

# DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA MADERA DE LA ESPECIE EUCALYPTUS ROSTRATA PARA SU UTILIZACIÓN ESTRUCTURAL

Ing. Gutiérrez, Daniel Domingo; Ing. Muiños, Antonio Luis  
Grupo Ingeniería Civil en Estructuras y Tecnologías (ICET). Facultad Regional Rosario  
Universidad Tecnológica Nacional  
[ingddgutierrez@gmail.com](mailto:ingddgutierrez@gmail.com); [amuinios@yahoo.com.ar](mailto:amuinios@yahoo.com.ar)

## RESUMEN

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601/2016<sup>[1]</sup> incorpora en su Suplemento 1 valores de diseño de referencia para uso estructural de madera aserrada de cuatro especies cultivadas en nuestro país, dejando un vacío sobre muchas que pueden ser utilizadas con fines estructurales. Con el propósito de poder utilizar la madera de Eucalyptus Rostrata (Camaldulensis o Colorado), especie implantada proveniente del área central de la Provincia de Santa Fe, se realiza la caracterización físico mecánica y caracterización visual utilizando secciones transversales tipo tabla, determinándose los valores característicos del Módulo Resistente, Módulo de Elasticidad Global, Densidad y Resistencia al aplastamiento en uniones tipo clavija, de acuerdo a las Normas IRAM 9663<sup>[2]</sup>, UNE-EN 338<sup>[3]</sup>, IRAM 9662<sup>[4]</sup>, UNE 56544<sup>[5]</sup> y EN 383<sup>[6]</sup>, sobre series de muestras de 50 y 30 tablas ensayadas a flexión y aplastamiento. Los ensayos se realizaron en la Facultad Regional Rosario de la Universidad Tecnológica Nacional. Se comparan los valores obtenidos con las propiedades de las especies Araucaria angustifolia, Eucalyptus grandis, Pino taeda y elliotti y Alamo populus deltoides detallados en el Suplemento 1 de CIRSOC 601.

## ABSTRACT

*The Argentine Regulation of Wooden Structures CIRSOC 601/2016<sup>[1]</sup> incorporates in its Supplement 1 reference design values for the structural use of sawn wood of four species cultivated in our country, leaving a gap over many that can be used for structural purposes. In order to use the wood of Eucalyptus Rostrata (Camaldulensis or Colorado), an implanted species from the central area of the Province of Santa Fe, the mechanical physical characterization and visual characterization are carried out using cross sections type table, determining the characteristic values of the Resistant Module, Module of Global Elasticity, Density and Resistance to crushing in peg-type connections, according to IRAM 9663<sup>[2]</sup>, UNE-EN 338<sup>[3]</sup>, IRAM 9662<sup>[4]</sup>, UNE 56544<sup>[5]</sup> and EN 383<sup>[6]</sup>, on series of samples of 50 and 30 tables tested for flexion and crushing. The tests were conducted at the Rosario Regional School of the National Technological University. The values obtained are compared with the properties of the species Araucaria angustifolia, Eucalyptus grandis, Pino taeda and elliotti and Alamo populus deltoides detailed in Supplement 1 of CIRSOC 601.*

## 1. INTRODUCCION

Actualmente no existen en el país datos fidedignos respecto al comportamiento de los distintos elementos estructurales y de sus medios de unión con la especie *Eucalyptus Rostrata*. Se hace necesario una actualización de los datos disponibles para lograr una óptima utilización del material.

La especie *Eucalyptus Camaldulensis*, conocida también por su nombre común como *Eucalyptus Rostrata* o eucalipto colorado proviene de Australia, donde ocupa la mayor distribución del país. Dentro de los eucaliptos es la especie más cultivada en el mundo, en particular en Argentina, Israel, España, Italia y Marruecos. Por sus cualidades, su cultivo se ha extendido por casi todo el territorio argentino; principalmente en las provincias de Santa Fe, Buenos Aires, Entre Ríos, La Pampa, Córdoba, Salta, Jujuy y Santiago del Estero<sup>[7]</sup>. El Reglamento CIRSOC 601 contiene información sobre las características mecánicas de sólo cuatro especies utilizadas con fines estructurales en nuestro país. El mismo aclara la necesidad de que se vayan incorporando nuevas especies, a medida que se logren los avances necesarios para identificar valores de diseño de referencia de otras especies que también se emplean en nuestro país.

Al identificar las características mecánicas de la especie *Eucalyptus Rostrata* según las normativas vigentes en nuestro país, se estará realizando un importante aporte a los profesionales y a la industria de la construcción, proveyendo de parámetros confiables para el diseño y cálculo de estructuras de madera. Se estará también colaborando en el crecimiento del Reglamento Argentino para el diseño, ejecución y cálculo de estructuras de madera.

Esta investigación acompaña al estudio de especies de maderas incorporadas en el Reglamento CIRSOC 601, llevadas a cabo por las Facultades Regionales de Venado Tuerto y Concepción del Uruguay de UTN sobre las especies *Pino Taeda*, *Pino Elliotis*, Álamo *Pópulus Deltoides* y *Eucalyptus Grandis*.

## 2. MATERIALES

Se estudiaron 110 probetas de *Eucalyptus Rostrata* proveniente del área central de la provincia de Santa Fe. Las mismas se acopiaron en el laboratorio de maderas de la Facultad Regional Rosario de la Universidad Tecnológica Nacional.

Las dimensiones de los cuerpos de prueba se ajustan a lo establecido por la norma IRAM 9663 para la determinación del módulo de elasticidad y la resistencia a flexión y por la norma EN 383 para la determinación de la resistencia al aplastamiento.

A  
se muestra un  
las

continuación,  
esquema de  
dimensiones.

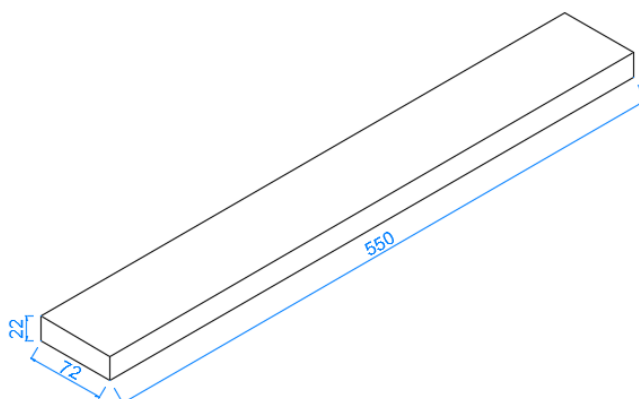


Figura 1. Dimensiones en mm de probetas para ensayo a flexión

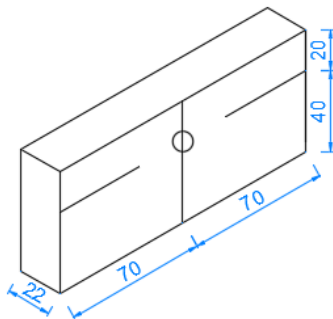


Figura 2. Dimensiones en mm de probetas para ensayo de aplastamiento perpendicular a las fibras.

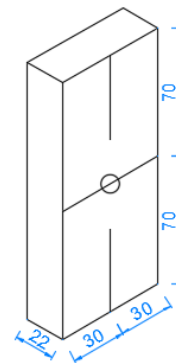


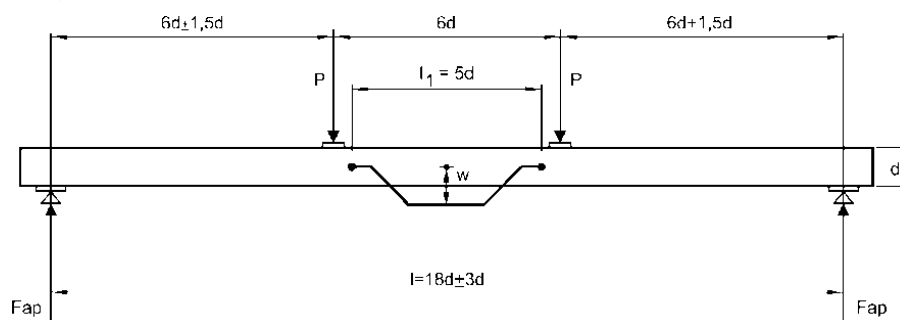
Figura 3. Dimensiones en mm de probetas para ensayo de aplastamiento paralelo a las fibras.

Para determinar la resistencia al aplastamiento el elemento de unión utilizado fue un perno de 10mm de diámetro colocado en las probetas perforadas previamente.

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1. ENSAYO A FLEXIÓN

Para el ensayo de las probetas se utilizó una Máquina Universal de Ensayos adaptada para el esquema de cargas de acuerdo a la Norma IRAM 9663:2013 que se muestra en la figura 4.



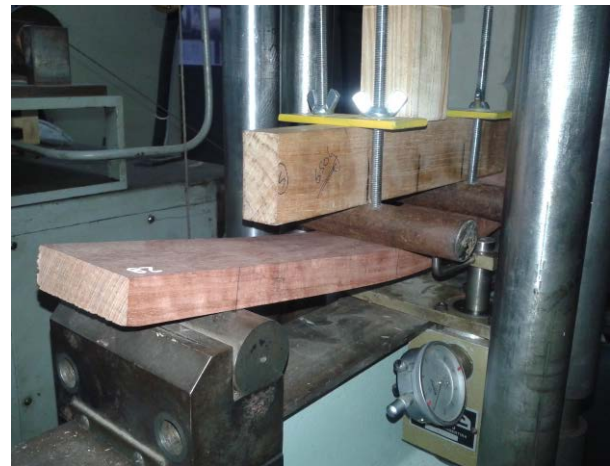
*Figura 4. Disposición para el ensayo de medición del módulo de elasticidad local en flexión.*

Las cargas se registraron con una celda de carga de 10 toneladas de carga máxima; las deformaciones se midieron con un flexímetro con una precisión de 0,01mm.

En las figuras 5 y 6 se visualiza lo



*Figura 5. Celda de carga - Ensayo a flexión.*



mencionado anteriormente.

*Figura 6: Flexímetro - Ensayo a flexión*

Según lo indicado en la Norma IRAM 9663:2013, se determinaron los valores de la resistencia a flexión axial, el módulo de elasticidad local en flexión y el módulo de elasticidad global en flexión:

La determinación de la resistencia a la flexión axial se realizó con la expresión (1):

$$(1) \quad f_m = \frac{3Fa}{bh^2}$$

Donde:

$f_m$ : resistencia a la flexión, en newton por milímetro cuadrado.

$F$ : carga, en Newton.

$a$ : distancia entre un punto de carga y el apoyo más próximo, en milímetros.

$b$ : anchura de la sección transversal, en milímetros.

$h$ : altura de la sección en los ensayos de flexión, en milímetros.

El módulo de elasticidad local en flexión se determinó con la expresión (2):

$$E_{m,l} = \frac{a l_1^2 (P_2 - P_1)}{16 I (w_2 - w_1)} \quad (2)$$

Donde:

$P_2 - P_1$ : incremento de carga en newton en la recta de regresión con un coeficiente de correlación de 0,99 o mejor.

$w_2 - w_1$ : incremento de deformación en milímetros correspondiente a  $P_2 - P_1$ .

$E_{m,l}$ : Modulo de elasticidad en flexión, en Newton por milímetro cuadrado.

$l_1$ : longitud base de medida de deformaciones, en milímetros.

$I$ : momento de inercia en milímetros elevados a la cuarta potencia.

El módulo de elasticidad global en flexión se determinó con la expresión (3).

$$E_{m,g} = \frac{3a l^2 - 4a^3}{2bd^3 \left( 2 \frac{w_2 - w_1}{P_2 - P_1} \right)} \quad (3)$$

Donde:

$E_{m,g}$ : modulo de elasticidad global en flexión, en Newton por milímetro cuadrado.

Para el módulo de elasticidad se aplica una corrección del 1% por cada variación del 1% del contenido de humedad, siendo la humedad referencia del 12%, de acuerdo con lo establecido en la norma IRAM 9664:2013.

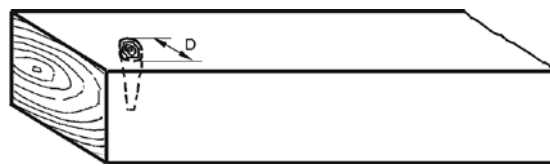
### 3.2. CARACTERIZACIÓN VISUAL

Previamente a realizar los ensayos de flexión, se realizó la evaluación de los parámetros visuales, siguiendo los lineamientos propuestos en las normas UNE-EN

338 e IRAM 9662. A continuación se presenta una breve descripción del trabajo realizado para la evaluación visual de cada probeta.

## NUDOSIDAD

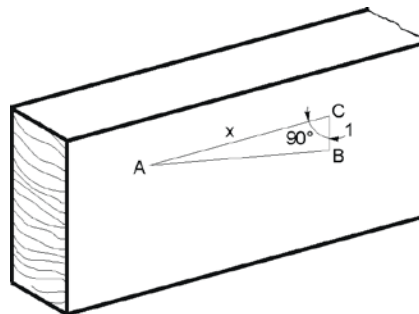
Se determina la nudosidad para cada nudo individual, calculando el cociente entre la medida del nudo mayor y el ancho de la superficie en la cual se manifiesta. La medida del nudo se expresa como la distancia entre las tangentes al mismo que sean paralelas al eje de la pieza (Figura 7).



*Figura 7. Medición de un nudo*

## DIRECCIÓN DE LAS FIBRAS

La dirección de las fibras se mide con relación al eje longitudinal de la pieza. Su desviación se expresa como cociente entre la medida que se aparta del eje y la longitud de la pieza sobre la cual se efectúa la medida (Figura 8).



*Figura 8. Inclinación del grano*

Se considera solamente la dirección general de las fibras. Desviaciones locales, como las que ocurren alrededor de los nudos, no se tienen en cuenta.

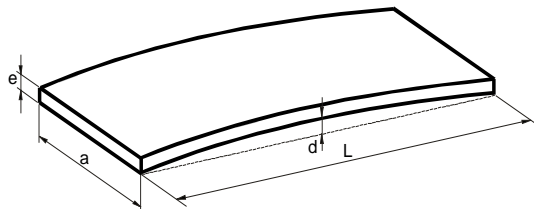
## FISURAS

Se registra el largo de las fisuras en la dirección del eje longitudinal de la pieza.

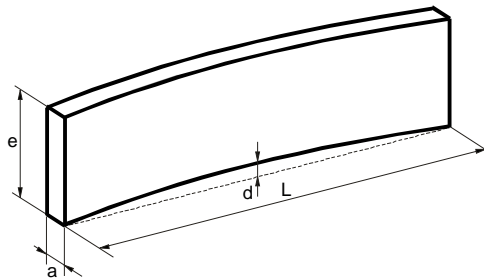
## ALABEOS

Se expresan en milímetros y se distinguen los alabeos siguientes:

Combado y encorvado: para las flechas de cara y de canto (Figuras 9 y 10) se registra la deformación mayor ( $d$ ) existente en todo el largo de las mismas.



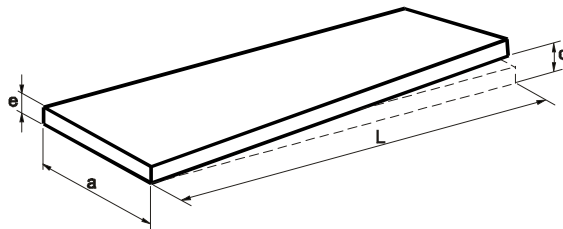
*Figura 9. Combado*



*Figura 10. Encorvado*

## REVIRADO

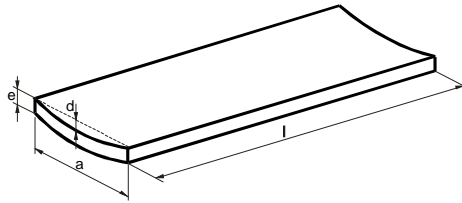
Se mide como la deformación máxima ( $d$ ) de la superficie sobre un largo ( $L$ ) de 2,0 m de la pieza (Figura 11).



*Figura 11. Revirado*

## ABARQUILLADO

Se mide como la deformación máxima ( $d$ ) sobre el ancho ( $a$ ) de la pieza (Figura 12).



*Figura 12. Abarquillado*

## ATAQUES BIOLÓGICOS

Se registra la presencia de orificios originados por ataques de insectos. El ataque se expresa por la medida del diámetro mayor, expresado en milímetros.

### 3.3. ENSAYO DE APLASTAMIENTO

Para los ensayos, tanto en dirección perpendicular como paralelo a las fibras, se utilizó una Máquina Universal de ensayos con celda de carga de 10 toneladas, con un dispositivo fabricado exclusivamente para tal fin.

En primer lugar se determinó la fuerza máxima estimada mediante la rotura de una probeta para cada dirección. Los resultados obtenidos fueron utilizados para establecer el procedimiento de aplicación de cargas, según la Norma EN 383.

En cada ensayo se incrementó la fuerza hasta alcanzar el 40% de la carga estimada, se mantuvo la misma por 30 segundos, a continuación, se la redujo hasta el 10 %, manteniéndola nuevamente durante 30 segundos y a continuación se la aumentó hasta que se produjo la rotura de la probeta o se alcanzó un desplazamiento de 5 mm. En la figura 14 se muestra el procedimiento de carga.

Se registraron los valores de carga, el desplazamiento en el comparador y el tiempo de ensayo para cada uno de los puntos de la figura 14.

Para cada probeta ensayada se determinó su contenido de humedad y su densidad a partir de una porción aserrada luego del procedimiento.

A continuación, en la figura 13 se visualiza el dispositivo de ensayo utilizado.



Figura 13 – Celda de carga – Ensayo de aplastamiento

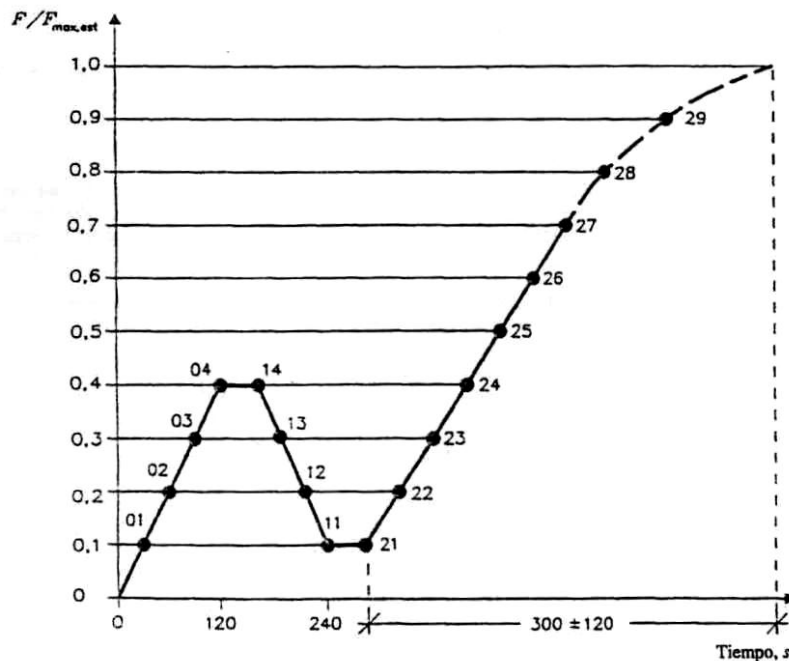


Figura 14. Procedimiento de carga

Las determinaciones se realizaron basándose en las expresiones indicadas por la Norma EN 383:1995.

### a) Resistencia al aplastamiento

$$f_h = \frac{f_{m\acute{a}x}}{d \times t} \quad (4)$$

Donde:

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

$f_{m\acute{a}x}$  = Fuerza máxima correspondiente a la rotura o a 5 mm de deformación, en N.

$d$  = Diámetro del perno, en milímetros.

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

### b) Resistencia Estimada al aplastamiento.

$$f_{h,est} = \frac{f_{m\acute{a}x,est}}{d \times t} \quad (5)$$

Donde:

$f_{h,est}$  = Resistencia estimada al aplastamiento, en N/mm<sup>2</sup>.

$f_{m\acute{a}x,est}$  = carga máxima estimada, en N.

$d$  = Diámetro del perno, en milímetros.

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

### c) Desplazamiento inicial.

$$w_i = w_{04} \quad (6)$$

Donde:

$w_i$  = desplazamiento inicial, en milímetros.

$w_{04}$  = Desplazamiento correspondiente al punto 04 del procedimiento de carga de la figura 14, en milímetros.

### d) Desplazamiento inicial modificado.

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

(7)

Donde:

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

$w_{04}$  = Desplazamiento correspondiente al punto 04 del procedimiento de carga de la figura 14, en milímetros.

$w_{01}$  = Desplazamiento correspondiente al punto 01 del procedimiento de carga de la figura 14, en milímetros.

#### e) Desplazamiento Elástico.

$$w_e = \frac{2}{3}(w_{14} + w_{24} - w_{11} - w_{21}) \quad (8)$$

Donde:

$w_e$  = Desplazamiento elástico, en milímetros.

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

$w_{24}$  = Desplazamiento correspondiente al punto 24 del procedimiento de carga de la figura 14, en milímetros.

$w_{11}$  = Desplazamiento correspondiente al punto 11 del procedimiento de carga de la figura 14, en milímetros.

$w_{21}$  = Desplazamiento correspondiente al punto 21 del procedimiento de carga de la figura 14, en milímetros.

#### f) Módulo de aplastamiento inicial.

$$K_i = \frac{0,4 \times f_{h,est}}{w_i} \quad (9)$$

Donde:

$K_i$  = módulo de aplastamiento inicial, en  $\text{N/mm}^3$ .  
 $f_{h,est}$  = Resistencia estimada al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ .  
 $w_i$  = desplazamiento inicial, en milímetros.

#### g) Módulo de aplastamiento.

$$K_s = \frac{0,4 \times f_{h,est}}{w_{i,mod}} \quad (10)$$

$K_s$  = módulo de aplastamiento, en  $\text{N/mm}^3$ .  
 $f_{h,est}$  = Resistencia estimada al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ .  
 $w_{i,mod}$  = desplazamiento inicial corregido, en milímetros.

#### h) Módulo de aplastamiento elástico.

$$K_e = \frac{0,4 \times f_{h,est}}{w_e} \quad (11)$$

Donde:

$K_s$  = módulo de aplastamiento elástico, en  $\text{N/mm}^3$ .  
 $f_{h,est}$  = Resistencia estimada al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ .  
 $w_e$  = desplazamiento elástico, en milímetros.

### 3.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD

Para la determinación del contenido de humedad y densidad de las probetas, se procede según las normas ISO 3130<sup>[8]</sup> e ISO 3131<sup>[9]</sup>, cortando una rebanada en las probetas adyacente a la zona de rotura de las mismas. Posteriormente se pesa dicha rebanada, y se toman mediciones de las dimensiones con un microcomparador 0,01mm de precisión para calcular el volumen.

Los nuevos cuerpos de prueba se secaron en un horno Marca Bioelec Modelo RG41, a una temperatura constante de  $103 \pm 2$  °C durante 24 horas, posteriormente se mantuvieron en un desecador de laboratorio hasta que volvieron a ser pesadas.

El contenido de humedad se determina de la siguiente manera:

$$H\% = \frac{Ph - Ps}{Ph} * 100 \quad (12)$$

Dónde:

$Ps$ = peso seco de la muestra.

$Ph$ = peso húmedo de la muestra.

La humedad relativa de la madera en estudio es del 12% en condiciones normales, por lo tanto, a ese porcentaje de humedad deberemos ajustar las características mecánicas que lo requieran.

Para la determinación de la densidad, se utiliza la siguiente relación:

$$\rho = \frac{Ph}{V} \quad (13)$$

Dónde:

$Ph$ = peso seco de la muestra.

$V$ = volumen de la muestra

La densidad, así mismo, se corrige para la humedad relativa del 12%, disminuyendo un 0,5% por cada incremento del 1% del contenido de humedad relativa, y sumándole la misma cantidad en caso contrario.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Determinación de la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad global

El análisis estadístico de los resultados experimentales se presenta en la Tabla 1.

Parámetro	$f_m$	$E_{m,g}$	$\delta$
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Valor Medio</b>	83	12034	676
<b>Desvío Estándar</b>	21	6338	113
<b>COV%</b>	25	53	17
<b>Mínimo</b>	40	5091	158
<b>Máximo</b>	133	20039	816
<b>Percentil 5%</b>	50	7076	511

Tabla 1. Valores estadísticos de ensayos

Donde:

$f_m$  = resistencia a la flexión

$E_{m,g}$  = módulo de elasticidad global

$\delta$  = densidad

## 4.2. Caracterización Visual

Luego de realizar el registro de los parámetros indicados en el punto 3.2, se buscó relacionarlos con la resistencia de los cuerpos de prueba obtenida de los ensayos a flexión.

Si bien no pudieron identificarse diferencias evidentes relacionando los distintos parámetros con variaciones en la resistencia a flexión, en el análisis de la Nudosidad se pudo determinar que se presentaba un salto de importancia en los valores medios de resistencia a flexión. Se realizó una diferenciación en dos grupos:

Grupo A: compuesto por las 10 probetas que arrojaron las menores resistencias a flexión.

Grupo B: compuesto por las 10 probetas que arrojaron las mayores resistencias a flexión.

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los valores estadísticos de acuerdo a la clasificación por grupo propuesta.

	$f_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	Promedio Nudosidad	Desvío Nudosidad
<b>GRUPO A</b>	39,7- 63,7	0,33	0,71
<b>GRUPO B</b>	96,4 - 132,5	0,11	0,12

*Tabla 2. Valores estadísticos clasificación visual*

## 4.3. Determinación de la resistencia al aplastamiento

En la tabla 3 se muestran para cada caso, los valores de resistencia al aplastamiento para las direcciones paralela y perpendicular a la fibra y la densidad de la madera calculada según la norma EN 383.

Parámetros	fh //	fh ⊥	γ //	γ ⊥
	N/ mm <sup>2</sup>	N/ mm <sup>2</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
PROMEDIO	62,74	81	740,04	787,20
DESVÍO STD	5,76	14,2	112,10	87,88
COV	9,18	18	151,48	111,63
MÍNIMO	36,02	49	516,33	575,01
MÁXIMO	95,34	107	870,60	1012,62
PERCENTIL 5%	38	49	542	714

Tabla 3. Resistencia al aplastamiento y densidad.

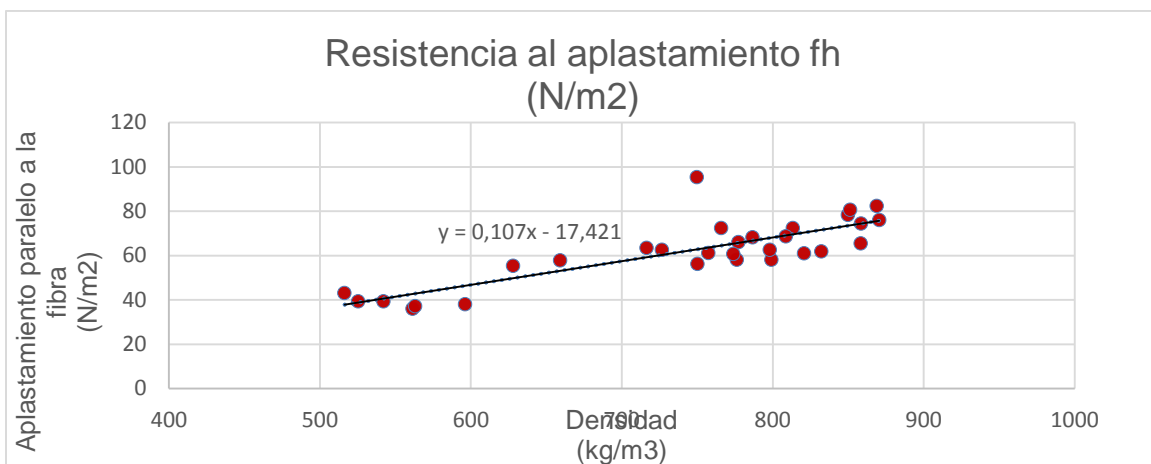
Se realizó un análisis de regresión por separado en cada dirección, para establecer la correlación existente entre las resistencias al aplastamiento y la densidad.

En la tabla 4 se presentan los valores de correlación para ambas series y la ecuación de la regresión lineal. Se puede observar una alta correlación entre ambas propiedades, particularmente en el caso de tensión paralela a la fibra.

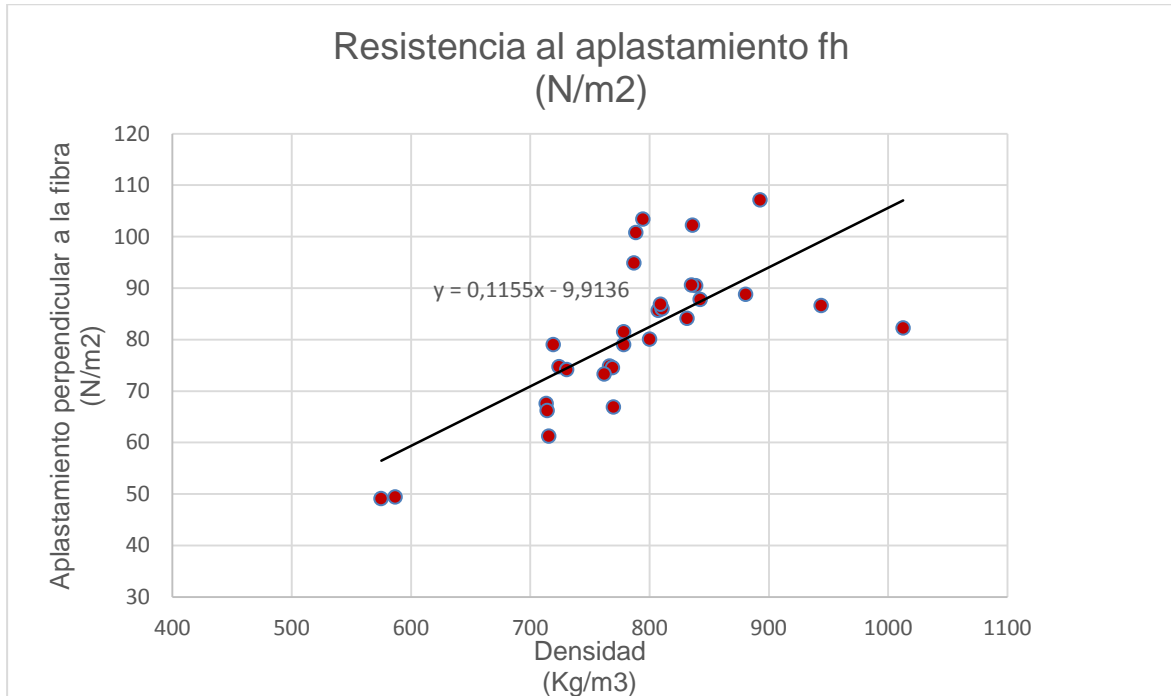
Parámetros	Coef. de Correlación	Ecuación de la regresión lineal
Correlación Tensión Paralela - Densidad	0,820	$y = 0,107x - 17,421$
Correlación Tensión Perpendicular - Densidad	0,713	$y = 0,1155x - 9,9136$

Tabla 4. Coeficientes de correlación.

En las figuras 15 y 16 se muestra la relación entre los valores de densidad y resistencia al aplastamiento para ambas direcciones y la recta de regresión lineal en cada caso.



*Figura 15. Correlación densidad – resistencia al aplastamiento en dirección paralela a la fibra*

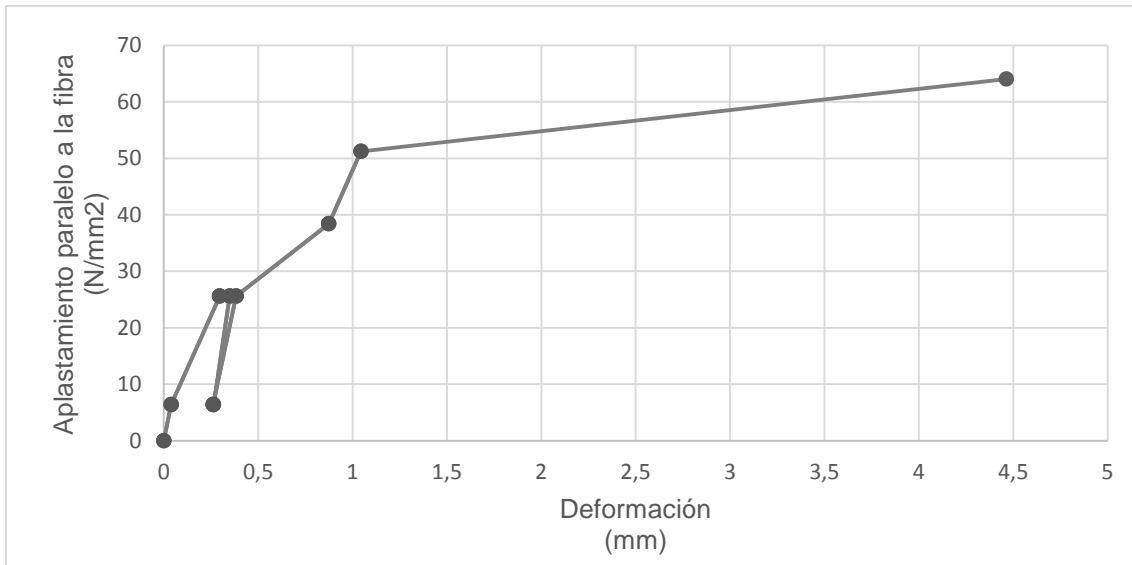


*Figura 16. Correlación densidad – resistencia al aplastamiento en dirección perpendicular a la fibra*

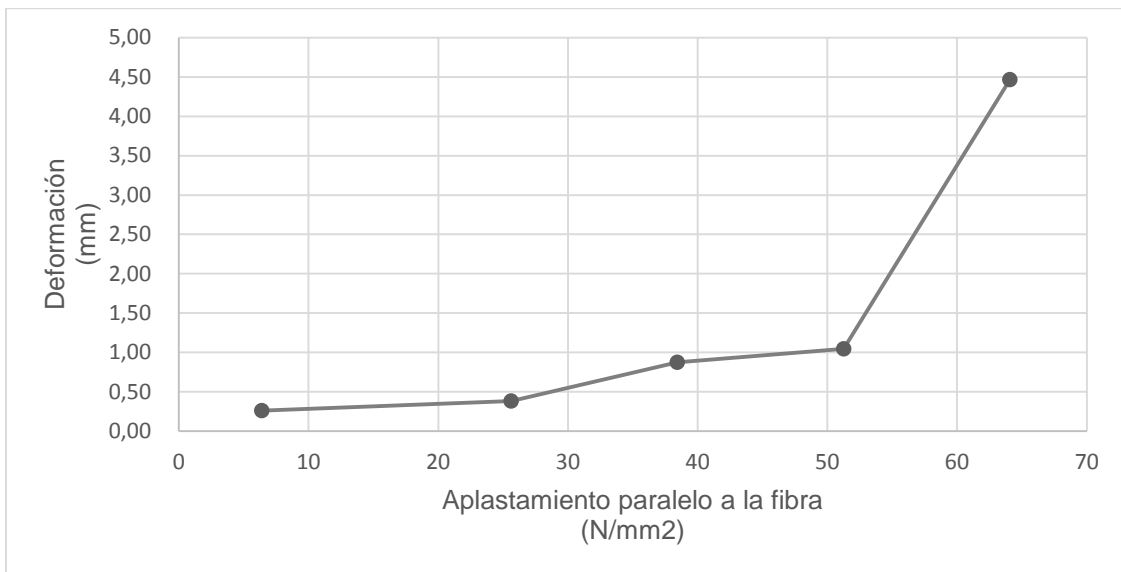
### **Análisis de desplazamientos**

En la figura 17 se visualiza una gráfica relacionando la variación de la resistencia al aplastamiento en la dirección paralela a las fibras y su desplazamiento, para el ciclo de carga completo.

En la figura 18 se presenta la variación entre el desplazamiento y la resistencia al aplastamiento, graficado para el segundo periodo de carga.



*Figura 17. Gráfico desplazamiento - resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra*



*Figura 18. Gráfico resistencia al aplastamiento - desplazamiento paralelo a la fibra*

Se puede apreciar en la gráfica, bajos valores de desplazamiento hasta un valor de resistencia correspondiente al 80% de la carga máxima estimada (50 N/mm<sup>2</sup>). A partir de ese punto se produce un fuerte incremento de los desplazamientos con menor incremento de cargas.

De la gráfica también podemos observar que la deformación aproximada para la resistencia al aplastamiento característica percentil 5% es cercana a 1 mm.

En la figura 19 se visualiza una gráfica relacionando la variación de la resistencia al aplastamiento en la dirección perpendicular a las fibras y su desplazamiento, para el ciclo de carga completo.

En la figura 20 se presenta la variación entre el desplazamiento y la resistencia al aplastamiento, graficado para el segundo periodo de carga.

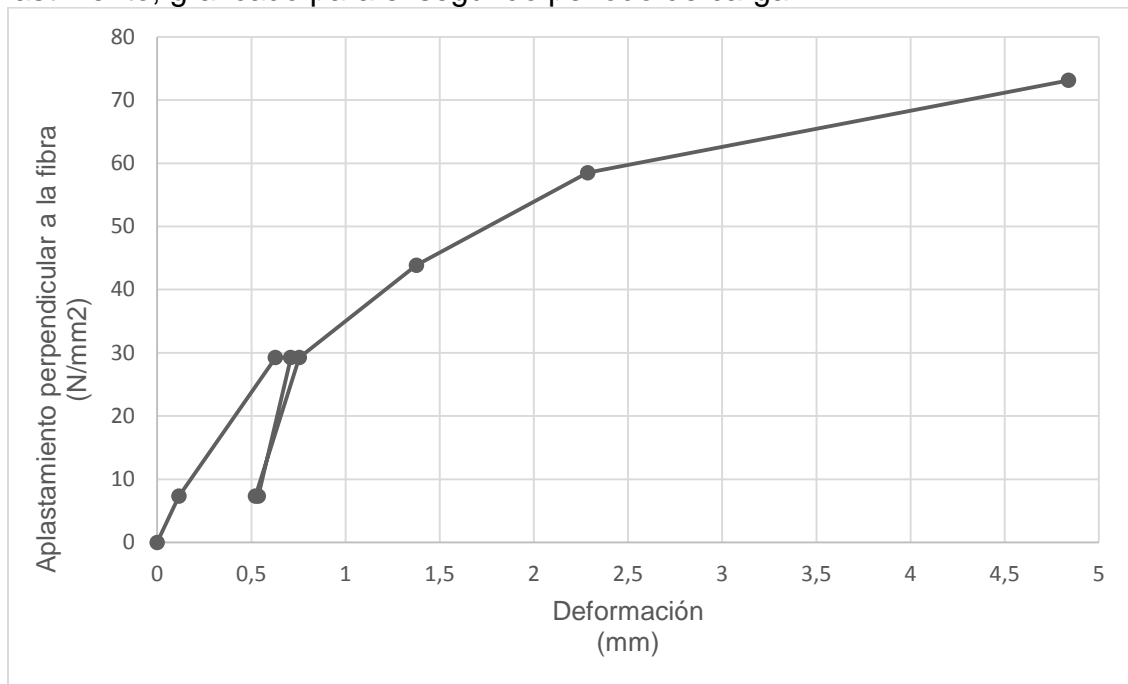


Figura 19. Gráfico desplazamiento - resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra

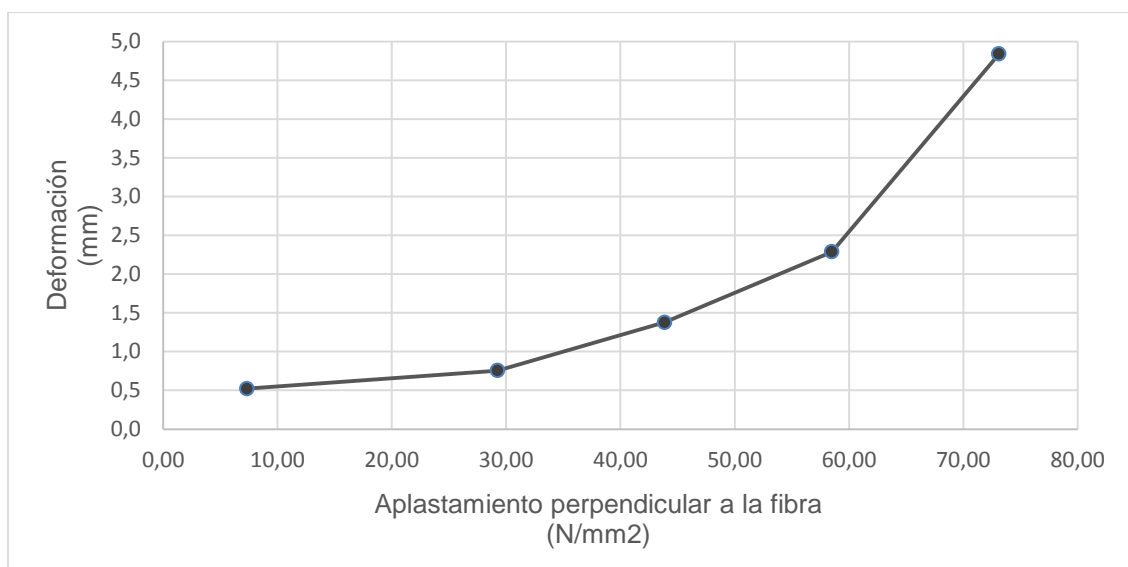


Figura 20. Gráfico resistencia al aplastamiento - desplazamiento perpendicular a la fibra

Un análisis similar al anterior puede hacerse relacionando la variación de la resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra y el desplazamiento, para el segundo periodo de carga, tal como se presenta en la figura 20.

En este caso se puede observar que el incremento de las deformaciones es bajo para las resistencias al aplastamiento menores a  $40 \text{ N/mm}^2$ . A partir de este punto, los desplazamientos comienzan a incrementarse de forma gradual, presentando su mayor pendiente en el último período, aproximadamente a partir de los  $60 \text{ N/mm}^2$ , valor correspondiente al 80% de la carga máxima estimada.

## 5. CONCLUSIONES

Los valores característicos, percentil 5% obtenidos de los ensayos a flexión corresponden a una resistencia a flexión  $f_m = 50 \text{ N/mm}^2$ ; módulo de elasticidad global  $E_{m,g} = 7076 \text{ N/mm}^2$  y densidad  $\delta = 511 \text{ kg/cm}^3$ .

Como caracterización visual, y mediante una comparación de dos grupos con valores extremos de resistencia a flexión, se identificó una relación entre la misma y la media de los valores de nudosidad registrados. Para el grupo A, se observó un gran desvío estándar en la muestra, a diferencia del grupo B, cuyo desvío presentó valores menores. Pudo verificarse que existe una leve tendencia a una disminución de la resistencia a flexión en correspondencia a un aumento de la nudosidad.

En la Tabla 5 se comparan los resultados de los ensayos con los valores de diseño de referencia de las especies *Eucalyptus Grandis*, *Pino Paraná*, *Pino Taeda* y *Elliottii* y *Álamo (Populus Deltoides)*, incluidas en el Reglamento CIRSOC 601 (2016). Se afectó la resistencia a flexión del *Eucalyptus Rostrata* con un coeficiente de seguridad "2" y un coeficiente por duración de carga de "1,6"; al módulo de elasticidad se lo afectó con un coeficiente de 0,86 para ajustar el valor a la humedad de referencia del 19%. Los coeficientes aplicados son para ajustar los valores de las condiciones de ensayo a las condiciones de referencias adoptadas por el Reglamento CIRSOC 601.

		CIRSOC 601							
		<i>Eucalyptus Grandis</i>		<i>Pino Paraná (Araucaria angustifolia)</i>		<i>Pinus Taeda y Elliottii</i>		<i>Álamo (Populus Deltoides)</i>	
		CLASE 1	CLASE 2	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 1	CLASE 2
$f_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	16	9,4	7,5	9,4	4,4	5,6	3,4	6,2	3,2
E (N/mm <sup>2</sup> )	10349	12000	10800	14600	9900	10300	6000	7700	6500
E <sub>0,05</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	6085	8100	7200	9800	6600	6900	4000	5200	4300
E <sub>min</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	4378	5100	4600	6200	4200	4400	2600	3300	2700
$\delta$ (kg/m <sup>3</sup> )	511	430	430	460	400	420	390	420	390

*Tabla 5. Comparación de las propiedades resistentes del Eucalyptus Rostrata con los valores de las especies presentadas en el CIRSOC 601.*

A partir del análisis comparativo puede observarse que el *Eucalyptus Rostrata* presenta mayor valor de resistencia a flexión y mayor densidad que las 4 especies mencionadas en el Reglamento CIRSOC 601.

Los valores característicos, percentil 5% obtenidos de los ensayos de uniones corresponden a una resistencia al aplastamiento paralela a las fibra  $f_{h//} = 38 \text{ N/mm}^2$ ; resistencia al aplastamiento perpendicular a la fibra  $f_{h\perp} = 49 \text{ N/mm}^2$ ; densidad en dirección paralela a la fibra  $\delta_{//} = 542 \text{ kg/cm}^3$  y densidad en dirección perpendicular a la fibra  $\delta_{\perp} = 714 \text{ kg/cm}^3$ .

## 6. COLABORADORES

Destacamos la colaboración de los alumnos de la Carrera Ingeniería Civil de la Facultad Regional Rosario de UTN: Ana Rodríguez Vivanco, M. Antonella Scarlata y Luis Jeifetz, quienes han participado activamente en los trabajos de laboratorio y desarrollo del presente informe.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el asesoramiento y la generosa asistencia brindada por el Grupo GIDEC de la Facultad Regional Venado Tuerto de UTN.

## 8. REFERENCIAS

- [1] INTI CIRSOC 601 Reglamento Argentino de Estructuras de Madera Edición Julio 2016.
- [2] Instituto Argentino de Normalización. IRAM 9663:2013. Estructuras de Madera - Determinación de las propiedades físicas y mecánicas.
- [3] Agencia Española de Normalización y Certificación. UNE-EN 338:2003 Madera estructural. Clases resistentes.
- [4] Instituto Argentino de Normalización. IRAM 9662:2013. Madera laminada estructural -Clasificación visual de las tablas por resistencia.
- [5] Agencia Española de Normalización y Certificación. UNE 56544:2011. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural.
- [6] Agencia Española de Normalización y Certificación. UNE-EN 383:1995. Determinación de la resistencia al aplastamiento y módulo de aplastamiento para elementos de fijación tipo clavija.
- [7] Tecnología de la madera de eucaliptos colorado: Propiedades – usos –

posibilidades. I Jornadas Forestales de Santiago del Estero – Junio 2005.

[8] International Organization for Standardization. ISO 3130:1975. Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical test.

[9] International Organization for Standardization. ISO 3131:1975. Wood - Determination of density for physical and mechanical test.