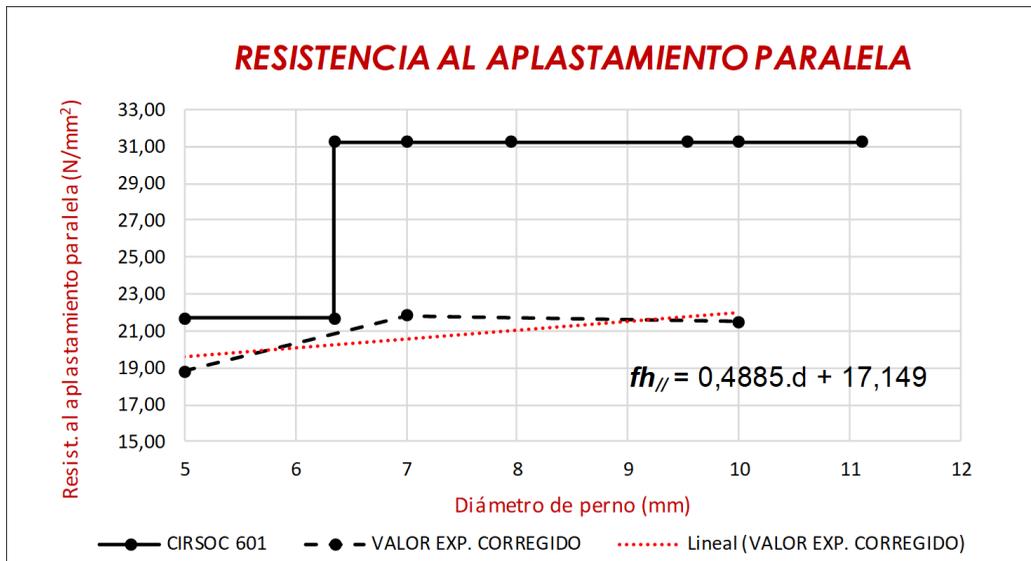


Figura 2: Gráfico comparativo de la resistencia al aplastamiento paralela a las fibras.

Los valores experimentales corregidos, para todos los diámetros estudiados, resultan menores a los propuestos por el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera.

Para la resistencia al aplastamiento paralela a las fibras y para una densidad anhidra de  $405 \text{ Kg/m}^3$ , el CIRSOC 601 determina dos valores constantes:  $21,68 \text{ N/mm}^2$  para diámetros menores a  $6,35 \text{ mm}$  y  $31,27 \text{ N/mm}^2$  para diámetros mayores o iguales a  $6,35 \text{ mm}$ . Se observa, para los diámetros de perno 7 y 10 mm, que los resultados experimentales tienen un comportamiento similar al dado por el Reglamento, aunque con valores visiblemente inferiores. Los valores experimentales no evidencian la fuerte discontinuidad en el diámetro  $6,35 \text{ mm}$  establecido en el Reglamento, sugiriendo que el comportamiento real para madera de esta densidad puede ser una curva más continua o un salto menos pronunciado, situación que debería corroborarse ensayando otro diámetro intermedio.

### 3.4.2 Cálculo de la Resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra.

En la Tabla 8, se presentan, para los diámetros de perno 5, 7 y 10 mm, los resultados experimentales con duración de carga de 10 minutos, los valores ajustados por el factor de duración de la carga  $CD=1,6$  (a 10 años), los valores de resistencia al aplastamiento de referencia perpendicular a las fibras calculados según el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera y la relación entre los valores experimentales ajustados y los calculados según el Reglamento.

| Parámetros  | Unidad            | f <sub>h</sub> ⊥ |         |          |
|---|-------------------|------------------|---------|----------|
|   |                   | d= 5 mm          | d= 7 mm | d= 10 mm |
| Resistencia Experimental 5 % Percentil ( 10 minutos ) (1)   | N/mm <sup>2</sup> | 31,2             | 27,2    | 21,2     |
| Resistencia Experimental Corregida con Cd=1,6 (10 años) (2) | N/mm <sup>2</sup> | 19,5             | 17,0    | 13,2     |
| Resistencia calculada según CIRSOC 601 (de Tabla) (3)       | N/mm <sup>2</sup> | 21,7             | 21,6    | 18,1     |
| Relacion entre Valor Exp. Corregido y valor de CIRSOC 601   | %                 | 90%              | 79%     | 73%      |

(1) Resistencia al aplastamiento experimental perpendicular a la fibra Percentil 5% (duración de carga 10 minutos)  
 (2) Resistencia al aplastamiento experimental perpendicular Percentil 5% corregida por duración de carga CD=1,6 ( 10 años)  
 (3) Resistencia al aplastamiento de Referencia perpendicular (Fe). Calculada de Tabla S.4.1.1.-1 CIRSOC 601

Tabla 8: Resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras. Comparación con CIRSOC 601

La relación entre los resultados experimentales ajustados para una duración de la carga de 10 años (2) y los propuestos por el CIRSOC 601 (3), resultan del 90 %, 79 % y 73 % para los diámetros de perno de 5, 7 y 10 mm respectivamente. Para todos los diámetros, los valores experimentales ajustados por el factor de duración de la carga CD = 1,6 resultan inferiores a los determinados por Reglamento.

El Reglamento Argentino CIRSOC 601 establece que para pernos mayores o iguales a 6,35 mm la resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra decrece con el diámetro de la clavija, comportamiento coincidente con lo que se observa en los ensayos experimentales, ya que los valores decrecen al aumentar el diámetro de pasador. En tanto que, para perno de diámetro menor a 6,35 el valor de resistencia es único y del orden del diámetro inmediato mayor. Esta tendencia no se evidencia en los resultados de la Tabla 8, donde el valor de resistencia para el diámetro de 5 mm da resultados superiores de alrededor del 15% respecto del perno de 7 mm.

En la Figura 3 se grafican los valores de resistencia al aplastamiento de referencia perpendicular a las fibras obtenidos de la Tabla S.4.1.1.-1, los experimentales afectados por el factor de duración de la carga CD= 1,6 y la línea de tendencia para estos últimos valores. En todos los casos, los resultados experimentales corregidos resultan menores a los establecidos por la normativa.

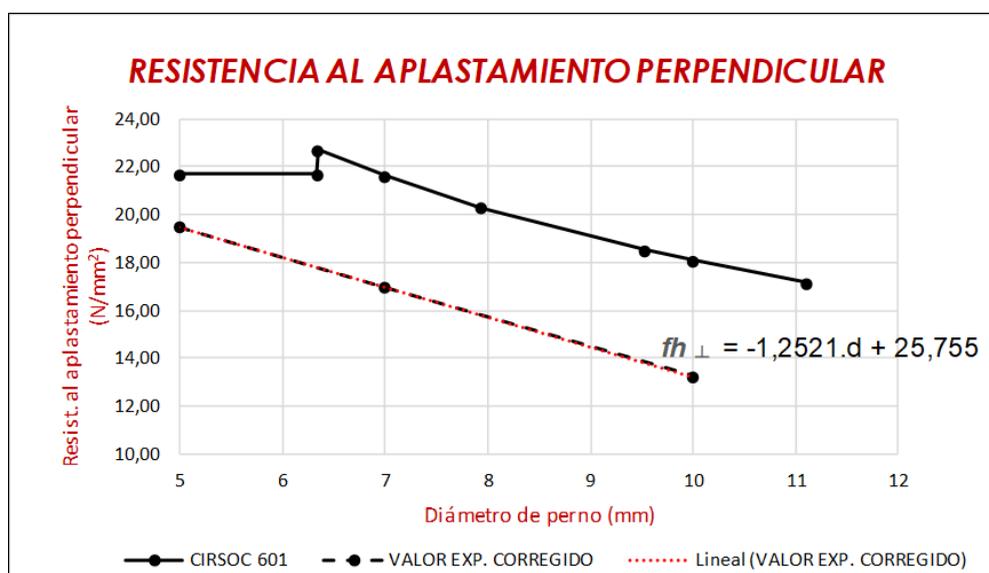


Figura 3: Gráfico comparativo de resistencia al aplastamiento perpendicular a las fibras.

Dado que existe un solo valor por debajo del diámetro 6,35 no se aprecia el comportamiento de los valores experimentales corregidos en ese tramo de la gráfica. Para los diámetros 7 y 10 mm, la curva de valores experimentales corregidos y la dada por el Reglamento se muestran casi paralelas con valores que disminuyen a medida que aumenta el diámetro de la clavija, pero desplazadas entre sí, lo que insinúa un comportamiento del material similar a lo establecido por el Reglamento, pero con valores bastante menores, entre el 27 % y el 37%.

En las Tabla 7 y 8 se observa que, para el perno de 5 mm se tienen valores de resistencia al aplastamiento paralela y perpendicular percentil 5 % que difieren en menos del 4 % entre sí, lo que permite considerar que se cumple suficientemente con la condición dada por el Reglamento Argentino ya que, para diámetros de perno menores a 6,35 establece que el valor de la resistencia al aplastamiento tiene un valor único para ambas direcciones.

#### 4.- CONCLUSIONES.

La resistencia característica al aplastamiento percentil 5%, en la dirección paralela a la fibra, para madera de *Araucaria angustifolia* (Pino Paraná) procedente de la provincia de Misiones, Argentina, calculada según norma UNE-EN 383, para pernos de diámetro 5, 7 y 10 mm tiene un valor de 30,1 N/mm<sup>2</sup>, 35,0 N/mm<sup>2</sup> y 34,4 N/mm<sup>2</sup> respectivamente.

La resistencia característica al aplastamiento percentil 5%, en la dirección perpendicular a la fibra, para madera de *Araucaria angustifolia* (Pino Paraná) procedente de la provincia de Misiones, Argentina, calculada según norma UNE-EN 383, para pernos de diámetro 5, 7 y 10 mm tiene un valor de 31,2 N/mm<sup>2</sup>, 27,2 N/mm<sup>2</sup> y 21,2 N/mm<sup>2</sup> respectivamente.

Se observa una fuerte correlación entre la resistencia al aplastamiento y la densidad corregida al 12%, tanto en la dirección paralela como en la dirección perpendicular a la fibra, con valores que varían entre un mínimo de 0,809 y un máximo de 0,943.

La relación entre los valores experimentales de resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra, corregidos por el factor de duración de la carga CD=1,6 y los establecidos por el CIRSOC 601, para diámetro de perno 5, 7 y 10 mm, resultan de 87 %, 70% y 69 % respectivamente.

La relación entre los valores experimentales de resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra, corregidos por el factor de duración de la carga CD=1,6 y los establecidos por el Reglamento Argentino, para diámetro de perno 5, 7 y 10 mm, resultan de 90 %, 79% y 73 % respectivamente.

Los valores calculados con el Reglamento Argentino CIRSOC 601, son superiores a los obtenidos experimentalmente para los tres diámetros estudiados, lo que indica que el cálculo teórico de la unión usando la Tabla S.4.1.1.-1 conduce a un subdimensionado del elemento estructural.

Aunque las consecuencias del subdimensionado comentado anteriormente se ven atenuadas por los diferentes factores de seguridad contemplados en la Normativa, se sugiere que los valores especificados por el Reglamento CIRSOC 601 sean utilizados con cuidado, hasta tanto se amplíe la base de datos experimentales que permitan confirmar o desestimar la tendencia observada.

#### AGRADECIMIENTOS.

A los alumnos, becarios, graduados y docentes investigadores de UNNOBA y de UTN Facultad Regional Venado Tuerto por sus aportes en la realización de los ensayos de laboratorio y en la carga de datos.

## REFERENCIAS

- 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. 27 de septiembre al 01 de octubre. [https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5432/UTN\\_FRVT\\_AC002.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5432/UTN_FRVT_AC002.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guillaumet A. A., Manavella R. D; Filippetti M. C., Diab J. y Armas A. (2011). “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. 07 al 09 de junio. [https://www.researchgate.net/publication/235985691\\_Comportamiento\\_de\\_unionen\\_tipo\\_clavija\\_con\\_pernos\\_deformables\\_en\\_madera\\_de\\_Araucaria\\_angustifolia](https://www.researchgate.net/publication/235985691_Comportamiento_de_unionen_tipo_clavija_con_pernos_deformables_en_madera_de_Araucaria_angustifolia)
- INTI CIRSOC 601 (2016). Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. Buenos Aires, Argentina, disponible en: <https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/601/CIRSOC601-completo.pdf>
- ISO 13061-1:2014 (2014). Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical test. International Organization for Standardization.
- ISO 13061-2:2014 (2014). Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization.
- 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. 19 al 21 de noviembre. <https://1library.co/document/zx2v7kwq-determinacion-resistencia-aplastamiento-madera-alamo-unionen-tipo-clavija.html>
- Manavella R.D., Guillaumet A. A., Filippetti M. C., Tortoriello M., Alí Mossre C. (2016). “Resistencia al aplastamiento en madera de álamo, influencia del diámetro de perno y la densidad”. XXXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Asunción. Paraguay. 02 al 04 de noviembre. <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/5591>
- Manavella R.D., Guillaumet A. A., Filippetti M. C., Sosa Zitto A. (2018). “Comparación de la resistencia al aplastamiento de especies de reforestación, con valores del CIRSOC 601”. XXXVIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Lima. Perú. 24 al 26 de octubre. <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/handle/20.500.12272/5693>
- Manavella R.D., Guillaumet A. A., Filippetti M. C., Meyer L. (2022). “Determinación de la resistencia al aplastamiento en madera de Pinus elliottii y de Eucalyptus grandis”. XXVII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Rosario. Argentina. 28 de septiembre al 01 de octubre. Memorias, Pág. 35.
- NDS 2005 (2005). American Forest & Paper Association. American Wood Council. National Design Specification (NDS) for Wood Construction with commentary and Supplement. 2005 Edition. Washington.

NDS 2015 (2015). American Wood Council. National Design Specification (NDS) for Wood Construction 2015 Edition. (2015). Washington.

UNE-EN 383:2007 (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. Madrid.

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

Sosa Zitto Alexandra. Tesis doctoral (2015). “Comportamiento resistente y elástico de uniones construidas con elementos de fijación de acero tipo clavija en piezas aserradas de Eucalyptus grandis cultivado en Argentina” <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/373/Tesis%20Doctoral-%20Sosa%20Zitto-VERSI%c3%93N%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### Contribución de los Autores

| Nombres y Apellidos del autor | Colaboración Académica |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
|-------------------------------|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
|                               | 1                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Roberto Daniel Manavella      | X                      |   | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  | X  |
| Alfredo Aníbal Guillaumet     | X                      | X | X | X | X | X | X | X | X |    | X  | X  | X  | X  |
| María Cecilia Filippetti      |                        |   |   |   |   | X | X | X |   |    | X  | X  | X  | X  |
| Lía Caren Meyer               |                        |   |   |   |   | X | X |   |   |    |    |    |    |    |
| Andrea Daiana Tosco           |                        |   |   |   |   | X | X |   |   |    |    |    |    |    |

1-Administración del proyecto, 2-Adquisición de fondos, 3-Análisis formal, 4-Conceptualización, 5-Curaduría de datos, 6-Escritura - revisión y edición, 7-Investigación, 8-Metodología, 9-Recursos, 10-Redacción - borrador original, 11-Software, 12-Supervisión, 13-Validación, 14-Visualización.