

Identificación del Trabajo	
Área:	Estructuras - Materiales
Categoría:	Alumno / Graduado
Regional:	Facultad Regional Venado Tuerto

Resistencia al arrancamiento de tornillos en madera de “Populus Deltoides Australiano 129/60”

Marianela GIANNINI, Ileana MORENO, Joana de la MAZA, Antonella PORTA, Ebelyn RATTO,

G.I.D.E.C. (Laprida Nº 651, Venado Tuerto), Facultad Regional Venado Tuerto, UTN

E-mail de contacto: gidec@frvt.utn.edu.ar

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Alfredo A. Guillaumet, el Ing. Roberto D. Manavella y la Ing. María Cecilia Filippetti, en el marco del proyecto “Caracterización Tecnológica de la madera de POPULUS deltoides AUSTRALIANO 129/60 cultivado en el delta del río Paraná (25/Z14)”.

Resumen

El presente trabajo determina la resistencia al arrancamiento de elementos de fijación (tornillos), insertados en maderas de Populus deltoides australiano 129/60, cultivado en el Delta del Río Paraná. La fuerza de extracción de tornillos es en función de la estructura anisotrópica de la madera, por lo que en cada probeta se colocaron tornillos autoperforantes en dirección tangencial, radial y longitudinal a los anillos de crecimiento. Los ensayos de extracción se realizaron de acuerdo a los procedimientos establecidos en la Norma Europea UNE-EN 1382-2000.

Los resultados experimentales, arrojaron valores admisibles con un coeficiente de seguridad del 3.19 respecto de los valores obtenidos de la expresión propuesta en el CIRSOC 601 en el suplemento 4.

Palabras Claves: Populus deltoides australiano; Tornillos; Probeta aserrada; Extracción.

1. Introducción y Objetivos

1.1. Introducción

En nuestro país los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de piezas estructurales de madera de especies reforestadas con defectos, corresponden a investigaciones realizadas en los últimos años.

Además de los trabajos de investigación que han brindado las bases para la confección de normativa IRAM, existen diversas publicaciones que aportan datos respecto de la fuerza de extracción de tornillos, podemos referenciar la utilización de la fuerza de extracción de tornillos como método de ensayo no destructivo que permite determinar la densidad de una pieza de madera in situ según la publicación de Basterra L.A. et al. (2009). Como estudios más recientes sobre el comportamiento de la madera de reforestación, en particular, podemos citar el trabajo de “Resistencia a la extracción de clavos y tornillos en madera de Pino Paraná” de Filippetti, M.C. et. al (2009) y “Resistencia a la extracción de clavos y tornillos en la madera de Eucaliptus Grandis y

Pino Elliotti/Taeda de la Provincia de Entre Rios-Argentina” de Calvo F. C. et. al. (2002). El criterio de este trabajo es complementar los estudios sobre especies de reforestación en este caso con madera *Populus deltoides* australiano 129/60 del Delta del Paraná

La superficie forestada con álamo en el Delta se estima en 14.000 hectáreas. Evaluaciones más recientes indican que alcanzaría las 17.305 hectáreas (Borodowski, 2006). Las plantaciones actuales están constituidas principalmente por tres clones de *P. deltoides* (“Australiano 129/60” y “Stoneville 67”) y 1 clon de *P. x Canadensis* (“Ragonese 22 INTA”), algunos de los cuales comenzaron a manifestar problemas sanitarios (Cortizo, 2005). El álamo en general se presenta como una especie de rápido crecimiento, con baja densidad y rigidez, pero con resultados que podrían satisfacer las condiciones para la fabricación de vigas aserradas para pequeñas luces. El cultivo del álamo se caracteriza por la homogeneidad de las plantaciones. Se utilizan un número variable de clones según las regiones de cultivos a fin de cubrir las necesidades de adaptación a distintos ambientes ecológicos y lograr altos niveles de producción y tolerancia a plagas.

La investigación de sus propiedades físicas y mecánicas es un requisito indispensable para su utilización en estructuras. En particular, es necesario conocer su comportamiento frente a la extracción de tornillos, elementos de uso frecuente para resolver uniones sometidas a esfuerzos orientados según la dirección de su propio eje, y penetrando lateralmente en las fibras, es decir en caras radiales o tangenciales de la pieza.

La Norma UNE-EN 1382-2000 establece las condiciones en que se deben realizar los ensayos para determinar la resistencia al arrancamiento, contemplando la extracción tanto en la cara radial, como en la tangencial y en la longitudinal de las probetas.

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601, define los métodos y disposiciones generales a emplear en el diseño y construcción de estructuras para edificaciones y obras civiles con madera aserrada. También define los métodos a emplear en el diseño de uniones mecánicas. Los valores especificados en el Suplemento 4 del CIRSOC 601, expresan la resistencia a la extracción de diseño de referencia (W) de un único elemento de fijación, por unidad de penetración (N/mm) en función del diámetro del elemento de fijación y de la densidad anhidra de la madera. Los valores indicados corresponden a elementos de fijación colocados sobre una cara o un canto del miembro estructural y con su eje perpendicular a la dirección de las fibras

1.2. Objetivos

- Determinar la fuerza de extracción de tornillos en madera de *Populus deltoides* Australiano 129/60, según la norma UNE-EN 1382-2000.
- Comparar los resultados obtenidos con los valores dados por el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera “CIRSOC 601”.

2. Materiales y Metodología

2.1. Materiales

La madera utilizada es *Populus deltoides* Australiano 129/60, proveniente de árboles apeados en el año 2010. En cuanto a la plantación, es del año 1996, distanciado original a 6x4 m. (415 plantas por hectárea) y con un raleo selectivo al 30% a los 9 años de edad, dejando aproximadamente 290 plantas por hectárea. También tiene una poda a 4.5 m. de altura aproximadamente a los 7 años de edad. En cuanto al manejo de agua, paso por los dos extremos, en unas pocas ocasiones. Le tocó anegamiento superficial del campo por períodos cortos (15-20 días), y también momentos de sequía por períodos un poco más prolongados.

El material se recibió, en forma de vigas aserradas de 3" x 6", en condiciones de secado natural. Durante un año se las estacionó, en un lugar cubierto. Las probetas de 250x50x45 mm fueron cortadas y cepilladas en el laboratorio, respetando lo establecido en la norma europea UNE-EN-1382:2000. Los tornillos autoperforantes utilizados son de acero con punta aguja marca Tel Fix medida 8 x 2 ½, de (4.5 mm x 63 mm), y cabeza de 8.3 mm, color negro.

2.2. Método

El ensayo se realizó sobre 43 probetas cuyas dimensiones son 250x50x45 mm, la mayor dimensión corresponde a la dirección de la veta. Las probetas fueron estabilizadas en una cámara a una temperatura de 20 ± 2 °C y a una humedad relativa ambiente de 65 ± 5 %.

El diámetro del tornillo utilizado fue de 4.5 mm de diámetro de caña y 3.3 mm de diámetro de núcleo, con una longitud de rosca de 63 mm con una penetración en la probeta de 30 mm sin pre-perforado y atornillado con herramientas manuales. Dos elementos se colocaron en la cara radial, dos en la tangencial y uno en cada cara longitudinal como se observa en las Figuras 1 y 2.

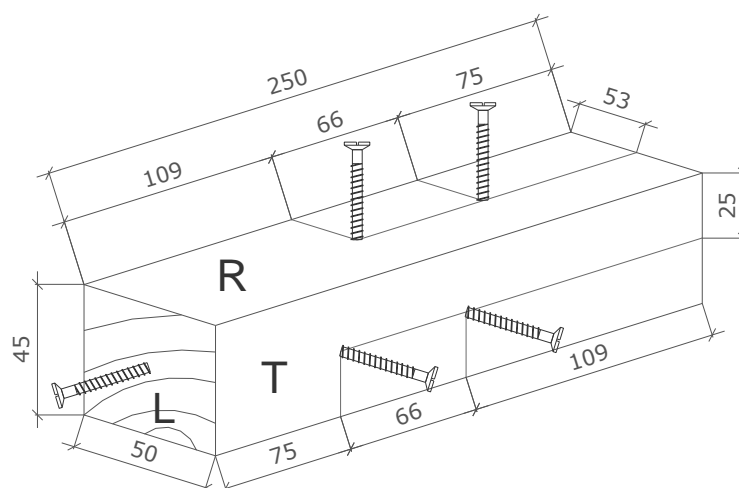


Figura 1. Esquema de colocación de Tornillos

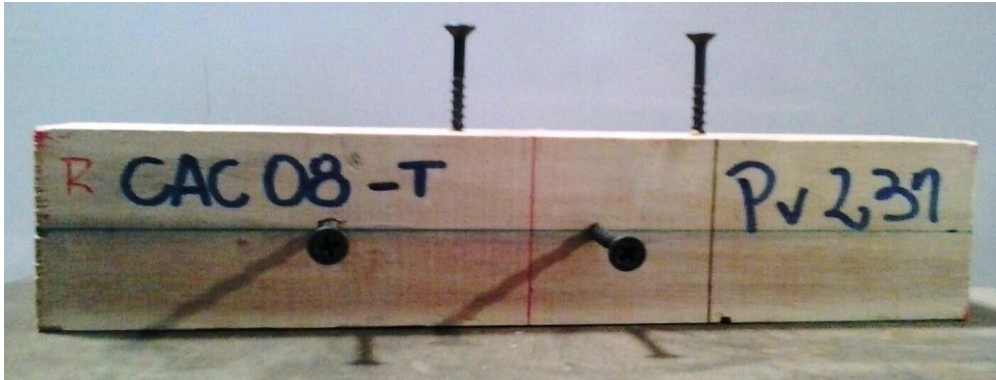


Figura 2. Probeta con los tornillos en posición para ensayo

El procedimiento de ensayo se ajustó al descrito por la Norma EN 1382:2000. Se diseñó un dispositivo, tal como ilustran las Figuras 3 y 4, que permite la extracción de los elementos con una prensa de compresión. Se ajustó la velocidad de desplazamiento del cabezal de carga de la prensa hidráulica según Norma. Para la medición de los esfuerzos se utilizó una celda de carga de capacidad máxima de 10 KN y precisión 1 N.

De cada probeta se determinó el contenido de humedad aplicando la Norma IRAM 9532 (1963) y la densidad anhidra según lo establecido en el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera "CIRSOC 601" (2013). La densidad característica se obtuvo según la UNE – EN 384:2010.



Figura 3 y Figura 4. Dispositivo para ensayo.

La Norma UNE - EN 14358:2006 permite calcular la desviación estándar y el valor característico teniendo en cuenta la penalización del tamaño de muestra, con las siguientes ecuaciones:

$$\bar{y} = 1/n \sum_{i=1}^n \ln m \quad (1)$$

$$S_y = \sqrt{(1/n - 1) \sum_{i=1}^n (\ln m_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

$$m_k = \exp(\bar{y} - k_s S_y) \quad (3)$$

Donde :

\bar{y} promedio de las muestras

S_y desvío estándar

m_k valor característico (percentil 5% del parámetro de arrancamiento f)

n cantidad de muestras.

m_i valor de cada muestra.

K_s factor de corrección por cantidad de muestras.

La densidad anhidra G , se calcula s/ suplemento 4 CIRSOC 601 con la siguiente ecuación:

$$G = G_{mc} / ((1+mc) - 0.84mcG_{mc}) \quad (4)$$

Donde:

mc : contenido de humedad expresado como cociente entre el peso del agua contenida y el peso anhidro.

G_{mc} : Densidad específica a un determinado contenido de humedad.

La resistencia a la extracción de diseño de referencia W , según CIRSOC 601, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$W = 27.9 * G^{3/2} * D^{3/4} \quad (5)$$

Donde:

G : Densidad Anhidra

D : diámetro de caña de tornillo

El valor de la densidad característica corregida al 12 %, para las muestras indicadas en Tabla 1, fue determinado utilizando la siguiente ecuación, que supone una distribución normal de los resultados, de acuerdo a lo establecido según Norma UNE-EN 384:2010:

$$\rho_{12\%} = \rho / ((1 - (H - 0.12)) / 2) \quad (6)$$

Donde:

H contenido de humedad determinado en cada probeta.

ρ densidad de la muestra.

El procedimiento de ensayo se realiza con una velocidad de carga constante tal que se alcance $F_{m\acute{a}x}$ en (90 ± 30) seg. con una precisi3n de 1%.

Para determinar el esfuerzo de extracci3n se requiere el parámetro de arrancamiento seg3n la siguiente ecuaci3n de la norma EN 1382:1999:

$$f = F_{m\acute{a}x} / d * l_p \quad (7)$$

Donde:

$F_{m\acute{a}x}$ fuerza máxima de arrancamiento, en newtons.

d diámetro de la parte lisa de las patas cilíndricas para los tornillos y diámetro de nucleo en tornillos, en mm.

l_p profundidad de penetraci3n del elemento de fijaci3n incluyendo la punta, en mm.

3. Resultados y Discusi3n

3.1. Resultados experimentales de arrancamiento de Tornillos

La Tabla 1 muestra los resultados experimentales de la fuerza de arrancamiento de tornillos en las diferentes direcciones, la humedad, la densidad corregida al 12% de humedad y su análisis estadístico.

Tabla I. Resultados Experimentales al Arrancamiento de Tornillos

Parámetros	FUERZA DE ARRANCAMIENTO EN LAS DIFERENTES DIRECCIONES			Humedad (%)	$\rho_{12\%}$ (Kg/m ³)
	Tangencial (Nw)	Radial (Nw)	Longitudinal (Nw)		
MAXIMO	4886,36	4771,58	4543,99	12,34%	507,14
MINIMO	1242,93	98,10	1361,63	10,86%	349,64
PROMEDIO	3275,40	3465,50	3088,79	11,78%	402,10
DESVIO	612,52	593,13	583,38	0,002	30,08
COV	0,187	0,171	0,189	0,021	0,07
PERCENTIL 5%	2570,22	2787,22	2134,46	0,115	364,14
CANTIDAD	85	85	85	43	43

Al comparar los resultados de la fuerza de arrancamiento en tornillos, en funci3n de la cara ensayada, se observ3 que los valores en la direcci3n radial resultaron un 9% mayor que los valores en la direcci3n tangencial y un 30 % mayor que los obtenidos en la direcci3n longitudinal.

3.2. Parámetro de Arrancamiento según Norma UNE - EN 1382:2000

En la Tabla 2 se muestran los parámetros de arrancamiento de tornillos especificados en la norma. Siendo f_{long} el parámetro de arrancamiento longitudinal y f_{perp} el perpendicular que incluye el radial y tangencial.

Tabla II. Parámetro de Arrancamiento f – UNE–EN 1382

Parámetros	DIRECCION DE LOS ANILLOS	
	f_{long} (Nw/mm ²)	f_{perp} (Nw/mm ²)
MAXIMO	45,90	49,36
MINIMO	13,75	0,11
PROMEDIO	31,20	34,04
DESVIO	5,89	6,15
COV	0,19	0,18
CARACTERISTICO	14,44	13,85
CANTIDAD	85	170

3.3. Resistencia de Arrancamiento por unidad de longitud (CIRSOC 601)

El CIRSOC 601 propone suplementos y valores de referencia para tensiones admisibles en función del diámetro de tornillo y la densidad anhidra (G). El reglamento no distingue si es cara tangencial o radial, solo considera el caso de arrancamiento perpendicular a la fibra. Toma como condición normal de trabajo una carga de 10 años de duración, humedad menor del 19%, y una temperatura menor a 40°C. Los ensayos cumplen todas las condiciones anteriormente nombradas, salvo la duración de la aplicación de carga, que se puede estimar en 10 minutos, por lo que corresponde aplicar un coeficiente de corrección dado por la Tabla 4.3-2. Factor de duración de la carga (CD) y cuyo valor es de 1,6.

Para que el parámetro de arranque se exprese por unidad de longitud, a los valores de la Tabla 1 se los divide por la longitud de penetración del tornillo que es de 30 mm. La Tabla 3 muestra los valores de la resistencia a la extracción por unidad de longitud para la dirección longitudinal y perpendicular a los anillos de crecimiento y la densidad anhidra.

Tabla III. Arrancamiento por unidad de longitud en tornillos Tel Fix 8 x 2 1/2"

Parámetros	DIRECCION DE LOS ANILOS		Densidad Anhidra (Kg/cm ³)
	Long. (Nw/mm)	Perp. (Nw/mm)	
MAXIMO	151,466	162,879	476,71
MINIMO	45,388	3,270	321,98
PROMEDIO	102,960	112,348	372,89
DESVIO	19,446	20,288	29,25
COV	0,189	0,181	0,078
CARACTERISTICO	71,15	85,67	336,35
CANTIDAD	85	170	43

Si al valor característico del arrancamiento por unidad de longitud en la dirección perpendicular se le aplica el factor de corrección por duración de la carga, cuyo valor es de 1.6, se obtiene un valor de rotura de 53.54 N/mm, válido para una densidad anhidra de 336.35 Kg/cm³ y un diámetro de caña de tornillo de 4.50 mm.

En la tabla S.4.1.2-2 el CIRSOC 601 presenta valores de resistencia de extracción de diseño de referencia, W (N/mm), para tirafondos con diámetros mayores de 6.35 mm pero establece una expresión para obtener el W. Si aplicamos esta fórmula se obtiene un valor de resistencia a la extracción de 16.78 N/mm. Si se lo compara con el valor experimental 53.54 N/mm, nos da un coeficiente de seguridad de 3,19.

En la Tabla 3 se puede observar que los valores de arrancamiento en la dirección longitudinal, son un 17% menor que los valores de arrancamiento en la dirección perpendicular. A pesar que valores de este orden no serían despreciables, deberían usarse con precaución atendiendo a lo establecido en el reglamento CIRSOC 601, Capítulo 8.2.2.1. donde establece que: “Los valores indicados corresponden a elementos de fijación colocados sobre una cara o un canto del miembro estructural y con su eje perpendicular a la dirección de las fibras. Si el Proyectista Estructural decide ubicar elementos de fijación sometidos a una fuerza de extracción en el extremo de un miembro estructural, queda bajo su responsabilidad adoptar los valores de la resistencia a la extracción de diseño de referencia y los factores de ajuste correspondientes.”

4. Conclusiones

- A los fines prácticos es adecuado considerar en la construcción con madera la resistencia radial y tangencial como una única resistencia perpendicular tal como lo propone la Norma UNE – EN 1382:2000. Ya que en los valores experimentales la dirección radial fue un 9% mayor que la dirección tangencial.
- Los resultados por aplicación de la Norma UNE – EN 1382:2000 para la madera de *Populus deltoides* australiano 129/60 y tornillos autoperforantes de 3.3 mm de diámetro de núcleo, dan valores característicos de 13.85 N/mm² para el parámetro de arranque perpendicular a la fibra y de 14.44 N/mm² para el parámetro de arranque paralelo a la fibra.
- La resistencia a la extracción experimental resulto 3.19 veces mayor que los valores de diseño obtenidos de la expresión propuesta en el Suplemento 4 del CIRSOC 601, resultando muy conservador el planteo del reglamento.
- El reglamento CIRSOC 601, propone utilizar “solo” los valores de arrancamiento en la dirección perpendicular. Para el *Populus deltoides* australiano 129/60 los valores en la dirección longitudinal resultaron un 17% menor respecto de la dirección perpendicular; por lo que su uso se debería tener en cuenta.

Bibliografía

- Basterra L.A (2009) Diagnóstico y análisis de estructuras de madera, mediante técnicas no destructivas: Aplicación a la plaza mayor de CHINCHÓN (Madrid). Revista: Informe de la construcción, Vol.61, 516, 21-36.- ISSN 0020-0883.
- Filippetti, M.C. et. al. (2009) “Resistencia a la extracción de clavos y tornillos en madera de Pino Paraná” 14ª Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales.
- Calvo F. C et. al. (2002) Resistencia a la extracción de clavos y tornillos en la madera de Eucaliptus Grandis y Pino Elliotti/Taeda de la Provincia de Entre Rios-Argentina. VIII EBRAMEM.
- Asociación Española de Normalización y Certificación UNE-EN 384, (2010). “Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad”. Madrid. España.
- Asociación Española de Normalización y Certificación UNE-EN 1310 (1997), “Madera aserrada y madera enrollo. Método de medida de las singularidades”. Madrid. España
- Asociación Española de Normalización y Certificación UNE – EN 1382 (2000) – “Resistencia al arranque de los elementos de fijación en la madera” Madrid. España
- Asociación Española de Normalización y Certificación. Norma UNE - EN 14358 (2006) - Estructuras de Madera. “Cálculo del valor característico del percentil del 5% y criterio de aceptación para una muestra”
- Borodowski (2006). Alamos y sauces en el Delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. Jornadas de salicáceas 2006. Buenos Aires.
- Cortizo 2005. Crecimiento de cinco clones de Alamo en el Delta del Paraná I. Ensayo comparativo clonal. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (1963) IRAM 9532, Madera – Método de determinación de la humedad. Buenos Aires
- Reglamento Argentino de Estructuras de Madera “Disposiciones generales y requisitos para el diseño y construcción de estructuras de madera en edificaciones” CIRSOC 601 (2013)