

Propiedades mecánicas de madera aserrada de álamo *Populus x canadensis* Conti 12

Ricardo Bassotti; Cristian Balastegui; Nicolás Cortizo; Cristian Bay
Grupo GEDEC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael
rbassotti@frsr.utn.edu.ar

Resumen

Uno de los géneros forestales de mayor relevancia implantados en la provincia de Mendoza es el *Populus* y en particular uno de sus clones el *Populus x canadensis* 'conti 12', por sus características de desarrollo y sanidad respecto del ataque de plagas. El uso como materia prima para la elaboración de sistemas estructurales (secciones aserradas o madera laminada encolada), despierta gran interés para la incorporación de valor agregado al producto obtenido de la tala. Se realiza un trabajo de investigación con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas como el Módulo Resistente a Flexión (MOR) y el Módulo de Elasticidad Global (MOE) y la densidad de madera aserrada del clon indicado, siguiendo los requerimientos establecidos en las Normas IRAM 9663 y 9664. Se presentan los resultados obtenidos de MOR, MOE y densidad de ensayos a flexión realizados en tablas y alfajías, de material proveniente de plantaciones próximas a la ciudad de Tunuyán, todos ubicados en el oasis irrigado centro de la provincia de Mendoza.

Palabras Clave: conti 12 – madera aserrada – MOR – MOE – densidad

1. Introducción

El álamo es una de las especies forestales de mayor importancia en la provincia de Mendoza, que ocupa más del 90% de los bosques cultivados y luego los eucaliptos que representan alrededor del 5%, según la información técnica aportada por los profesionales de la Región Cuyo Forestal [1].

El uso que se da a las variedades forestales de álamo implantadas es variado y entre los industriales se destacan los de madera triturada para la realización de tableros aglomerados, madera debobinada para la elaboración de contrachapados, embalajes livianos, fósforos y palitos para helado y la madera aserrada utilizada para carpintería, cajonería, lápices, y en mucho menor medida para revestimientos machihembrados y secciones macizas y laminadas para uso estructural.

La aprobación del Reglamento CIRSOC 601 de estructuras de madera en el año 2013 y su posterior actualización del año 2016 [2], para el proyecto y la construcción de obras públicas de carácter nacional cualquiera sea su forma de contratación y de ejecución, por parte de la Secretaría de Obras Públicas dependiente del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Viviendas de la Nación, exige el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las distintas especies forestales del territorio nacional, para ser utilizadas en la construcción de estructuras de madera, tanto con secciones aserradas como utilizando secciones realizadas con madera laminada encolada.

En la actualidad se ha logrado la caracterización física y mecánica de las especies forestales Pino paraná, Eucalipto grandis y Pino taeda y elliotii, *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' que han permitido la redacción de las Normas IRAM 9662-1/2/3/4 [3-6] y recientemente se ha publicado el Suplemento del reglamento CIRSOC 601-2016 – Edición 2020-1 [7], en el cual se incorporan los valores de diseño de referencia del *Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson (pino ponderosa).

En los oasis norte, centro y sur de la provincia de Mendoza, se ha promovido la plantación de bosques de la variedad *Populus x canadensis* 'conti 12' [8], por sus características referidas a la velocidad de crecimiento y sanidad respecto del ataque de plagas. Existen muchos estudios realizados referidos a este clon [9-11], pero se hace necesario poder obtener las propiedades físicas y mecánicas de secciones aserradas de dimensiones reales de uso, para poder caracterizar la misma para su aplicación en estructuras.

Se desarrolla un trabajo de investigación en el grupo GEDEC del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional, orientado específicamente a la especie forestal 'conti 12', con el objetivo determinar las propiedades mecánicas y la densidad, valores de interés desde el punto de vista estructural.

Se presentan resultados de Módulo Resistente a Flexión (MOR), el Módulo de Elasticidad Global (MOE) y la Densidad, y las relaciones existentes entre los mismos, como así también una serie de perfiles que muestran las variaciones en los valores de las variables detalladas anteriormente.

2. Materiales y Métodos

Las muestras por ensayar se han obtenido de la tala de cuatro árboles con la siguiente localización geográfica: dos árboles de una finca localizada en la zona denominada Capiz, en el departamento de San Carlos y los otros dos en otra finca de la zona denominada La Primavera, del departamento de Tunuyán. Los árboles presentaron presencia de poda hasta los 8 m de altura y un diámetro a la altura de pecho (DAP) promedio de 30 cm, con una edad entre 10 y 12 años. El peso promedio de cada árbol resulto de 700 kg.

Las trozas de 2,4 m de longitud fueron aserradas en tablas y alfajías de las siguientes dimensiones transversales, nominales y reales: 1" x 4" nominal (25mm x 96mm, promedio real), y 1" x 5" nominal (25 mm x 119 mm, promedio real), en forma de tablas y 2" x 4" nominal (50 mm x 87 mm, promedio real), en forma de alfajías. Se presentan en la Tabla 1, las cantidades obtenidas de cada una de las tipologías detalladas anteriormente.

Tabla 1. Cantidades de secciones aserradas

TIPOLOGÍA	CANTIDAD
SECCIÓN 1"X 4"	58
SECCIÓN 1"X 5"	68
SECCIÓN 2"X 4"	53
TOTAL	179

La madera aserrada se trasladó posteriormente al Laboratorio de Estructuras de la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional, ubicado en la ciudad de San Rafael y se estibó en dicho lugar a los efectos de terminar el proceso de secado natural hasta alcanzar la humedad de equilibrio y proceder a la realización de los ensayos.

Los ensayos se realizan siguiendo las directivas establecidas en las normas IRAM 9664 – Madera Estructural – Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad [12] e IRAM 9663 – Estructuras de Madera – Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural – Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas [13].

Previo a la realización de los ensayos a flexión de las probetas, que se realizan hasta alcanzar la rotura, se caracteriza cada una de ellas, realizando una serie de mediciones y determinaciones, siendo las más significativas las correspondientes a la medición de la sección transversal promedio, la observación de la presencia o no de médula y la medición de la ubicación y las dimensiones de los nudos, a fin de determinar la nudosidad.

En los nudos individuales, se calcula el valor que se define como nudosidad, como 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 a él que sean paralelas al eje de la pieza. Si un mismo nudo se manifiesta en distintas superficies de la pieza, la nudosidad se calcula en forma independiente en cada una de ellas. En los nudos de arista, la nudosidad se expresa como el menor valor de los correspondientes a las dos superficies donde se manifiesta, según lo establecido en cualquiera de las series de la Norma IRAM 9662.

La determinación de la resistencia a flexión (MOR) se realiza para cada una de las probetas y posteriormente se realiza un ajuste para una altura de referencia de 150 mm, según se establece en la norma IRAM 9664. Los valores obtenidos no deben ser corregidos por el contenido de humedad.

La probeta se debe cargar en flexión sobre dos puntos simétricos separados una distancia igual a 6 veces la altura, en los tercios centrales, con una longitud total entre apoyos igual a 18 veces la altura. La probeta debe quedar simplemente apoyada y la carga se debe aplicar con una velocidad constante de avance del cabezal de carga. El tiempo total del ensayo debe estar comprendido entre 3 y 7 minutos. En el caso de las tablas, la longitud total de las mismas es de 500 mm y en las alfajías se usa la longitud total aserrada.

Para la determinación del módulo de elasticidad global (MOE), se realiza la medición de la deformación en el centro de la luz y en el centro del borde traccionado, durante la realización del ensayo de flexión. El equipo de medición se retira una vez que la carga alcance el valor de 0,4 de la carga máxima estimada.

Se corrigen los valores del módulo de elasticidad, según lo establecido en la norma IRAM 9664. Las probetas cuyo contenido de humedad esté comprendido entre el 8% y el 18% deben ajustarse al 12%. Las probetas cuyo contenido de humedad sea mayor del 18% deben corregirse desde un contenido de humedad del 18% y no desde su contenido de humedad real. Para el módulo de elasticidad la corrección será del 1% por cada variación del 1% del contenido de humedad. Las correcciones deben realizarse de forma que las propiedades aumenten su valor si los datos se corrigen desde un contenido de humedad mayor y viceversa.

La determinación de la densidad se realiza para cada una de las probetas, utilizando un trozo que se extrae de la misma una vez ensayada y próximo al tramo central. Luego se realiza una corrección en función del contenido de humedad y según lo especificado en la norma IRAM 9664, que establece que cuando el contenido de humedad sea menor del 12% la densidad debe aumentarse un 0,5% por cada 1% de variación del contenido de humedad y viceversa.

3. Resultados y Discusiones

Se presentan los resultados obtenidos de MOR, MOE y Densidad, de tablas y alfajías, disponiendo en el equipo de ensayo, en el caso de las tablas la dimensión mayor en forma horizontal y en el caso de las alfajías el canto menor en forma horizontal.

Se incluyen los valores mínimo, medio y máximo, corregidos, la desviación estándar, el coeficiente de variación (COV) y el valor del percentil 5% (P5%), de las distintas muestras. En la Tabla 2 se incluyen los resultados de las 179 probetas.

Tabla 2. Propiedades mecánicas y densidad de las muestras

	MOR	MOE	DENSIDAD
	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³
Mínimo	16.05	4700	339
Medio	38.41	8797	387
Máximo	60.98	15139	466
Desviación	9.46	1493	29
COV	0.25	0.17	0.07
Percentil 5%	22.95	6475	347

Se presentan en la Figura 1 la relación entre la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad global en flexión y la resistencia a flexión y la densidad.

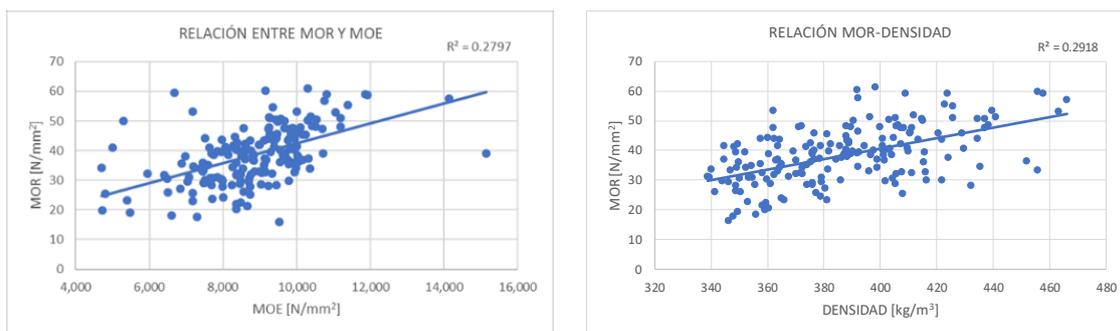


Fig. 1. Relación entre las variables MOR-MOE y MOR-Densidad

Se aprecia que el valor de la resistencia en flexión aumenta a medida que aumenta el módulo de elasticidad en flexión, situación común a los ensayos realizados con otros clones de madera de álamo, efectuados anteriormente y lo mismo sucede con los valores de la densidad.

Se presenta en la Figura 2 la relación entre el MOE y la densidad y el MOR y la nudosidad. Se aprecia que el valor del MOE aumenta a medida que aumenta la densidad, y el MOR disminuye al aumentar los valores de la nudosidad.

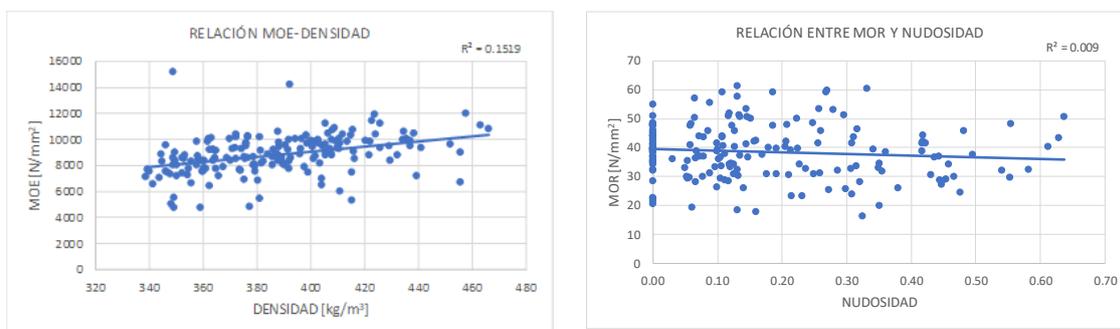


Fig. 2. Relación entre las variables MOE-Densidad y MOR- Nudosidad

Se determina el contenido de humedad de cada una de las muestras ensayadas según lo establecido en la Norma IRAM 9532 – Maderas – Método de determinación de la humedad [14]. El valor promedio del contenido de humedad resulta de 9,5%, para todas las muestras.

En la Tabla 3 se presenta la nudosidad acumulada para todas las muestras divididas en seis segmentos. Se puede apreciar que el 83% de las muestras presentan una nudosidad inferior a $K=1/3$ y el 100% presenta una nudosidad inferior a $K=2/3$. Además, casi la totalidad de muestras presentan una nudosidad $K=1/2$. La nudosidad promedio resulto de $K=0,17$.

Tabla 3. Nudosidad acumulada

		Nudosidad K					
		1/6	1/3	1/2	2/3	5/6	1
Nudosidad n	108	148	172	179	179	179	
acumulada %	60%	83%	96%	100%	100%	100%	

Se analizan 7 perfiles de clasificación visual resistente. Se utilizan como límites de clasificación la presencia de médula y la nudosidad.

Tabla 4. Perfiles de resistencia, rigidez y densidad

Perfiles	f_m	$f_{m,05}$	$E_{m,g}$	ρ_m	ρ_{05}	Cantidad		
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³	n	%	
1 Todos	38.41	22.95	8797	387	347	179	100	
2 SM	38.55	23.01	8886	386	347	143	80	
	AM	37.88	23.12	8444	394	346	36	20
3 AM; K<1/3	39.08	22.70	8808	388	346	148	83	
	AM; K<2/3	35.23	24.99	8745	383	350	31	17
4 SM; K<1/3	38.75	22.66	8877	386	347	126	70	
	AM; K<2/3	37.61	24.99	8609	390	349	53	30
5 SM; K<1/4	38.71	22.86	8863	386	348	115	64	
	AM; K<1/2	37.69	22.88	8597	389	346	57	32
	Descarte	39.38	30.24	9352	393	363	7	4
6 AM; K<1/4	38.93	22.70	8827	387	347	128	72	
	AM; K<1/2	36.76	23.75	8622	389	347	44	25
7 Descarte	39.38	30.24	9352	393	363	7	4	
	SM; K<1/2	38.44	23.00	8866	386	347	141	79
AM; K<3/4	38.29	23.57	8541	394	347	38	21	

f_m : valor medio de la resistencia a flexión. $f_{m,05}$: percentil 5% de la resistencia a flexión. $E_{m,g}$: valor medio del módulo de elasticidad global. ρ_m : valor medio de la densidad. ρ_{05} : percentil 5% de la densidad. n: cantidad. SM: sin médula. AM: admite médula. K: nudosidad.

Para el MOR se presenta el valor medio y el percentil 5%, para el MOE el valor medio y para la densidad el valor medio y el percentil 5%. En la Tabla 4 se observan los valores de resistencia, rigidez y densidad, para los siete perfiles de clasificación estudiados.

Del análisis de los diferentes perfiles se puede apreciar que analizando en primer lugar el valor de la resistencia flexión, en el caso del perfil 1 se puede considerar con mucha razonabilidad que el valor medio es de 38,4 N/mm² y el valor del percentil 5% es de 23 N/mm². La comparación con los valores del perfil 2, no permite inferir ninguna variación entre las probetas con médula y sin médula.

Del análisis de los perfiles 3 y 4 que tienen en cuenta los valores de nudosidad K y la presencia o no de médula, en el caso de los valores medios de la resistencia, son mayores en un 11% para la nudosidad menor en el perfil 3 y un 3% en el perfil 4. Pero al evaluar la misma

condición para el percentil 5% del valor de resistencia, la relación se invierte, siendo mayores los valores de resistencia de la nudosidad más grande, en ambos casos en un 10%. Esta distorsión debe ser consecuencia de los valores de la nudosidad detallados anteriormente, que concentran prácticamente todas las probetas en valores de nudosidad menores a 1/2.

El análisis de esos dos perfiles muestra que los valores del percentil 5% del módulo resistente es similar en las dos situaciones y por lo tanto tener en cuenta la presencia de médula o no para el valor de nudosidad $k < 1/3$ no produce ninguna modificación significativa en los resultados.

En el caso de los perfiles 5, 6 y 7, la variabilidad de resultados es tan escasa que no puede apreciarse una diferencia significativa al cambiar la nudosidad y la presencia o no de médula, siendo los valores prácticamente iguales a los obtenidos para todas las probetas.

Para el MOE medio, podemos considerar un valor de 8.800 N/mm² para todas las probetas. Analizando los valores obtenidos para los diferentes perfiles y además para las distintas variaciones de nudosidad y presencia de médula, las diferencias más grandes alcanzan valores del 5%, variación no significativa.

En referencia a los valores de densidad se puede apreciar que para todos los perfiles podrían adoptarse valores medios de 390 kg/m³ y de 350 kg/m³ del percentil 5%, debido a la escasa variabilidad existente entre los mismos.

Los resultados obtenidos permiten obtener una caracterización de propiedades mecánicas y densidad de una muestra caracterizada por su procedencia y cantidad y además con un sesgo muy marcado de calidad que podríamos considerar Clase 1, haciendo una analogía con las propiedades incluidas en normas de las otras especies forestales mencionadas anteriormente.

Se presenta en la Tabla 5 una comparación de resultados con los obtenidos de ensayos realizados a *Populus deltoides* Australiano 129/60 y Stoneville 67, implantados en el noroeste de la provincia de Buenos Aires [15].

Tabla 5. Comparación de valores para Australiano 129/60-Stoneville 67 vs. Conti 12

CLON	MOR [N/mm ²]		MOE [N/mm ²]	DENSIDAD [kg/m ³]	
	MEDIO	PERC. 5%	MEDIO	MEDIA	PERC. 5%
Australiano 129/60 y Stoneville 67	39,8	26,2	10.912	461	406
Conti 12	38,4	23,0	8.800	387	347

4. Conclusiones

Se presentan los resultados de ensayo a flexión de una serie de 179 probetas de *Populus x canadensis* 'conti 12', de secciones transversales nominales 1"x 4", 1"x 5" y 2"x 4", obtenidas del aserrado de cuatro árboles implantados en el oasis centro de la provincia de Mendoza, en fincas cercanas a la ciudad de Tunuyán. La procedencia de las plantas que garantizan la tipología de la especie forestal ha sido realizada por profesionales de la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial de la Secretaría de Agroindustria de la Nación.

Se determinan el valor medio y el correspondiente al percentil 5 de la resistencia a flexión, MOR, corregido a una altura de referencia de 150 mm, el valor medio del módulo de elasticidad en flexión, MOE, corregido en relación con el contenido de humedad y el valor medio y el del percentil 5 de la densidad, corregido también en relación con el contenido de humedad.

Los valores del MOR para todas las probetas resultan de 38,41 N/mm² para el valor medio y de 22,95 N/mm² para el valor del percentil 5%.

El valor medio del MOE global corregido resulta de 8.797 N/mm² para todas las probetas, y la variación del mismo entre los distintos perfiles y las diversas opciones consideradas en cada perfil, sin tener en cuenta los valores del descarte, es de un 5%, que permite suponer un valor único para todos los casos, que podría adoptarse en 8.800 N/mm².

Los valores de Densidad corregidos alcanzan un valor de 387 kg/m³ para el valor medio y 347 kg/m³ para el valor del percentil 5%. Las diferencias de los valores obtenidos para cada una de las opciones de los diferentes perfiles, con un valor máximo de 2%, permiten considerar valores únicos aceptables de densidad media de 390 kg/m³ y para el percentil 5% un valor único aceptable de 350 kg/m³.

Se aprecia el aumento del valor del MOR al aumentar el valor del MOE, como así también el aumento del valor del MOR al aumentar el valor de la Densidad.

Respecto de la nudosidad, el aumento de esta presenta una tendencia a la disminución del valor del MOR.

El 96% de las probetas corresponden a una clasificación visual con valor de nudosidad $K \leq 1/2$ y el 83% un valor de nudosidad $K \leq 1/3$.

Se analizan una serie de perfiles de clasificación visual resistente y como resultado de estos no se puede obtener una clara diferenciación en los valores de las variables mecánicas y la densidad, que permitan definir una clase superior y una inferior, teniendo en cuenta la variación de la nudosidad y la presencia de médula.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación ECUTISR0005225TC. El autor agradece a la Universidad Tecnológica Nacional por el soporte de financiamiento necesario para acceder al equipamiento y el apoyo para la realización del proyecto de investigación.

Al personal técnico y profesional de la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial de la Secretaría de Agroindustria de la Nación, en particular a la Ing. Agr. Natalia Naves.

El autor desea expresar su agradecimiento a los alumnos becarios de Ingeniería Civil, Florencia Prósperi, Adelina Serrano y Fernando Barrionuevo, por su colaboración en la faz experimental y el procesamiento de la información, que hicieron posible el desarrollo experimental del proyecto.

Bibliografía

[1] Región Cuyo Forestal – Recuperado de: <http://regioncuyoforestal.blogspot.com/p/informacion-tecnica.html>.

[2] Reglamento CIRSOC 601 – Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI – Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles – CIRSOC. 2016.

