



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

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

Marianela GIANNINI, Ileana MORENO, Joel OGGERO, Ebelyn RATTO

G.I.D.E.C. (Laprida N° 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 (clavos), insertados en maderas de Populus deltoides australiano 129/60, cultivado en el Delta del Río Paraná. La fuerza de extracción de clavos está en función de la estructura anisotrópica de la madera, por lo que en cada probeta se colocaron clavos lisos 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 3.02 respecto de los valores publicados en el CIRSOC 601 en el suplemento 4.

Palabras Claves: Populus deltoides australiano; Clavos; 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 sobre el comportamiento de la madera de reforestación, especialmente respecto de la fuerza de extracción de clavos en Populus deltoides australiano 129/60. Es necesario aumentar los esfuerzos para conocer más profundamente su comportamiento y brindar a los profesionales de la construcción, la información necesaria para diseñar y proyectar las estructuras con mayor seguridad y economía.

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”), alguno de los cuales comenzaron a manifestar problemas sanitarios (Cortizo, 2005).

El álamo en general se presenta como una especie de rápido crecimiento, baja densidad de la madera 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 homogeneidad de las plantaciones, si bien 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 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 clavos, 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 de la cara radial, como de la tangencial y de la longitudinal de las probetas.

1.2. Objetivos

- Determinar la fuerza de extracción de clavos según la norma UNE-EN 1382-2000, en probetas preparadas con madera de *Populus deltoides* australiano 129/60.
- Comparar los resultados obtenidos con los valores recomendados por el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera “CIRSOC 601”, y confirmar si la norma brinda una adecuada seguridad para el cálculo estructural.

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 periodos un poco más prolongados.

Esta se recibió, en forma de vigas aserradas 3” x 6”, en condiciones de secado natural. Durante un año se las estacionó en la facultad, 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 clavos utilizados son de acero con punta paris marca “Acindar” de 50,8 mm de longitud y 2.54 mm de diámetro.

2.2. Método

El ensayo se realizó sobre 45 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 clavo utilizado fue de 2.54 mm, con una penetración en la probeta de 30 mm de profundidad en las probetas empleando herramientas comunes. Dos se colocaron en la cara radial, dos en la tangencial y uno en cada cara longitudinal como se puede observar en Figura 1 y Figura 2.

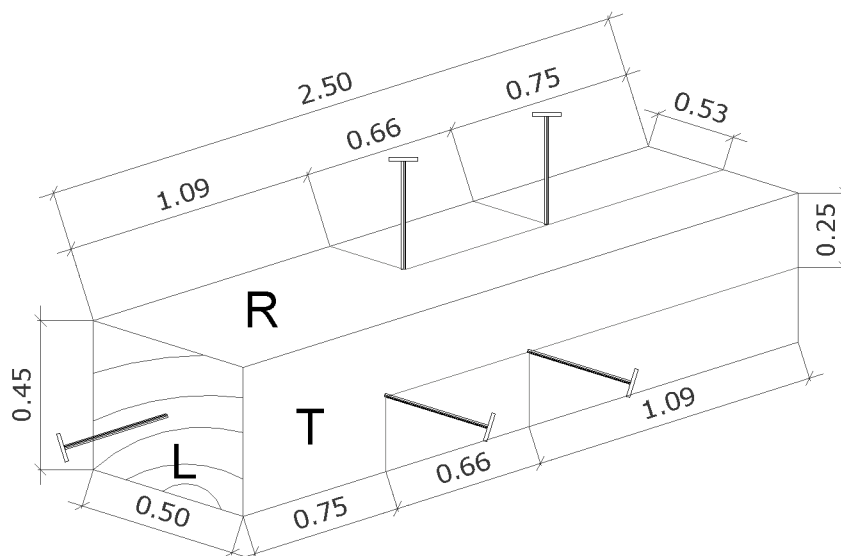


Figura 1. Esquema de colocación de clavos

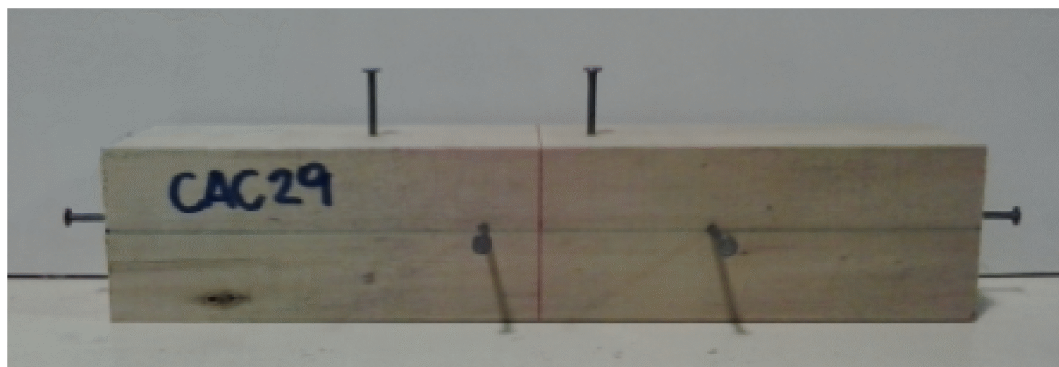


Figura 2. Probeta con los clavos en posición para ensayo

El procedimiento de ensayo se ajustó al descrito por la Norma EN 1382:2000. Se diseñó un dispositivo, tal como ilustra la Figura 3, 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 aparente se obtuvo según la UNE – EN 384:2000.



Figura 3. 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:

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

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

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

Donde :

\bar{y} promedio de las muestras

S_y desvío estándar

m_k valor característico.

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 con la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

El valor de la densidad aparente, para las muestras indicadas en Tabla 1, fue determinado utilizando la siguiente ecuación, que supone una distribución normal de los resultados:

$$\rho_{12\%} = \rho / ((1 - (H - 0.12)) / 2) \quad (5)$$

Donde:

H contenido de humedad.
 ρ densidad de la muestra.

El procedimiento de ensayo se realiza con una velocidad de carga constante tal que se alcance $F_{\text{máx}}$ en (90 ± 30) seg. con una precisión de 1%.

El parámetro de arrancamiento fue determinado utilizando la siguiente ecuación:

$$f = F_{\text{máx}} / d * l_p \quad (6)$$

Donde:

$F_{\text{máx}}$ fuerza máxima de arrancamiento.
 d diámetro del clavo.
 l_p longitud de penetración.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados experimentales de arrancamiento de clavos

La Tabla 1 muestra los resultados experimentales del arrancamiento de clavos y su análisis estadístico.

Tabla 1. Resultados Experimentales al Arrancamiento de Clavos

Parámetros	DIRECCION DE LOS ANILLOS			Humedad (%)	$\rho_{12\%}$
	Tangencial (N)	Radial (N)	Longitudinal (N)		
MAXIMO	875,05	1491,12	543,47	12,33%	398,40
MINIMO	116,74	156,96	117,72	12,97%	523,27
PROMEDIO	420,36	523,38	328,42	11,38%	363,90
DESVIO	174,87	208,54	101,18	0,117	371,93
COV	0,42	0,40	0,31	0,003	27,95
PERCENTIL 5%	192,67	263,89	185,85	0,027	0,07
CANTIDAD	90	88	90	45	45

Al comparar los resultados de fuerza de arrancamiento en clavos, en función de la cara ensayada, habiendo corregido la densidad al 12% de humedad según Norma EN 384:2010, se observó que los valores radiales resultaron un 36% mayor que los tangenciales y un 42 % mayor que los obtenidos en la cara longitudinal.

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

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

Tabla 2. Parámetro de Arrancamiento f – UNE–EN 1382

Parámetro	DIRECCION DE LOS ANILLOS	
	$f_{\text{long. (N/mm}^2\text{)}}$	$f_{\text{perp. (N/mm}^2\text{)}}$
MAXIMO	7,132	19,569
MINIMO	1,545	1,532
PROMEDIO	4,310	6,185
DESVIO	0,320	0,430
COV	0,074	0,070
CARACT. 14358	2,340	2,670
CANTIDAD	90,000	178,000

3.3. Parámetro 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 clavo 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.

Para que el parámetro sea por unidad de longitud, a los valores de la Tabla 1 se los dividió por la longitud de penetración del clavo (30mm), la Tabla 3 muestra los resultados para la dirección longitudinal y perpendicular.

Tabla 3. Arrancamiento por Unidad de Long. Para clavos de 2.54 mm

Parámetro	DIRECCION DE LOS ANILLOS		Densidad Anhidra (Kg/cm ³)
	Long. (N/mm)	Perp. (N/mm)	
MAXIMO	18,12	49,70	368,53
MINIMO	3,92	3,89	490,43
PROMEDIO	10,95	15,71	335,77
DESVIO	0,32	0,43	0,07
COV	0,03	0,03	0,00
CARACT. 14358	5,84	6,79	324,48
CANTIDAD	90,00	178,00	45,00

Si al valor característico en la dirección perpendicular se le aplica el factor corrección por duración de la carga de 1.6, según la tabla 4.3-2 del CIRSOC 601, nos da un valor de rotura de 4.24 N/mm.

Para una densidad anhidra de 324.48 Kg/cm³ y un diámetro de clavo de 2.54 mm, el CIRSOC 601, propone un valor de resistencia de extracción de diseño de referencia $W=1.4$ N/mm, obtenido de tabla S.4.1.2-1 (Uniones con clavos lisos sometidas a una carga de extracción.).

Si se divide el valor de rotura (4,24 N/mm) con el admisible propuesto por el reglamento (1.4 N/mm) se obtiene un coeficiente de seguridad de 3.

4. Conclusiones

- Los resultados por aplicación de la Norma UNE – EN 1382:2000 para la madera de *Populus deltoides* australiano 129/60 y clavos lisos de 2.54 mm de diámetro, dan valores característicos de 2,67 N/mm² para el parámetro de arranque perpendicular a la fibra y de 2,34 N/mm² para el parámetro de arranque paralelo a la fibra.
- Los valores característicos obtenidos experimentalmente para la resistencia al arrancamiento en la dirección radial fueron un 35% mayor que para la dirección tangencial a los anillos de crecimiento, siendo ambas muy superiores a la resistencia en la dirección longitudinal. A los fines prácticos considerar la resistencia radial y tangencial como perpendicular en la construcción con madera, resultaría adecuado.
- Los valores de arrancamiento por unidad de longitud obtenidos experimentalmente para clavos de 2,54 mm de diámetro y madera de *Populus deltoides* australiano 129/60 de densidad anhidra de 324.48 Kg/cm³, se ajustan con un coeficiente de seguridad 3 a los valores de diseño propuestos en el Suplemento 4 del CIRSOC 601 que expresa la resistencia a la extracción de diseño de referencia, por cada clavo y por cada mm de penetración.

Bibliografía

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)