

Resistencia y rigidez de tablas destinadas a la fabricación de madera laminada encolada estructural. Análisis comparativo entre el pino resinoso (*Pinus taeda/elliottii*) y el álamo (*Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67')

FANK P.¹; STEFANI P.²; PITER J.³

¹ Becaria doctoral CONICET, Depto. de Ing. Civil, Fac. Regional C. del Uruguay, UTN. pamela_fank@yahoo.com.ar; ² Investigador, ECOMATERIALES-INTEMA-CONICET, Fac. de Ingeniería, UNMdP. pmstefan@fi.mdp.edu.ar; ³ Investigador, Grupo de Estudio de Maderas, Depto. de Ing. Civil, Fac. Regional C. del Uruguay, UTN. piterj@frcu.utn.edu.ar

Resumen

La evolución de la producción de madera de álamo cultivado en el delta del río Paraná ha despertado interés por su utilización en la fabricación de madera laminada encolada estructural. En nuestro país, la norma IRAM 9660-1 (2006) establece los requisitos de fabricación y control para este producto y brinda los valores característicos para sus propiedades mecánicas. Dicha norma se complementa con la IRAM 9662 (2006), que establece métodos visuales de clasificación por resistencia de las láminas componentes y provee los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de cada clase, abarcando las especies *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda/elliottii*. Actualmente, ambas normas se encuentran en revisión para incorporar la madera obtenida de los clones: *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67'. Considerando que conforme a la normativa europea (EN 338 2010) la madera aserrada obtenida de especies de Coníferas posee un comportamiento mecánico similar a la de álamos, y con el propósito de aportar al análisis de estas normas, se efectuó un estudio comparativo de la resistencia y el módulo de elasticidad, así como de la densidad, de las tablas obtenidas de los clones antes mencionados y las provenientes de plantaciones de pino resinoso. Se clasificaron y ensayaron a flexión 351 tablas de los dos clones mencionados y 100 tablas de *Pinus taeda* y *elliottii* procedentes de Misiones. En ambos casos las muestras se obtuvieron al azar, siendo representativas de la calidad de madera usualmente obtenida en las zonas de producción. Los resultados obtenidos para el 5-percentil de la resistencia a flexión mostraron valores de 27,6 N/mm² y 25,9 N/mm² para la clase superior de pino y álamo respectivamente, en tanto que para la segunda clase los correspondientes valores fueron 16,9 N/mm² y 19,2 N/mm². El módulo de elasticidad, por su parte, mostró en la clase 1 valores medios de 10799 N/mm² y 10326 N/mm² para las tablas de pino y de álamo respectivamente, siendo los resultados correspondientes para la segunda clase 7123 N/mm² y 8976 N/mm². En consecuencia, razones tanto técnicas como económicas alientan la utilización del material investigado para la fabricación de madera laminada estructural.

Palabras clave: *Populus deltoides*; *Pinus taeda/elliottii*; resistencia; rigidez; densidad.

Introducción

La superficie de bosques cultivados en nuestro país alcanza aproximadamente 1,12 millones de ha, de las cuales el 59 % está constituida por plantaciones de Coníferas, el 25 % por eucaliptos, el 10 % por Salicáceas y el 6 % por otras de menor entidad (FAO 2004). Además, un análisis de la distribución regional de los bosques implantados con Coníferas indica que el 83 % del total nacional se ubica en las provincias de Misiones y Corrientes, donde se destaca principalmente el pino resinoso de las especies *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* (SIFIP 2009). Asimismo, el 58 % del total de los bosques cultivados con Salicáceas se encuentra en el Delta del río Paraná siendo –para el caso de los álamos- los clones ‘Australiano 129/60’, ‘Australiano 106/60’ y ‘Stoneville 67’ los más plantados (Borodowski 2006).

Desde el punto de vista del uso de la madera como material para la construcción, este material se destaca por presentar una excelente relación peso/resistencia debido a la eficiencia estructural de sus células fibrosas y tubulares, lo que lo convierte en un material adecuado y al mismo tiempo muy ligero (Pfeil 1994). No obstante, se debe tener presente que la madera es un material heterogéneo, de comportamiento altamente variable y anisotrópico. Esta variabilidad puede resultar muy significativa considerando que en el proceso de aserrado del tronco para obtener piezas de madera escuadrada se interrumpe, en cierto grado, la estructura natural del árbol (Argüelles et al. 2000; Chan Martín et al. 2002). A la vez, dentro de un lote de madera aserrada de la misma especie no clasificada, el valor de la pieza con la máxima resistencia puede ser del orden de 10 veces mayor que la pieza con una menor resistencia. Además, las propiedades resistentes serán más variables cuanto más pequeña y delgada resulte la sección de la pieza (Glos 1995b). En consecuencia, es imprescindible que la madera aserrada sea clasificada en diferentes calidades asociadas a propiedades resistentes mínimas, para asegurar así un nivel de confianza razonable para el empleo de este material en la construcción.

Las propiedades más importantes para la clasificación por resistencia son la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad en flexión y la densidad (Glos 1995a), las cuales son determinadas directa o indirectamente en el proceso de caracterización mecánica de una madera. En la actualidad, para la realización de los ensayos se emplean probetas de tamaño estructural usual, representativas de la calidad y dimensiones del material empleado en las construcciones (Hermoso Pietro 2001; Íñiguez González 2007).

El sistema más utilizado en el país para la caracterización de madera aserrada es el basado en la clasificación visual y posterior asignación de las piezas a clases resistentes. Consiste en la inspección visual evaluando las singularidades que aparecen en cada una de las piezas. Es importante tener en cuenta que no todas las singularidades tienen el mismo peso como indicadores de calidad, ya que algunas producen efectos más perjudiciales sobre las propiedades mecánicas que otras, y por ello resultan determinantes aquellos defectos que tienen una relación directa con la variación de la estructura interna de la madera (Carreira et al. 2006; Guillaumet et al. 2007; Piter et al. 2004).

A nivel internacional, la normativa europea EN 338 (2010) establece un sistema de clases resistentes para madera aserrada dividido en dos bloques, uno para especies de Coníferas y otro para Latifoliadas. Esto se debe al hecho de que ambos grupos de maderas presentan diferentes estructuras anatómicas, lo que conlleva que exhiban diferentes relaciones entre sus propiedades. En general, las Latifoliadas presentan una menor relación rigidez/densidad que las Coníferas. Como excepción se puede citar al álamo, especie que ha despertado gran interés para su empleo con fines estructurales, y cuya madera muestra una relación rigidez/densidad similar a la de las Coníferas y, por ende, es asignada a las clases resistentes pertenecientes a dicho grupo (Glos 1995a).

En nuestro país, la norma IRAM 9662 (2006) establece métodos para la clasificación visual en grados de resistencia de las tablas destinadas a la fabricación de madera laminada encolada estructural. La misma adopta dos clases de resistencia y provee los valores característicos de

las propiedades mecánicas y la densidad de cada clase, abarcando las especies *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda/elliottii*. Dicha norma complementa a la IRAM 9660-1 (2006), la cual establece los requisitos de fabricación y control para la madera laminada encolada estructural - producto derivado de la madera más utilizado con fines estructurales - y brinda los valores característicos de sus propiedades mecánicas más importantes. Actualmente, ambas normas se encuentran en revisión para incorporar la madera obtenida de los clones *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67'.

Por otra parte, la reciente redacción del primer Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (INTI CIRSOC 601 2013) –actualmente en trámite de aprobación en la Secretaría de Obras Públicas de la Nación- sitúa a Argentina en condiciones de consolidar la utilización de este material en estructuras y de equiparlo a otros tradicionales. No obstante, para lograr ese fin es necesario que el proyectista estructural cuente con información confiable acerca del comportamiento mecánico de nuestras especies, lo cual debe lograrse a través de investigaciones desarrolladas siguiendo los modernos criterios de análisis estadístico y procedimientos de ensayos estáticos en tamaño estructural adoptados recientemente por la normativa nacional (IRAM 9663-1 2013; IRAM 9664 2013).

El objetivo del presente trabajo es presentar y discutir los resultados obtenidos de un proyecto empírico orientado a efectuar un estudio comparativo de la resistencia, el módulo de elasticidad y la densidad, de tablas de álamo de los clones *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' y de pino resinoso de las especies *Pinus taeda/elliottii*. El análisis persigue efectuar un aporte al proceso de revisión de las normas IRAM 9660 y 9662 antes mencionadas.

Materiales y métodos

El material destinado a la investigación empírica estuvo compuesto por 351 tablas de álamo (183 de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 168 de *Populus deltoides* 'Stoneville 67') y 100 tablas de pino resinoso (50 de *Pinus taeda* y 50 de *Pinus elliottii*), cuyas dimensiones nominales promedio fueron de 105 x 25,4 x 2000 (mm) y 106 x 26,2 x 3050 (mm) respectivamente. Se adoptaron las secciones transversales mencionadas por ser de uso frecuente en el país tanto en calidad de madera aserrada como en la condición de láminas destinadas a la construcción de vigas laminadas encoladas. Las piezas necesarias para preparar la muestra de ambos clones de álamo fueron obtenidas de una plantación ubicada en el delta del río Paraná en la provincia de Buenos Aires, con árboles de edades comprendidas entre los 10 y 16 años. Las piezas requeridas para la muestra de las dos especies de pino resinoso fueron extraídas de árboles cultivados en la provincia de Misiones, los de *Pinus taeda* fueron obtenidos de una plantación de 30 años de edad sometida a dos turnos de poda, y los de *Pinus elliottii* de una forestación de 27 años de edad sin práctica de poda. Luego de realizado el apeo y corte de trozas, el aserrado se produjo siguiendo los procesos habituales en los establecimientos que las empresas proveedoras del material utilizan para su producción.

Las tablas fueron secadas en horno en el lugar de origen y luego enviadas al laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Concepción del Uruguay - UTN, donde fueron identificadas y posteriormente cepilladas. Se seleccionaron los cuerpos de prueba (Cuadro 1) disponiendo las secciones más débiles en la zona de máximo esfuerzo prevista para los ensayos. En el caso del álamo se extrajo solo una probeta por tabla. Para el pino resinoso se obtuvieron dos con el fin de contemplar un mayor rango de nudosidades, porque la mayoría de las tablas presentaban nudos que abarcaban un gran porcentaje de su sección transversal.

Cuadro 1. Muestras preparadas para los ensayos a flexión de plano

Muestra	Clon / Especie	Cantidad de cuerpos de prueba (n)	Dimensiones promedio (mm)
1 – Tablas de álamo (<i>Populus deltoides</i>)	'Australiano 129/60'	183	102 x 21,6 x 500
	'Stoneville 67'	168	105 x 20,3 x 500
2 – Tablas de pino resinoso	<i>Pinus taeda</i>	100	105 x 24,4 x 500
	<i>Pinus elliottii</i>	100	105 x 24,4 x 500

Se preparó cada cuerpo de prueba respetando la longitud reglamentaria total mínima (igual a 19 veces la altura de la sección) establecida en la norma IRAM 9663-1 (2013). Luego los mismos fueron numerados y colocados en la cámara climatizada a una temperatura y humedad relativa ambiente de 20+/-2 °C y 65+/-5% respectivamente.

La metodología empleada fue similar para ambas muestras. En primera instancia se determinaron las dimensiones reales de las probetas, luego se registraron los parámetros de detección visual con influencia sobre el comportamiento mecánico. La muestra de pino resinoso fue clasificada conforme a los lineamientos establecidos en la norma IRAM 9662-3 (2006), asignando cada pieza a un grado de calidad (clase 1, clase 2 o descarte). La muestra de álamo fue clasificada de acuerdo a un método de clasificación por resistencia desarrollado por el grupo Grupo de Estudio de Maderas (GEMA) de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la UTN para los clones *Populus deltoides* "Australiano 129/60" y "Stoneville 67", el cual se encuentra en estudio para ser incorporado como parte 4 de la norma IRAM 9662. Este método contempla dos clases resistentes siendo los parámetros más importantes la presencia de médula y la nudosidad. La clase 1 no admite médula y establece 1/3 como límite superior de la nudosidad, la cual se calcula como el cociente entre la dimensión del nudo mayor -medida entre tangentes a éste y paralelas al eje de la pieza- y el ancho de la superficie en la cual se manifiesta. La clase 2 admite piezas con médula y nudosidad hasta 2/3. Las tablas con nudosidad superior a 2/3 y aquellas con ataques biológicos se descartan pues los orificios causados por el taladrillo producen galerías que constituyen un daño imposible de mensurar en la sección transversal del material. Un aspecto a destacar es que en las piezas de álamo no se contempla el tamaño de los anillos de crecimiento como parámetro de clasificación, como sí ocurre en las de pino resinoso. Esto se debe a la falta de nitidez que los mismos presentan en dicha especie; no obstante, el método fija un límite inferior para el valor de la densidad evitando así que ésta resulte excepcionalmente baja.

Una vez acondicionados y clasificados los cuerpos de prueba, se llevaron a cabo los ensayos estáticos de flexión conforme a las prescripciones de la norma IRAM 9663-1 (2013). Para la aplicación de las cargas se utilizó una máquina de ensayos universales con capacidad de desplazar el cabezal a velocidad constante y precisión igual al 1% de la carga aplicada. Se utilizaron adecuados dispositivos de aplicación de cargas y de apoyo, los cuales pueden apreciarse en la Figura 1.



Figura 1. Ensayos estáticos de flexión. A la izquierda un cuerpo de prueba de pino resinoso y a la derecha uno de álamo

Los cuerpos de prueba fueron ubicados con una separación entre apoyos igual a 18h, siendo h la altura de la sección transversal (espesor de la tabla) y cargados simétricamente a una distancia igual a 6h de cada apoyo (Ver Figura 2). En los puntos de apoyo y de aplicación de la carga se colocaron placas de acero de ancho no mayor que la mitad de la altura de la probeta, con objeto de reducir el aplastamiento de la pieza en esas zonas.

Se registraron las deformaciones correspondientes a escalones de carga de 500 N por medio de un comparador micrométrico con precisión de 0,01 mm ubicado en la parte inferior del centro de la luz. El ensayo se continuó hasta la rotura registrándose la carga máxima, la duración del mismo y observaciones relevantes acompañadas de fotografías. El valor de la

tensión de rotura (MOR) y del módulo de elasticidad global (MOE) se calcularon empleando las ecuaciones correspondientes provistas por la norma IRAM 9663 (2013).

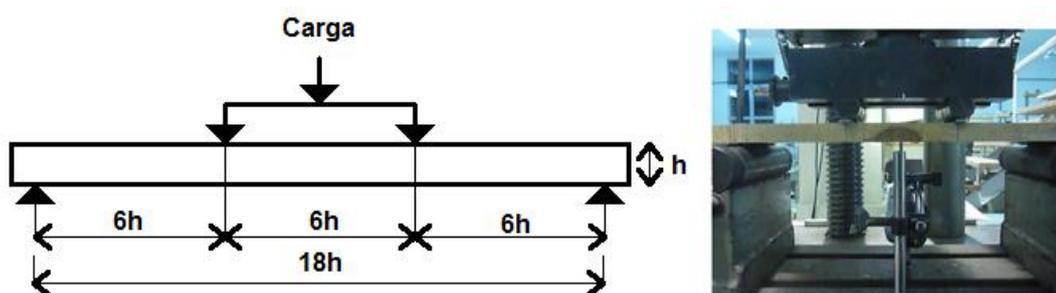


Figura 2. Esquema de ensayo de flexión estática

Una vez finalizado cada ensayo, se cortó un trozo libre de defectos y cercano a la zona de rotura para la determinación del contenido de humedad y de la densidad de acuerdo con las normas ISO 3130 (1975) y ISO 3131 (1975). Se registraron las medidas del trozo con un calibre de precisión de 0,01 mm y para la medición de las masas se empleó una balanza electrónica de precisión de 0,01 g.

Para las propiedades mencionadas, en cada muestra se calculó el valor mínimo, el medio y el máximo, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Además, para la resistencia a flexión y la densidad se calculó el percentil 5% siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 9664 (2013). Con el fin de analizar resultados comparables, todos los valores fueron ajustados a las condiciones de referencia como se indica al pie del cuadro donde se los presentan.

Para evaluar la influencia de la nudosidad sobre la resistencia a flexión (MOR) fue investigada la relación existente entre ambas variables. Para este propósito fueron considerados todos los cuerpos de prueba de cada muestra y los valores del MOR fueron ajustados a una altura de referencia de 150mm conforme al CIRSOC 601 (2013).

Resultados

El contenido de humedad medio de los 351 cuerpos de prueba de álamo sometidos a ensayo de flexión fue de 11,0% y de los 200 de pino resinoso fue de 11,6%, con un coeficiente de variación del 8,2% y 7,1%, respectivamente. Estos resultados permiten descartar una influencia desigual de esta variable sobre la resistencia de las piezas.

Los resultados obtenidos para la resistencia MOR, el módulo de elasticidad MOE y la densidad se presentan en el Cuadro 2. Los mismos se indican separadamente para cada muestra y por clase resistente, junto a la cantidad de piezas asignadas a cada una de ellas. Para el MOR y la densidad se presenta el valor correspondiente al percentil 5%, puesto que al estar vinculadas con la seguridad, estas magnitudes normalmente se emplean para el cálculo resistente en el diseño estructural (Glos 1995b).

En el Cuadro 2 se observa que las propiedades resistentes y la densidad de la clase 1 presentaron, en general, un valor superior para el pino resinoso que para el álamo. Sin embargo, en la segunda clase dicha situación se invierte, es decir, la madera de álamo exhibió valores superiores.

En cuanto al percentil 5% del MOR, la comparación del mismo para ambas muestras acusó un valor 6,6% mayor para la clase superior del pino resinoso respecto a la del álamo, sin embargo, para la segunda clase el álamo mostró un valor 13,3% mayor al del pino resinoso. El módulo de elasticidad, por su parte, mostró la misma tendencia que el MOR. En la clase 1 las tablas de pino presentaron un valor medio 4,6% mayor que las de álamo, y en la clase 2, un 20,6% menor. Los coeficientes de variación encontrados para el MOR son mayores que los correspondientes al MOE en las dos clases de ambas muestras, lo cual se corresponde con

resultados publicados para el *Eucalyptus grandis* (Piter et al. 2004) y para la *Araucaria angustifolia* (Guillaumet et al. 2007).

En cuanto a la densidad, la madera de álamo presentó un valor similar del percentil 5% en ambas clases resistentes, lo cual se corresponde con valores publicados para el *Eucalyptus grandis* (IRAM 9662-2 2006). En cambio, el pino resinoso mostró una mayor dispersión en los resultados de dicha propiedad y acusó un valor 14% mayor del percentil 5% para la clase 1 respecto a la 2. Estos resultados son similares a los establecidos por la norma IRAM 9662-3 (2006) y concuerdan con estudios realizados (Haselein et al. 2000; Weber 2005) que afirman una relación directa entre el tamaño de los anillos de crecimiento y la densidad. Por otra parte, al comparar el percentil 5% de la densidad para el pino resinoso y el álamo se observa que el primero acusó un valor 10,7% mayor y 2,9% menor respecto al segundo en la clase 1 y 2, respectivamente.

Cuadro 2. Propiedades mecánicas y densidad de las piezas asignadas por clase de resistencia

		Pino resinoso		Álamo	
		Clase 1	Clase 2	Clase 1	Clase 2
		n = 22	n = 100	n = 171	n = 136
MOR ⁽¹⁾ (N/mm²)	Mínimo	23,2	14,3	16,4	12,5
	Medio	41,9	29,3	38,4	30,1
	Máximo	66,4	59,8	61,1	58,1
	C.V.	0,27	0,29	0,22	0,26
	Percentil 5%	27,6	16,9	25,9	19,2
MOE ⁽²⁾ (N/mm²)	Mínimo	6303	3476	4175	2496
	Medio	10799	7123	10326	8976
	Máximo	16003	12916	15100	13104
	C.V.	0,25	0,26	0,20	0,20
ρ ⁽²⁾ (kg/m³)	Mínimo	434	333	382	388
	Medio	541	462	457	466
	Máximo	711	639	557	614
	C.V.	0,16	0,12	0,08	0,08
	Percentil 5%	443	389	400	401

(1) Valores de la resistencia (MOR) ajustados a una altura de referencia de 150 mm conforme a IRAM 9664 (2013); (2) Valores del módulo de elasticidad (MOE) y de la densidad (ρ) ajustados a un contenido de humedad del 12% conforme a IRAM 9664 (2013); Pino resinoso: *Pinus taeda/elliottii*; Álamo: *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67'; n: cantidad de cuerpos de prueba.

En el Cuadro 2 se indica la cantidad de cuerpos de prueba asignados a cada clase resistente (n) con el fin de mostrar la base estadística que sustenta los valores informados para las propiedades mecánicas y la densidad, cuyo estudio comparativo constituye el objetivo de este trabajo. Como fueron estudiados 200 cuerpos de prueba de pino resinoso y 351 de álamo (ver el Cuadro 1), del análisis de la información provista en el Cuadro 2 surge que se descartaron 78 cuerpos de prueba de pino resinoso y 44 de álamo por contener nudos mayores al límite admitido en la clase 2 o daños biológicos no aceptables. No obstante, estos resultados no pueden considerarse para efectuar un estudio del rendimiento del material en cada clase -lo cual está fuera del propósito del presente trabajo- pues entre otros aspectos, y como se expresó anteriormente, se prepararon dos cuerpos de prueba de cada tabla de pino resinoso y solamente uno de cada tabla de álamo.

Teniendo en cuenta los valores de las propiedades mecánicas y de la densidad para la madera de álamo (ver Cuadro 2), los resultados obtenidos para la clase 1 y 2 pueden asociarse a las clases resistentes C22 y C16 del sistema internacional de clases resistentes establecido en la norma EN 338 (2010). A la vez, el cociente entre los valores medios del módulo de elasticidad y la densidad (MOE/ ρ) para dicha especie alcanzó valores de 23 y 19 para las clases 1 y 2 respectivamente, los cuales son similares a los adoptados en las clases C22 y C16 del sistema

de clases antes señalado, donde la relación mencionada alcanza valores de 24 y 22. Estos resultados confirman que el comportamiento mecánico de la especie estudiada en este trabajo es similar al obtenido a través de la experiencia europea para las Coníferas y el álamo.

La Figura 3 exhibe los resultados de la relación encontrada entre la nudosidad y la resistencia a flexión (MOR). El coeficiente de correlación R para el pino resinoso resultó igual a -0,55 y para el álamo igual a -0,43. Estos valores evidencian una mayor influencia de este defecto sobre la resistencia en el pino resinoso que en el álamo, lo cual está en línea con publicaciones previas (Hoffmeyer 1995).

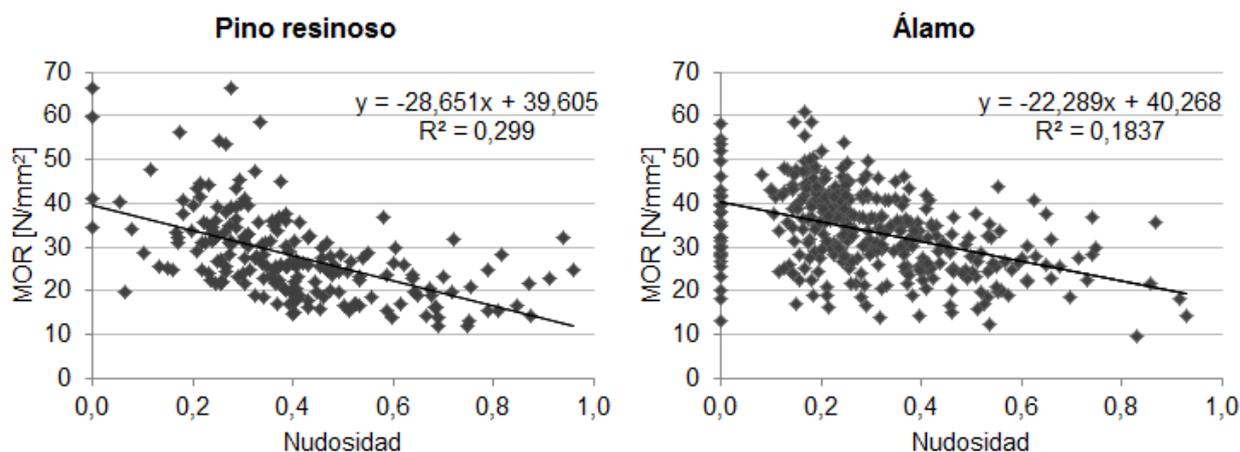


Figura 3. Relación entre nudosidad y resistencia a flexión

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la madera de álamo y de pino resinoso presentan propiedades de resistencia y rigidez similares. Estos valores alientan al uso de las tablas de álamo para la elaboración de vigas laminadas para uso estructural. A diferencia de lo que ocurre con el pino resinoso, en el álamo los valores determinados para la densidad no difieren entre las dos clases resistentes estudiadas. Esta particularidad ya ha sido encontrada para las tablas de *Eucalyptus grandis* cultivado en la Mesopotamia.

Los resultados confirman que la nudosidad y la médula son los parámetros de mayor relevancia en la clasificación visual por resistencia de ambas especies. Además éstos mostraron que la influencia de la presencia de nudos sobre el comportamiento mecánico es mayor en el pino que en el álamo. Por otra parte es también mayor la presencia de nudos en la primera especie que en la segunda, lo cual indica una mayor conveniencia económica de adoptar prácticas que minimicen su presencia en el pino que en el álamo.

La madera de álamo de los clones estudiados presenta un comportamiento mecánico similar al de las Coníferas, lo cual es congruente con el criterio europeo expresado en el sistema de clases resistentes para madera aserrada que establece la norma EN 338 (2010).

Bibliografía

- Argüelles Álvarez R., Arriaga Martitegui F. (2000) Estructuras de madera: Diseño y cálculo. AITIM – Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera y Corcho. Madrid. España.
- Borodowski E. (2006) Álamos y sauces en el Delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. Actas de las I Jornadas Argentinas de Salicáceas. Buenos Aires. Argentina.
- Carreira M. R., Alves Dias A. (2006) Critérios para classificação visual de peças estruturais de *Pinus SP*. Cadernos de Engenharia de Estruturas. v.8. n.34. Pp.17-43. São Carlos.
- Chan Martín M. A., Araujo Molina A., Azueta García M. (2002) Los defectos naturales en la madera aserrada. Art. de divulgación. Revista académica Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán. México.

INTI CIRSOC 601 (2013) Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Buenos Aires. Argentina.

EN 338 (2010) Structural timber. Strength classes. European Committee for standardization. Brussels.

FAO (2004) Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020, Informa Nacional Argentina. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j1901s/j1901s00.pdf>>. Acceso el 30/01/2014.

Glos P. (1995a) Solid timber - Strength classes. In Timber Engineering STEP 1, pp. A7/1-A7/8. Centrum Hout. The Netherlands.

Glos P. (1995b) Strength grading. Timber Engineering STEP 1: Basis of design, material properties, structural components and joints. Pp. A6/1-A6/8. Centrum Hout. The Netherlands.

Guillaumet A.A., Manavella R.D., Filippetti M.C., Diab J., Armas A. (2007) Clasificación visual resistente de la Araucaria Angustifolia procedente de Eldorado, Misiones, Argentina. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales IBEROMADERA 2007, Buenos Aires.

Haselein C. R., Cechin E., Santini E. J., Gatto D. A. (2000) Características estruturais da madeira de Pinus elliottii engelm aos 30 anos de idade. Revista Ciência Florestal, v. 10 , n. 2. Santa Maria. Brasil.

Hermoso Prieto E. (2001) Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pynus sylvestris* L.. Tesis Doctoral. Departamento de Industrias Forestales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

Hoffmeyer P. (1995) Wood as a building material. Timber Engineering STEP 1: Basis of design, material properties, structural components and joints. Pp. A4/1-A4/21. Centrum Hout. The Netherlands.

Íñiguez González G. (2007) Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural. Tesis Doctoral. Departamento de construcción y vías rurales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

IRAM 9660-1 (2006) Madera laminada encolada estructural, Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y control. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

IRAM 9662-2 (2006) Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 2: Tablas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

IRAM 9662-3 (2006) Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 3: Tablas de pino taeda y elliotti (*Pinus taeda* y *elliottii*). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

IRAM 9663-1 (2013) Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

IRAM 9664 (2013) Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

ISO 3130 (1975) Wood – Determination of moisture content for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization

ISO 3131 (1975) Wood – Determination of density for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization

Pfeil W. (1994) Estruturas de Madeira. Dimensionamento segundo as Normas Brasileiras NB11 e os modernos criterios das Normas Alemãs e Americanas. E. Santuario. Río de Janeiro. Brasil.

Piter J. C., Zerbino R. L., Blaß H. J. (2004) Visual strength grading of Argentinean Eucalyptus grandis. Strength, stiffness and density profiles and corresponding limits for the main grading parameters. Holz als Roh- und Werkstoff 62(1): 1-8.

SIFIP (2009) Sistema de Información Foresto-Industrial Provincial. Ministerio del Agro y la Producción. Inventario Forestal. Disponible en <<http://extension.facfor.unam.edu.ar/sifip/inventario.htm>>. Acceso el 30/01/2014.

Weber E. (2005) Densidad básica de madera de *Pinus taeda* L. Marion de diferentes edades, Misiones, Argentina. Revista Floresta, v. 35, n. 3. Curitiba. Brasil.