



Editorial de la
Universidad Tecnológica Nacional
U.T.N. - Argentina

CLASIFICACIÓN VISUAL RESISTENTE DE LA ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA PROCEDENTE DE ELDORADO, MISIONES, ARGENTINA (ISSN 1851-0973)

Autores: Guillaumet A A, Manavella R D, Filippetti M C, Diab J, Armas A

Colaboradores: Caporaletti G, Cozzi E, Criado J, Criado R, Dutto L, Gianinni M, Gómez C, Ibarra J, Macerata Y, Moreno I, Quinodóz M, Quiroga M, Soldini M, Sosa M, Suárez E, Venturini A y Viglioni P.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VENADO TUERTO**

**TRABAJO EXPUESTO EN EL III CONGRESO IBEROAMERICANO
DE PRODUCTOS FORESTALES Y NO FORESTALES.
Buenos Aires del 3 al 5 de julio de 2007**

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son *de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir el conocimiento generado por autores universitarios*, pero que los mismos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

B19. CLASIFICACIÓN VISUAL RESISTENTE DE LA ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA PROCEDENTE DE ELDORADO, MISIONES, ARGENTINA

Guillaumet Alfredo Aníbal (aaguillaumet@rec.utn.edu.ar), Manavella Roberto Daniel (rdmvt@yahoo.com), Filippetti María Cecilia (ceciedg@powervt.com.ar), Diab Jacinto (jacintodiab@hotmail.com), Armas Alberto (albertoarmas@arnet.com.ar).

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Venado Tuerto. Las Heras 640, (2600) Venado Tuerto, Provincia de Santa Fe, Argentina. aaguillaumet@rec.utn.edu.ar

RESUMEN:

Se analiza el comportamiento a flexión de vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia* procedentes de Eldorado, Provincia de Misiones (Argentina), a través del ensayo de 5 muestras de 50 vigas cada una. Cada muestra posee distinta escuadría y dimensiones reales de uso en estructuras. De cada una de las vigas se relevaron los defectos apreciables a simple vista que pudieran tener influencia en el comportamiento estructural de la misma, nudos, médula, fisuras, anillos de crecimiento, deformaciones previas al ensayo y toda otra singularidad que pudiera ser relevante. Se ensayaron las mismas a flexión, determinando a partir de la resistencia flexión las distintas propiedades mecánicas. Los ensayos y determinaciones se realizaron bajo Normas UNE-EN Serie Construcción Estructuras de Madera. Se verificó la fuerte correlación existente entre la nudosidad y la presencia de médula con el comportamiento mecánico de las vigas. En base a este concepto se plantea la división en 3 clases resistentes, con el límite entre clases fijado por el tamaño del grupo de nudos y la presencia de médula. Para la clase 1 no se admite médula y se acepta grupo de nudos hasta el 40 % de la cara donde se manifiesta, las clase 2 y 3 admiten médula y el límite está en el grupo de nudos hasta el 60 % . Como resultado de esta división se obtienen valores que cumplen los requisitos de las clases C40, C24 y C18 de acuerdo la Norma EN 338:1995

Palabras clave: Araucaria angustifolia; madera estructural; clases resistentes; clasificación visual; propiedades mecánicas.

SUMMARY

The behavior is analyzed to push-up of beams of serrated wood of *Araucaria angustifolia* proceeding from Eldorado, Province of Misiones (Argentina), across the essay of 5 samples of 50 beams each one. Every sample possesses different size and real dimensions of use in structures. From each of the beams the valuable shortcomings were freed to simple sight that could have influence in the structural behavior of the same one, knots, marrow, fissures, rings of growth, distortions before to the essay and any other singularity that could be important. The same ones practised to push-up, determining from the resistance to push-up the different mechanical properties. The essays and determinations were realized under Norms UNE-EN Series Construction Structures of Wood. The

strong existing interrelation happened between the knotty-ness and the presence of marrow with the mechanical behavior of the beams. Based on this concept the division appears in 3 resistant classes, with the limit between classes fixed by the size of the group of knots and the presence of marrow. For the class 1 does not admit marrow and group of knots is accepted up to 40 % of the face where it demonstrates, the classes 2 and 3 admit marrow and the limit is in the group of knots up to 60 %. As result of this division there are obtained values that fulfill the requisites of the classes C40, C24 and C18 of agreement to the Norm EN 338:1995.

Key words: Araucaria angustifolia; structural timber; resistant classes; visual classification; mechanical properties

INTRODUCCIÓN

En nuestro país la utilización de la madera en la construcción posee variadas aplicaciones: fabricación de aberturas y muebles, revestimientos, pisos, ejecución de estructuras portantes para techos y entrepisos, cielorrasos y solo en casos muy contados a cerramientos verticales.

Durante muchos años se utilizó exclusivamente en estructuras la madera aserrada de especies nativas de madera dura (Lapacho, Virapitá, Anchico, etc...), con importantes propiedades mecánicas y abundancia del material. El avance de la conciencia de protección del bosque nativo y la disminución alarmante de su superficie exige que se comiencen a utilizar en la construcción especies de reforestación con un crecimiento anual importante.

La madera como material estructural presenta características que la distinguen muy particularmente:

- ✓ Propiedades físicas y mecánicas distintas para cada especie y lugar de cultivo.
- ✓ Comportamiento mecánico anisotrópico.
- ✓ Coeficiente de contracción distinto para cada dirección.
- ✓ Propiedades variables con el contenido de humedad

Para aumentar la complejidad descripta, las vigas de madera aserrada presentan particularidades (defectos) apreciables a simple vista que tienen distintos grados de incidencia en las propiedades mecánicas. Cada viga presenta nudos, distinta inclinación de las fibras, fisuras, distinto espesor de los anillos de crecimiento, presencia o no de médula, deformaciones (combado, torcedura, abarquillado, encorvado), ataque biológico, etc.

En nuestro país, hasta la fecha, no existen suficientes trabajos de investigación para avanzar sobre una normativa clara y precisa para que el proyectista de la construcción pueda trabajar con seguridad este material en sus estructuras. La experiencia de excelentes resultados obtenidos en construcciones con madera de alta densidad continúa influenciando la preferencia por estas especies. El desconocimiento de las propiedades de especies reforestadas de menor densidad y la anarquía que reinaba en la producción de vigas de madera laminada encolada también constituía un direccionamiento similar o la preferencia para utilizar otros materiales. Primero con la aprobación de la Norma IRAM 9670/2002 para clasificación de vigas de madera aserrada de pinos resinosos y

recientemente con la aprobación de las normas IRAM 9660, 9661, 9662-1-2-3 para vigas de madera laminada encolada construidas con especies de reforestación (*Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda elliotii* y *Araucaria angustifolia*) se comienza a transitar un camino de crecimiento en el aprovechamiento de este recurso en la construcción, pero que debe ser nutrido con nuevos trabajos de investigación integrados y comparables para dar origen a una normativa más amplia y precisa.

Este trabajo centra su atención en la madera para uso estructural, y dentro de las especies disponibles para utilizar en vigas de madera aserrada se seleccionó la *Araucaria angustifolia* (Pino Paraná). Hay estudios realizados sobre el comportamiento de esta especie solicitada a flexión en vigas de madera aserrada de acuerdo a la Norma IRAM 9545 que establece el ensayo de probetas reducidas y libres de defectos, y estudios sobre tablas de acuerdo a Normas Europeas que constituyeron las bases para la Norma IRAM 9662-1, pero no accedimos a estudios en vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia* que incluyan los defectos en las piezas ensayadas, ni propuestas para poder clasificar estas vigas de madera aserrada en clases resistentes.

Para que los profesionales de la construcción aumenten la utilización de vigas de esta especie en sus estructuras deben tener muy claras sus propiedades mecánicas y la forma óptima de aprovecharlas. Como el lugar de cultivo de la especie es tan importante como la especie misma en el resto del trabajo nos referiremos a las cultivadas en la zona de Eldorado, Provincia de Misiones, Argentina.

El propósito de este trabajo es proveer a los profesionales de la construcción de una base de datos que represente el comportamiento mecánico de la *Araucaria angustifolia* y establecer pautas para una clasificación en clases resistentes, a través de ensayos realizados según Normas Europeas. Se van a determinar los valores correspondientes a la resistencia a flexión y módulo de elasticidad y su correlación con los defectos apreciables a simple vista. Posteriormente por aplicación de la Norma UNE-EN 384 se propondrán los valores característicos del resto de las propiedades mecánicas.

OBJETIVOS

- ✓ Determinar la correlación existente entre los defectos apreciables a simple vista en vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia* y la tensión de rotura en flexión y el módulo de elasticidad.
- ✓ Establecer las pautas para un sistema de clasificación visual en clases resistentes para las vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia*.
- ✓ Determinar para cada clase resistente las propiedades físicas y mecánicas esperables.

MATERIALES Y METODOS

ESPECIE FORESTAL

Nombre vulgar: PINO PARANÁ

Nombre científico: *Araucaria angustifolia* (Bert., O. Kunze)

Otros nombres: pino brasil, pino de misiones, araucaria



Fig. 1 Araucaria angustifolia

El Pino Paraná crece en la República Argentina en la Provincia de Misiones, como una prolongación de la selva higrófila del sudeste del Brasil.

Las ramas se encuentran dispuestas en verticilios de 5 a 8 miembros en el cuarto superior del tronco, en posición horizontal con la extremidad encorvada hacia arriba, generando la característica forma aparasolada.

Las hojas son simples, algo imbricadas, con ápice agudo, de color verde oscuro, con la cara superior algo cóncava de

4 cm de largo y unos 6 mm de ancho.

Su rollizo tiene una longitud útil de 8 a 10 metros con un diámetro promedio de 0,40 metros. Su albura es de color blanco amarillento y su duramen es blanco ocráceo con vetas rosadas, su textura es homogénea y de mediana a fina, con brillo suave de grano derecho y sin olor. El comportamiento de su duramen frente a los agentes biológicos es poco durable frente a los hongos y resistente a los insectos.

SELECCIÓN DE MUESTRAS

Muestra 1: 56 probetas de 2" x 3" x 2 metros de largo.

Muestra 2: 50 probetas de 2" x 5" x 3,2 metros de largo.

Muestra 3: 50 probetas de 2" x 4" x 2,5 metros de largo.

Muestra 4: 50 probetas de 2" x 6" x 3,2 metros de largo.

Muestra 5: 50 probetas de 3" x 6" x 3,2 metros de largo.

Todas las probetas corresponden a árboles de *Araucaria angustifolia* cultivados en la zona de "Eldorado" Provincia de Misiones, Argentina. Como la intención es determinar las propiedades de las vigas de madera aserrada tal como llegan a los profesionales de la construcción, el muestreo se realizó sobre los acopios de expendedores de madera de la Ciudad de Venado Tuerto, Argentina. Cada probeta se seleccionó aleatoriamente del acopio previsto para su comercialización, se trabajó con dos proveedores, "Eldorado Maderas" y "Bevilacqua Maderas".

EQUIPAMIENTO EMPLEADO

- Lupa óptica apreciación 1/10 mm.
- Cepilladora Múltiple mod.CM5
- Comparador mecánico 1/100 mm recorrido 10 mm (2)
- Horno eléctrico ORL, con control de temperatura

- Balanza Electrónica Ohaus SERIE SCOUT PRO display LCD 15 mm de alto contraste, Plato acero inoxidable, masa de calibración externa incluida. Modelo :SP601.
Capacidad :600 g x 0.1 g
- Calibre digital marca Digimes, rango de medición en mm y pulgadas de 0-150 mm, al 0,1 mm.con baterías de oxido de plata de 1,55 tipo SR44 W capacidad 180 mAh.
- Prensa hidráulica de 15 Tn de capacidad, marca MAQUIN PARTS.
- Equipo de lectura para celda de cargas: Gabinete en ABS de alto impacto, para trabajar conectado a CA 220 V. 50 Hz. y/o opcionalmente 12 V.C.C. Hasta 30.000 divisiones en display, 65.000 cuentas internas, alta velocidad de conversión (70 c/s), configuración y calibración totalmente digital. Posee retención de fuerza máxima, y las lecturas se pueden realizar en Kg.(kilogramos) y dN (decaNewtons). Con salida RS-232 para conectar a computadora o impresora.Sensibilidad máxima 0,4 uV/diV.
- Celdas de carga: doble puente a strain-gages para compresión con terminales provistos de platos planos, capacidad de 5 toneladas con Cable de interconexión al equipo de lectura.

ENSAYOS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS VISUALES:

Las muestras aserradas y cepilladas, se estacionaron en un espacio cubierto, a temperatura y humedad ambiente, estibadas con separadores intermedios de 1", para facilitar su secado natural. Luego de 5 meses, se verificó la humedad en algunas probetas para constatar si estaban dentro del

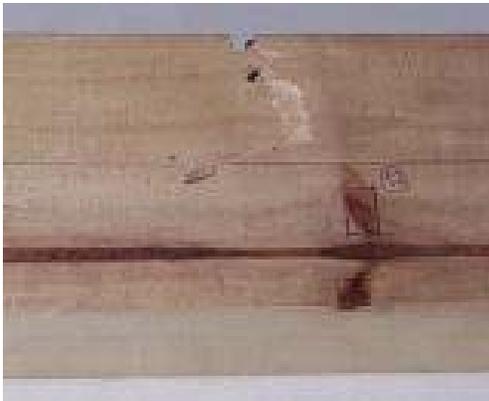


Fig. 2- Médula expuesta sobre una cara de la probeta

rango que establece la Norma UNE-EN 384, verificado esto se numeraron, se determinó cual era la sección más débil y esta se la ubicó en la zona de máximo esfuerzo, comprendida entre los puntos de carga en el ensayo de flexión según lo indica la norma UNE-EN 408, quedando en condiciones para realizar su clasificación visual .

La determinación de las dimensiones reales de la sección transversal de las probetas fue registrada con calibre de una precisión de 0,1mm, se utilizó la media de tres mediciones efectuadas una en cada extremo y una en el centro, tanto para grosor como para el canto. La longitud se midió sobre el eje longitudinal central, con precisión de 1mm según lo indica la norma EN 408.

En las fisuras se midió la profundidad y el ancho mediante una lupa óptica con 0,1mm de precisión, en las cuatro caras de cada probeta.

Se registró si tenía médula y su posición, ya sea en las superficies laterales como en los extremos. Se describió el tipo de corte, sea central con médula, radial tangencial o intermedio; tanto en los dos extremos como en el trozo cortado cercano a la zona de rotura. Se completó la observación visual indicando para cada probeta, la presencia de kino, arista faltante, manchas, y la inclinación de la fibra, según indica la Norma UNE-EN 1310. Se relevaron las deformaciones combado, encorvado, torcedura.

La medición de los nudos, ubicación y dimensiones, se registró en todas las caras de las probetas, ignorando los de dimensión menor a 5mm, describiendo si eran o no de arista, forma, color, y toda característica relevante. Para cuantificar el tamaño del nudo se utilizó la altura del mismo entre paralelas al eje longitudinal

Las siguientes figuras indican como se procedió para medir cada tipo de nudo

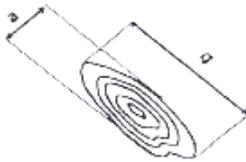


Fig. 3 - Diámetro mayor y menor del nudo



Fig. 4 - Dimensión del nudo entre paralelas

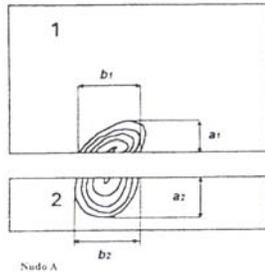


Fig. 5 - Nudo de arista



Fig. 6 - Relevamiento de nudos

ENSAYO A FLEXION

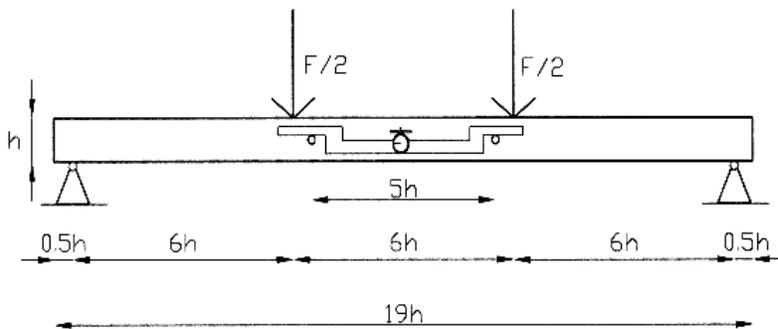


Fig. 7 - Esquema de cargas

Las cargas de aplicaron en los tercios de la viga con velocidad constante. La figura 7 representa el esquema de cargas durante el ensayo para la determinación de la resistencia a flexión y módulo de elasticidad.



Fig. 8 - Fotografía de los dispositivos para la aplicación de cargas y medición de las deformaciones.

La fotografía muestra el dispositivo para la medición de las deformaciones locales en el punto medio, sobre el eje neutro, de un segmento ubicado simétricamente y de longitud igual a 5 veces el canto de la probeta, mediante dos comparadores con una precisión de 0,01mm, uno a cada lado de la viga, para luego promediar las lecturas.

Se aprecia en la misma fotografía el dispositivo de aplicación de cargas en los tercios de la viga. Se colocó una planchuela de ancho igual al de las probetas y espesor adecuado para evitar daños por concentración de tensiones

PROCEDIMIENTO OPERATORIO:

La longitud de las probetas utilizadas corresponden a 19 veces la altura nominal de la sección, las mismas estaban simplemente apoyada con una luz igual a 18 veces el canto nominal, y la aplicación de carga en flexión se realizó sobre dos puntos simétricos a una distancia igual a 6h.

Se colocaron topes laterales en el centro y extremos de la probeta para evitar el vuelco o pandeo lateral, especialmente en las de mayor esbeltez. La carga de ensayo se aplicó, mediante una prensa y a través de la celda de carga se registró la fuerza aplicada, con una velocidad constante sin superar los 0,003 de la altura en mm/seg. El tiempo de ensayo se registró hasta la rotura de la probeta, que en todos los casos ocurrió en (300 ± 120) seg, de acuerdo a lo fijado por la norma UNE-EN 408.

OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA DETERMINAR HUMEDAD Y DENSIDAD

Luego del ensayo estático se extrajo de cada probeta una rebanada de la sección completa que estuviera libre de nudos en la zona cercana a la rotura. Se procedió a su cubicación, utilizando un calibre para determinar las dimensiones del trozo, se lo pesó en la balanza electrónica, luego se lo secó para lograr una masa anhidra en la estufa eléctrica a 103°C durante 24 hs, posteriormente se determinó el contenido de humedad aplicando el método de secado por estufa según lo indica la norma IRAM 9532.

Se verificó que el contenido de humedad esté comprendido entre el 10 % y 18 % y se descartaron las probetas que se encontraban fuera de ese rango. Quedaron fuera de consideración por este motivo las probetas 15 a 23, la probeta 328 fue descartada debido a que su rotura se produjo a lo largo de una importante fisura longitudinal.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Determinación del módulo de elasticidad en flexión estática. UNE-EN 408

$$E_m = \frac{al^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)}$$

E_m	Módulo de elasticidad en flexión en N/mm ²
$F_2 - F_1$	incremento de carga en la parte recta de la curva carga-deformación, en newton
$w_2 - w_1$	Incremento de la deformación correspondiente a $F_2 - F_1$, en milímetros
a	Distancia entre un punto de carga y el apoyo más próximo en el ensayo de flexión, en milímetros
l_1	Longitud base de medida utilizada para la determinación del módulo de elasticidad, en milímetros
I	Momento de inercia, en milímetros elevados a la cuarta potencia

Determinación de la resistencia a la flexión estática. UNE-EN 408

$$f_m = \frac{aF_{m\max}}{2W}$$

f_m	Resistencia a flexión en N / mm ²
a	Distancia entre un punto de carga y el apoyo más próximo en el ensayo de flexión, en milímetros
$F_{m\max}$	Carga máxima, en newton
W	Módulo resistente de la sección, en milímetros elevados a la tercera potencia

Determinación de la humedad

$$H = \frac{G - G1}{G1} 100$$

H	Contenido de humedad en por ciento
G	Peso original de la probeta, en gramos
$G1$	Peso de la probeta seca, en gramos

Determinación de la densidad aparente

$$\rho = \frac{G \times 0,001}{V \times 0,000000001}$$

ρ	Densidad aparente de la probeta en kilogramo por metro cúbico para la humedad de ensayo
G	Peso original de la probeta, en gramos
V	Volumen de la probeta, en milímetro cúbico.

CORRECCIÓN DE VALORES EXPERIMENTALES POR CONDICIONES DE ENSAYO

Los resultados de los ensayos se deben ajustar a las condiciones de referencia detalladas en la Norma UNE-EN 384. Se deben realizar ajustes por el contenido de humedad si este es distinto al de referencia (12%), siempre dentro del intervalo comprendido entre 10 % y 18 %. También se preveen ajustes por dimensión y longitud de la probeta. En todos los casos se procedió de esta manera.

Correcciones a la resistencia a la flexión estática

Los valores de tensión no deben ser corregidos por humedad, pero si se deben ajustar a un canto de referencia de 150 mm, dividiendo el valor obtenido en el ensayo por:

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}$$

k_h Coeficiente de corrección para ajustar a canto de referencia
 h Canto de la probeta en milímetros

Módulo de elasticidad

El valor medio del módulo de elasticidad se corrigió con el 2% por cada variación del 1% del contenido de humedad, que se aleje del 12%. La corrección debe interpretarse por un aumento en la propiedad si se aplica a resultados obtenidos para contenidos de humedad superiores y viceversa.

Densidad

Cuando el contenido de humedad es superior al 12%, la densidad se minoró en un 0,5% por cada grado de diferencia en el contenido de humedad, y cuando este era menor del 12%, la densidad se incrementó en un 0,5% por cada grado de diferencia en el contenido de humedad. Esta conversión se basa en la hipótesis de que el volumen es medido a la humedad de ensayo.

CRITERIOS PARA EVALUAR LA NUDOSIDAD

Teniendo en cuenta la particularidad del Pino Paraná respecto del crecimiento de sus ramas dispuestas en vertilicios, y de lo observado en las probetas en el relevamiento de los nudos, se adoptaron tres criterios para la evaluación de los mismos.

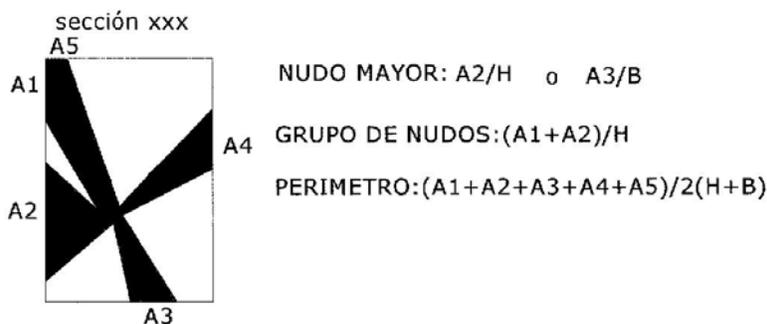


Fig. 11 - Sección con nudosidad típica para explicar los criterios de evaluación de la nudosidad

Criterio de nudosidad N1 (Nudo mayor): relación entre la dimensión del nudo mayor y el de la superficie externa donde se manifiesta.

Criterio de nudosidad N2 (Grupo de nudos): relación entre la dimensión del nudo o grupo de nudos ubicados en un largo igual al canto de la viga, lo que resulte mayor, y el de la superficie externa donde se manifiesta.

Criterio de nudosidad N3 (Perímetro): relación entre la sumatoria de las dimensiones de todos los nudos que se manifiestan en un largo igual al canto de la viga (grupo de nudos en todas las caras de la sección estudiada) y el perímetro de ésta en la sección en estudio.

En todos los casos se considera la nudosidad existente en la sección o cara, según corresponda, que arroje el mayor porcentaje en el criterio elegido. Las proyecciones superpuestas se consideran una sola vez.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En las tablas A1 a A5 del Anexo I se presentan los resultados de los ensayos y las variables determinadas para cada probeta, en todos los casos ya se efectuaron las correcciones a condiciones de referencia.

A la hora de proponer un método de clasificación en clases resistentes cobra mucha importancia la correlación que existe entre los defectos y las propiedades mecánicas que se quieren predecir.

Se definieron en el punto anterior tres criterios para evaluar la nudosidad, ahora se evaluará su correlación con la resistencia a flexión de las piezas.

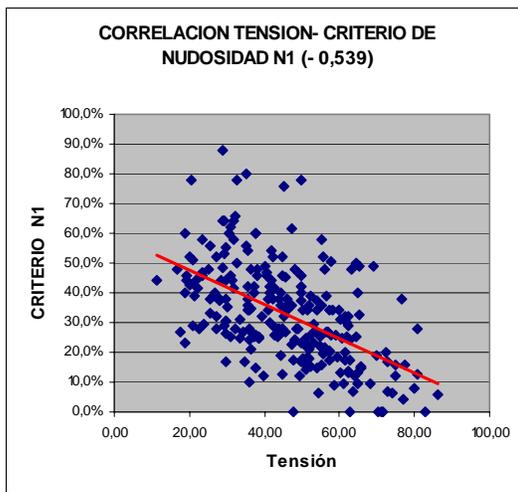


Gráfico 1- Correlación entre la resistencia a flexión y el criterio de nudosidad N1

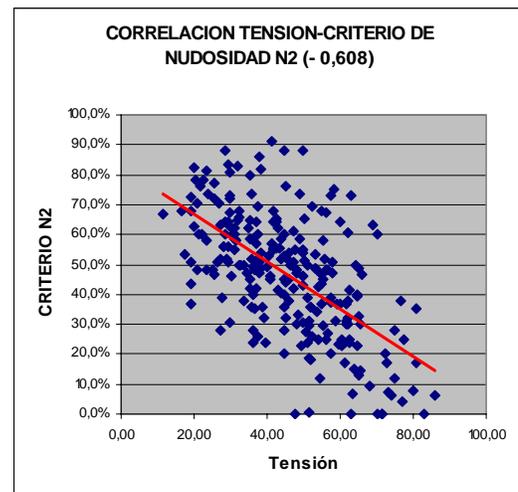


Gráfico 2- Correlación entre la resistencia a flexión y el criterio de nudosidad N2

En el gráfico 1 se aprecia una importante correlación negativa en la resistencia a flexión y el criterio de nudosidad N1 (- 0,539 %). Este criterio consiste en determinar el porcentaje que ocupa el nudo mayor en relación con la dimensión de la cara donde se manifiesta.

Debido a la característica de crecimiento de las ramas que posee la especie, rara vez se presentan nudos aislados, aparecen distintos nudos en la misma sección (se considera la misma sección la comprendida en un largo igual al canto de la viga) y se consideró oportuno evaluar su incidencia. Se definió entonces el criterio de nudosidad N2, el mismo consiste en determinar el porcentaje que ocupa la suma de las dimensiones de los nudos que se manifiestan en una cara y la dimensión de ésta. Las superposiciones se consideran una sola vez. En el gráfico 2 se muestra el aumento de correlación negativa (-0,608) existente entre la resistencia a flexión y el criterio de nudosidad N2.

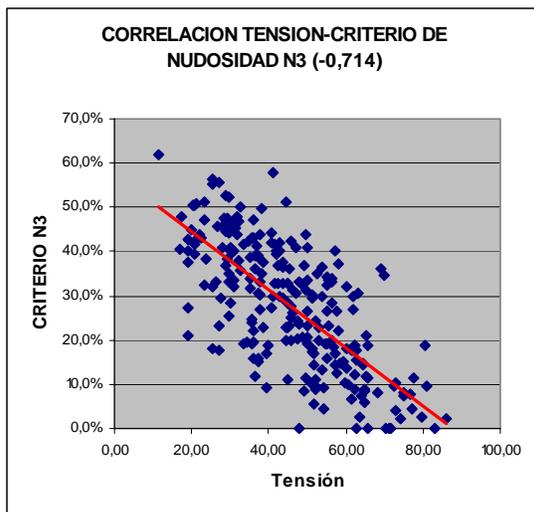


Gráfico 3- Correlación entre la resistencia a flexión y el criterio de nudosidad N3

En los dos criterios anteriores se evalúa la dimensión de los nudos sobre una de las caras en la sección elegida, pero es muy común que en la misma sección se presenten nudos en varias de las caras, para evaluar esta situación se define el criterio de nudosidad N3, que consiste en determinar el porcentaje que ocupa la suma de las dimensiones de los nudos que se manifiestan en el perímetro de una sección y la dimensión del perímetro. Las superposiciones se consideran una sola vez.

El gráfico 3 muestra un importante aumento en la correlación negativa (-0,714) entre la resistencia a la flexión y el criterio de nudosidad N3.

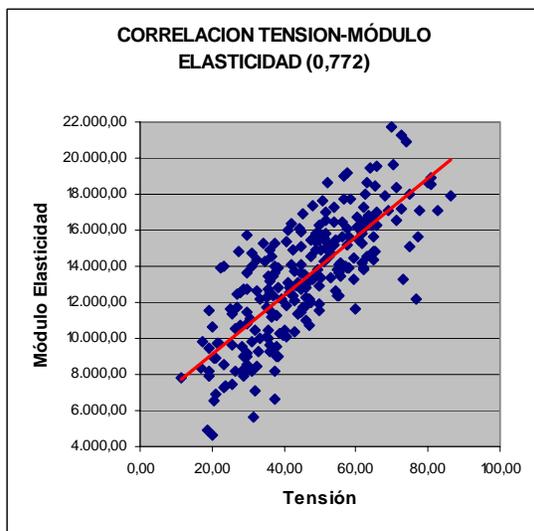


Gráfico 4- Correlación entre la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad

De lo expuesto podemos expresar que el criterio de analizar la nudosidad en el perímetro de la sección es mucho más certero que evaluarlo por cara. Pero no se debe perder de vista que la intención es proponer un método de clasificación visual para vigas de madera aserradas que permita a un operario entrenado separar las mismas en clases en forma rápida y eficiente. Los criterios N1 y N2 son de apreciación sencilla, en cambio el criterio N3 presenta una mayor complejidad.

Como era de esperarse la correlación existente entre la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad es muy alta (0,772), el gráfico 4 muestra la dispersión de valores.

Con una mayor dispersión, pero con un valor importante (0,591) el gráfico 5 muestra la correlación entre la resistencia a flexión y la densidad al 12% de humedad.

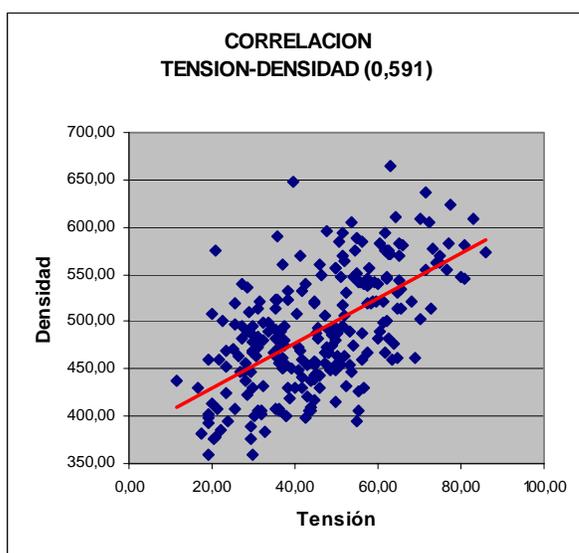


Gráfico 5- Correlación entre la resistencia a flexión y la densidad

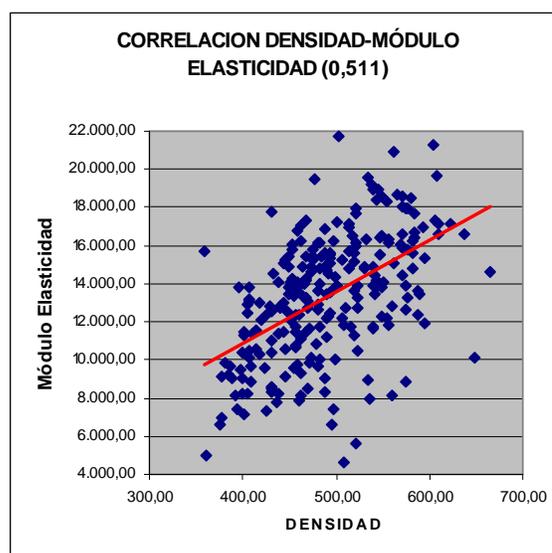


Gráfico 6- Correlación entre la densidad y el módulo de elasticidad

En el gráfico 6 se aprecia la correlación existente entre la densidad 12% y el módulo de elasticidad, que presenta una mayor dispersión pero con una correlación del (0,511).

Estos 3 últimos valores de correlación entre resistencia a flexión, módulo de elasticidad y densidad brindan el fundamento para diseñar propuestas que permitan obtener la resistencia a flexión esperable por determinación previa de la densidad o el módulo de elasticidad.

Los seis valores de correlación presentados corresponden a las 5 muestras ensayadas (246 probetas válidas), es decir a 5 escuadrías distintas homogenizadas al canto de referencia de 150 mm, pero resulta importante analizar como se presentaron las correlaciones mencionadas en cada muestra, por ello en la tabla 1 se presentan los valores para cada una.

CORRELACIONES POR MUESTRA							
CORRELACION ENTRE PARÁMETROS		SERIES					
Parámetro 1	Parámetro 2	1	2	3	4	5	GLOBAL
TENSION	CRITERIO N1	-0,497	-0,537	-0,555	-0,675	-0,434	-0,539
TENSION	CRITERIO N2	-0,602	-0,715	-0,621	-0,661	-0,388	-0,608
TENSION	CRITERIO N3	-0,713	-0,829	-0,689	-0,727	-0,612	-0,714
TENSION	DENSIDAD	0,609	0,670	0,647	0,465	0,608	0,591
TENSION	M. ELASTICIDAD	0,779	0,817	0,733	0,814	0,766	0,772
DENSIDAD	M. ELASTICIDAD	0,372	0,494	0,575	0,536	0,588	0,511

Tabla 1- Variación de los coeficientes de correlación para cada muestra

Se puede apreciar como la muestra cinco presenta los coeficientes de correlación más bajos para los tres criterios de nudosidad, sorprende fundamentalmente el correspondiente al criterio N2. Se

debería profundizar el estudio de criterios de nudosidad más complejos como el porcentaje de afectación de la sección transversal.

En la correlación calculada entre resistencia a flexión, densidad y módulo de elasticidad las cinco muestras se comportan en forma similar, solo llama la atención la muestra cuatro en la relación tensión – densidad y la muestra uno en la relación densidad – módulo de elasticidad.

A pesar de la disminución de la correlación entre la resistencia a flexión y la nudosidad mencionada para la muestra 5, se puede afirmar que la evaluación de la nudosidad en la cara donde se manifiesta es un parámetro satisfactorio para tener en cuenta como límite entre clases.

Del relevamiento de cada pieza se pueden expresar las siguientes consideraciones:

- No se observa en ninguna de las probetas inclinación de la fibra, salvo en la zona cercana a los nudos, por lo que no resulta un parámetro a considerar para la clasificación.
- Los anillos de crecimiento se distinguen claramente en cada probeta.
- No se apreciaron fisuras importantes en las probetas, salvo en una que debió ser descartada, pero sí pequeñas fisuras por lo que se debe limitar su dimensión.
- Como las probetas se entablillaron con un porcentaje de humedad alto y su secado se produjo en forma natural, se pudo apreciar que las vigas que no tuvieron una firme sujeción durante ese proceso presentaron mayores deformaciones previas al ensayo.

EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA SEPARACIÓN EN CLASES RESISTENTES

Para proponer los parámetros que fijen la separación entre clases resistentes a través de una clasificación visual se debe tener en cuenta que los mismos generen una clara diferenciación en las propiedades mecánicas, sea sencilla su apreciación por un operario entrenado y exista un porcentaje razonable de probetas en cada clase. La reemplazada Norma UNE-EN 518:1995 establecía que al redactarse un reglamento de clasificación se deben tener presentes dos aspectos fundamentales: *“Deben separarse claramente las piezas de madera por calidades, y los criterios y el texto deben comprenderse fácilmente y deben poder ponerse en práctica por los clasificadores en los aserraderos”*.

A los efectos de analizar los límites entre clases se consideró la presencia de médula y la nudosidad de acuerdo al criterio N2, si bien el criterio N3 posee la mayor correlación con la resistencia a flexión se considera que su apreciación por parte de un operario no es sencilla en una clasificación visual, por lo que se propone utilizar el criterio N2.

En la tabla 2 se presentan siete criterios para establecer los límites entre clases resistentes para una clasificación visual y se muestran las propiedades de cada clase y el porcentaje de probetas que

	U.	TODAS	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	
CRITERIO 1	Médula		NO	SI		
	GN	%				
	Probetas	%	100%	38,21%	61,79%	
	f_{05}	N/mm2	21,14	27,88	20,84	
	E_{medio}	N/mm2	13.323	14.043	12.547	
ρ_{05}	Kg/m3	390	408	382		
CRITERIO 2	Médula		SI	SI	SI	
	GN	%	<33,3%	<66,6%	>66,6%	
	Probetas	%	100%	26,42%	57,72%	15,85%
	f_{05}	N/mm2	21,14	37,28	23,56	21,11
	E_{medio}	N/mm2	13.323	15.449	12.845	11140
ρ_{05}	Kg/m3	390	439	389	397	
CRITERIO 3	Médula		NO	SI	SI	
	GN	%	<33,3%	<66,6%	>66,6%	
	Probetas	%	100%	14,23%	69,92%	15,85%
	f_{05}	N/mm2	21,14	48,83	23,72	21,06
	E_{medio}	N/mm2	13.323	15.938	13.209	11140
ρ_{05}	Kg/m3	390	475	390	397	
CRITERIO 4	Médula		SI	SI	SI	
	GN	%	<40%	<60%	>60%	
	Probetas	%	100%	36,99%	39,02%	23,98%
	f_{05}	N/mm2	21,14	33,98	24,76	20,48
	E_{medio}	N/mm2	13.323	15.085	12.717	11627
ρ_{05}	Kg/m3	390	422	387	387	
CRITERIO 5	Médula		NO	SI	SI	
	GN	%	<40%	<60%	>60%	
	Probetas	%	100%	19,92%	56,10%	23,98%
	f_{05}	N/mm2	21,14	43,60	24,32	20,06
	E_{medio}	N/mm2	13.323	15.514	13.276	11627
ρ_{05}	Kg/m3	390	443	390	387	
CRITERIO 6	Médula		NO	NO	SI	
	GN	%	<40%	<60%	>60%	
	Probetas	%	100%	19,92%	10,16%	69,92%
	f_{05}	N/mm2	21,14	43,60	27,57	20,17
	E_{medio}	N/mm2	13.323	15.514	11.764	12694
ρ_{05}	Kg/m3	390	443	414	385	
CRITERIO 7	Médula		NO	SI	SI	
	GN	%	<50%	<65%	>65%	
	Probetas	%	100%	26,42%	56,50%	17,07%
	f_{05}	N/mm2	21,14	30,32	25,54	21,27
	E_{medio}	N/mm2	13.323	14.451	13.099	11182
ρ_{05}	Kg/m3	390	415	392	396	

Tabla 2: Criterios para evaluar límites entre clases resistentes

modificaciones en el resto de las clases, pero provoca el descenso al 14 % de las probetas que permanecen en la clase y un incremento de la clase 2. Esta situación condiciona los límites analizados y nos conduce a los próximos 3 criterios que fijan como límites el de la dimensión del grupo de nudos en relación a la cara donde se manifiestan, criterio de nudosidad N2, con valores de 40% y 60 % como límite para las clases 1 y 2, y se evalúa con la presencia de médula. Se trata de aumentar las probetas que se encuadran en la clase 1 a los efectos de mejorar el impacto económico de la clasificación.

califica en cada una.

En el criterio 1 solo se evalúa la incidencia que tiene en el comportamiento mecánico la presencia de médula. Se puede apreciar que el *MOR* (Módulo de resistencia a la flexión) de las probetas sin médula es un 33 % mayor que las que si la presentan, mientras que el *MOE* (Módulo de elasticidad) es un 12 % mayor y la densidad característica un 7 %. Esta evaluación permite asumir que la presencia de médula tiene un importante impacto en el *MOR* y que es un parámetro que debe ser tenido en cuenta al proponer una separación en clases resistentes. El 38 % de las probetas no presenta médula.

En los criterios 2 y 3 se plantea como uno de los límites el de la dimensión del grupo de nudos en relación a la cara donde se manifiestan, criterio de nudosidad N2, con valores de 33,3% y 66,6 % como límite para las clases 1 y 2, y se evalúa con la presencia de médula.

El criterio 2 permite médula en todas las clases y se puede apreciar un muy buen *MOR* en la clase 1, equivalente a un C35 de la UNE-EN 338, pero que las clase 2 y 3 ofrecen valores muy próximos, solo separados un 11 %. Se diferencian claramente los *MOE* en un 20% entre clases y como valor curioso la densidad característica de la clase 3 es mayor que la de la clase 2. La distribución de las probetas es razonable con un 26 % en la clase 1 y un 57 % en la clase 2.

El criterio 3 restringe la presencia de médula en la clase 1, este condicionante genera un fuerte aumento en el *MOR* de esta clase y no genera

En el criterio 4 se admite médula en todas las clases y se generan valores de *MOR* y *MOE* para cada clase muy similares a los del criterio 2, pero un fuerte incremento de las probetas que encuadran en la clase 1.

En el criterio 5 se trata de obtener valores de *MOR* más altos para la clase 1 no admitiendo médula en la misma. Se aprecia un crecimiento del valor de *MOR* en la clase 1 hasta alcanzar valores equivalentes a un C40 de la UNE-EN 338, muy distante al de la clase 2 que sería equivalente a un C24, quedando la clase 3 en valores equivalentes a un C18. El *MOE* presenta diferencias del orden del 15% entre clases y la densidad solo se diferencia para la clase 1, mientras que en las clases 2 y 3 presenta valores similares. En cuanto a la distribución de las probetas un 20 % se encuadra en la clase 1 y un 56 % en la clase 2, en este aspecto mejora al criterio 3 y presenta similares valores para su encuadre en la UNE-EN 338. La tabla A6 del Anexo I presenta los valores de resistencia a flexión, módulo de elasticidad medio y densidad para cada una de las muestras y clases.

El criterio 6 se presenta en un intento de mejorar la clase 2, por lo que no se admite médula en la misma, pero podemos apreciar que si bien puede subir un escalón en las clases de la EN 338, solo quedan el 16 % de las probetas y un 70 % se encuadra en la clase 3. No resulta un criterio que aporte mejoras sino todo lo contrario.

En el criterio 7 con el intento de aumentar el número de probetas que se encuadran en la clase 1 se eleva el porcentaje de la nudosidad N2 al 50 % y 65% para la clase 3. Si bien aumenta al 26 % la cantidad de probetas de la clase 1, el *MOR* cae hasta un 30%, por lo que no se considera razonable el criterio.

Los siete criterios expresados permiten arribar a las siguientes consideraciones:

- La presencia de médula tiene una importante relación con las propiedades mecánicas, éstas disminuyen con su presencia, especialmente el *MOR*. Se justifica esta afirmación en las siguientes observaciones:
 - En el criterio 1 el *MOR* de las probetas sin médula es un 33 % mayor con respecto a la que si la poseen.
 - En la comparación del *MOR* de los criterios 2 y 3 para la clase 1 se observa que el valor del criterio 3 (sin médula) es un 31 % mayor.
 - En la comparación del *MOR* de los criterios 4 y 5 para la clase 1 se observa que el valor del criterio 5 (sin médula) es un 28 % mayor.
 - En la comparación del *MOR* de los criterios 5 y 6 para la clase 2 se observa que el valor del criterio 6 (sin médula) es un 13 % mayor.

- La nudosidad, de acuerdo a lo esperado, resulta ser un parámetro claro a la hora de definir la clase resistente, la afirmación se basa en las siguientes observaciones:
 - En la comparación del *MOR* para la clase 1 de los criterios 3, 5 y 7 se aprecia como el valor disminuye aproximadamente un 40% si admitimos un crecimiento de la nudosidad desde el 33 % al 50%.
 - En la comparación del *MOE* para la clase 1 de los criterios 3, 5 y 7 se aprecia como el valor disminuye, aunque no tan marcadamente como el del *MOR*, si admitimos un crecimiento de la nudosidad desde el 33 % al 50%.

- En la comparación de la *densidad 12%* para la clase 1 de los criterios 3, 5 y 7 se aprecia como el valor disminuye, aunque no tan marcadamente como el del *MOR*, si admitimos un crecimiento de la nudosidad desde el 33 % al 50%.
- La densidad 12 % se diferencia con claridad en la variación de nudosidad de la clase 1 de los criterios 3, 5 y 7 (no se admite médula) y disminuye con el aumento de la misma, pero en las clases 2 y 3 que se admite médula es muy difícil encontrar una diferenciación clara debido a que en estas clases se suma el efecto de la médula y la madera juvenil.

Los siete criterios para separar en clases resistentes analizados en el punto anterior tienen dos objetivos, primero exponer a la consideración de los investigadores de la temática los resultados obtenidos y su análisis; y en segundo lugar presentar las bases para efectuar una propuesta de clasificación.

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN

En el punto anterior se realizó una evaluación de los posibles límites para realizar una clasificación en clases resistentes que permita aprovechar más integralmente las propiedades mecánicas de la especie. Se considera que el criterio 5 es el más adecuado de acuerdo a los objetivos planteados, al mismo se le deben adicionar las prescripciones de la Norma EN 14081-1. En la tabla 3 se presentan los valores que se proponen como los límites para cada clase resistente.

DEFECTOS ADMISIBLES	CLASE RESISTENTE DE ACUERDO A NORMA UNE-EN 338:1995		
	C40	C24	C18
Médula	No se admite	Se admite	Se admite
Grupo de nudos (1)	Menor a 40%	Menor a 60 %	Mayor a 60%
Longitud máxima de fisuras que no atraviesan la pieza (2)	Se admiten fisuras con una profundidad menor al 50 % del grosor de la pieza		
	Se admite hasta 1 metro o ¼ de la longitud de la pieza, lo que resulte menor		Se admite hasta 1,5 metros o ½ de la longitud de la pieza, lo que resulte menor
Longitud máxima de fisuras que atraviesan la pieza (2)	Solo se admiten en los extremos de la pieza y con una longitud menor a la anchura de la misma.		
			Se admite hasta 1 metro o ¼ de la longitud de la pieza, lo que resulte menor. En los extremos de la pieza se admiten con longitud menor a dos veces la anchura.
Deformación previa de curvatura longitudinal de cara	10 mm / 2000 mm		20 mm / 2000 mm
Deformación previa de curvatura longitudinal de canto	8 mm / 2000 mm		12 mm / 2000 mm
Deformación previa de alabeo	1 mm / 25 mm de anchura		2 mm / 25 mm de anchura
Deformación previa de curvatura transversal	Sin restricciones		
Ataque activo de insecto	No se admite		
Arista faltante	No debe reducir la anchura ni el grosor a menos de 2/3 de su dimensión básica.		
(1) En porcentaje de la dimensión que ocupa en la cara donde se manifiesta.			
(2) Los límites establecidos se refieren a la suma de las fisuras que presenta la viga.			

Tabla 3: Propuesta de límites entre clases resistentes para vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia* proveniente de Eldorado, Misiones, Argentina

Los valores obtenidos experimentalmente y los calculados por aplicación de la Norma UNE-EN 384:1995, para la propuesta de clasificación precedente, se presentan en la tabla 4. En el Anexo II se transcriben las pautas de cálculo de la mencionada Norma.

		CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
PROPIEDADES RESISTENTES en N/mm²				
Flexión (1)	$f_{m,k}$	43,60	24,32	20,06
Tracción paralela (2)	$f_{t,0,k}$	26,16	14,59	12,04
Tracción perpendicular (2)	$f_{t,90,k}$	0,44	0,39	0,39
Compresión paralela (2)	$f_{c,0,k}$	27,34	21,02	19,28
Compresión perpendicular (2)	$f_{c,90,k}$	6,64	5,85	5,81
Cortante (2)	$f_{v,k}$	4,10	2,57	2,20
PROPIEDADES DE RIGIDEZ en kN/mm²				
Módulo de Elasticidad paralelo medio (1)	$E_{0,medio}$	15,51	13,28	11,63
Módulo de Elasticidad paralelo 5º percentil (1)	$E_{0,05}$	10,39	8,89	7,79
Módulo de Elasticidad perpendicular medio (2)	$E_{90,medio}$	0,52	0,44	0,39
Módulo cortante medio (2)	G_{medio}	0,97	0,83	0,73
DENSIDAD (Humedad 12%) en Kg/m³				
Densidad (1)	ρ_k	443	390	387
Densidad media (1)	ρ_{medio}	529	483	472
(1) Valores obtenidos directamente de los ensayos				
(2) Valores obtenidos de acuerdo a las prescripciones de la Norma UNE:EN 384:1995				
CLASE RESISTENTE SEGUN UNE-EN 338:1995		C40	C24	C18

Tabla 4: Propiedades mecánicas para vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia* proveniente de Eldorado, Misiones, Argentina; de acuerdo a las pautas de clasificación visual expresadas en la tabla 3.

En la tabla 5 se presentan los valores característicos para cada clase resistente de acuerdo a la norma UNE-EN 338:1995. Se puede verificar claramente que los valores presentados en la tabla 4 se ajustan perfectamente a los valores característicos de las clases resistentes indicadas al pie de la misma.

VALORES CARACTERÍSTICOS DE CLASES RESISTENTES SEGUN UNE-EN 338:1995				
		C40	C24	C18
PROPIEDADES RESISTENTES EN N/mm²				
Flexión	$f_{m,k}$	40,00	24,00	18,00
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	24,00	14,00	11,00
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,40	0,40	0,30
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	26,00	21,00	18,00
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	6,30	5,30	4,80
Cortante	$f_{v,k}$	3,80	2,50	2,00
PROPIEDADES DE RIGIDEZ EN kN/mm²				
Módulo de Elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	14,00	11,00	9,00
Módulo de Elasticidad paralelo 5º percentil	$E_{0,05}$	9,40	7,40	6,00
Módulo de Elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,47	0,37	0,30
Módulo cortante medio	G_{medio}	0,88	0,69	0,56
DENSIDAD EN Kg/m³				
Densidad	ρ_k	420	350	320
Densidad media	ρ_{medio}	500	420	380

Tabla 5: Clases resistentes, valores característicos de acuerdo a la norma UNE-EN 338:1995

En virtud de lo expresado se puede asumir que de acuerdo a las pautas de clasificación visual propuestas en la tabla 3, las vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia* cultivadas en la zona de Eldorado se encuadran en las clases resistentes indicadas en la tabla 5 y con los valores característicos allí expresados.

CONCLUSIONES

Se determinó que en vigas de madera de *Araucaria angustifolia* la correlación entre la nudosidad y la presencia de médula (defectos apreciables a simple vista) con las propiedades mecánicas presenta un alto índice de correlación.

De los tres criterios para evaluar la nudosidad considerados se comprobó que el grupo de nudo es el parámetro a cuantificar (rara vez se presenta un nudo aislado) y que evaluarlo a través del porcentaje que presenta en relación con la dimensión de la cara donde se manifiesta posee una importante correlación y resulta sencillo de apreciar por un operario entrenado. El aumento de la nudosidad produce un descenso en los valores de las propiedades mecánicas, Se ve afectada la resistencia a flexión (*MOR*) y el módulo de elasticidad (*MOE*)

La presencia de médula es fácilmente detectable y genera una disminución en las propiedades mecánicas.

Se pudieron establecer pautas claras para proponer una clasificación visual en clases resistentes de vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia*, y las mismas se presentan en la tabla 3.

La presencia de médula constituye el primer elemento para la clasificación visual, debido a que su presencia separa las clases 2 y 3 de la clase 1.

La nudosidad, evaluada a través del porcentaje que ocupa el grupo de nudos en relación a la cara donde se manifiesta, se transforma en el segundo parámetro para plantear la división. Los límites de 40% para la clase 1 y 60% para la clase 2 permite arribar a propiedades mecánicas bien diferenciadas por clase.

Un 20% de las probetas ensayadas calificó para la clase 1 propuesta y debido a las excelentes propiedades mecánicas encontradas para esa clase la clasificación se presenta como razonable y útil.

Un muy alto porcentaje de las probetas ensayadas calificó para la clase 2 (56%), y considerando que esta clase presenta valores característicos para sus propiedades mecánicas superiores a los obtenidos en la madera sin clasificar es obvio que resulta muy útil y ventajoso practicar la clasificación visual.

Fue posible determinar los valores característicos de las propiedades mecánicas para cada clase resistente en las vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia* ensayadas, con valores bien diferenciados por clase.

Los valores de resistencia a la flexión (*MOR*) determinados para cada clase presentan valores muy significativos y justifican la clasificación. El alto valor obtenido para la clase 1, equivalente a un C40 de la UNE-EN 338, presenta una opción excelente para su uso estructural. De la misma manera los valores obtenidos para la clase 2, equivalente a un C24 de la UNE-EN 338, ofrece una muy buena opción, máxime si recordamos que casi un 60% de las probetas se encuadran en esta clase.

Los valores de módulo de elasticidad (*MOE*) hallados acompañan las clases resistentes indicadas precedentemente, por lo que reafirman las condiciones de esta especie para ser utilizada como vigas aserradas en estructuras.

Para avanzar en una propuesta de norma de clasificación para las vigas de madera aserrada de *Araucaria angustifolia* cultivada en la zona de Eldorado es importante que se realicen nuevos ensayos en otros laboratorios para confirmar o no los resultados obtenidos en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

Comité Europeo de Normalización (1996) UNE-EN 338, Madera estructural. Clases resistentes. AENOR, Madrid

Comité Europeo de Normalización (1995) UNE-EN 408, Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolado para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. AENOR, Madrid

Comité Europeo de Normalización (1997) UNE-EN 384, Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. AENOR, Madrid

Comité Europeo de Normalización (1997) UNE-EN 1310, Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las singularidades. AENOR, Madrid

European Committee for standardization (2000b) Draft prEN 14081-1, Timber structures - Strength graded structural timber with rectangular cross section - Part 1: General requirements. CEN, Brussels.

Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (1963) IRAM 9532, Maderas, Método de determinación de la humedad. IRAM, Buenos Aires.

Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (1973) IRAM 9544, Maderas, Método de determinación de la densidad aparente. IRAM, Buenos Aires.

Piter, JC. (2003) Tesis Doctoral. Clasificación por Resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el Eucalyptus Grandis de Argentina.

RITIM Clasificación visual de madera de pinos resinosos (*Pinus taeda* y *elliotti*) para uso estructural. Novenas Jornadas Técnicas Forestales. INTA-FCF-MEYRNRYT-Eldorado, Misiones, Argentina.

Leonardis FJ (1949). Árboles de la Argentina y aplicaciones de su madera.. Editorial Suelo Argentino.

Coronel E. O. (1994) Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas, 1º parte, fundamentos de las propiedades físicas de las maderas. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Coronel E. O. (1996) Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas, 2º parte, fundamentos de las propiedades mecánicas de las maderas. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

ANEXO I

N°	LARGO	BASE	CANTO	MOD. E. 12 %	FLEXION	DEN. 12%	MEDULA	N1	N2	N3
VIGA	mm	mm	mm	Nw/mm ²	Nw/mm ²	Kg/m ³		%	%	%
1	1350	51,6	77,2	6.602,01	37,47	495,08	SI	26,0%	26,0%	15,2%
2	1350	51,0	77,4	8.167,05	26,40	463,07	SI	39,0%	50,6%	33,2%
3	1350	48,1	76,4	13.003,67	45,95	443,44	NO	38,0%	38,0%	25,2%
4	1350	51,0	75,6	10.416,43	40,00	430,71	SI	49,0%	49,0%	18,8%
5	1350	50,8	74,5	9.280,80	35,87	461,49	NO	34,9%	73,8%	47,2%
6	1350	49,3	74,9	10.692,59	28,05	456,81	NO	37,3%	56,0%	45,6%
7	1350	49,3	73,5	18.616,32	79,80	547,96	NO	8,0%	8,0%	2,4%
8	1350	50,4	74,7	7.794,47	11,28	436,74	NO	44,2%	66,7%	62,0%
9	1350	49,7	73,3	15.591,59	77,04	582,44	NO	4,0%	4,0%	4,4%
10	1350	49,8	74,7	8.203,63	31,22	404,93	SI	44,0%	54,7%	45,2%
11	1350	50,0	74,0	8.156,24	37,23	560,03	SI	25,3%	64,0%	30,4%
12	1350	49,6	72,9	8.457,82	32,29	431,19	SI	66,0%	66,0%	46,8%
13	1350	49,6	74,5	8.338,35	16,74	430,59	SI	48,0%	68,0%	40,4%
14	1350	48,3	73,6	15.075,40	74,98	561,33	NO	16,0%	28,0%	8,0%
24	1350	49,2	73,7	17.913,56	68,20	521,33	NO	9,3%	9,3%	8,0%
25	1350	49,9	73,5	12.619,70	32,47	480,37	NO	78,0%	68,0%	50,0%
26	1350	49,6	74,1	8.511,36	23,36	468,86	SI	46,7%	81,3%	51,2%
27	1350	46,0	72,0	12.537,09	27,74	446,84	SI	38,7%	38,7%	29,6%
28	1350	46,7	74,1	10.160,72	39,60	647,55	SI	12,0%	24,0%	9,2%
29	1350	47,0	73,8	15.031,09	51,53	494,42	NO	18,7%	18,7%	5,6%
30	1350	46,3	74,4	16.485,58	53,88	548,14	NO	37,3%	42,7%	30,0%
31	1350	49,9	73,3	13.833,39	62,15	548,22	NO	13,3%	30,0%	12,0%
32	1350	45,6	73,1	10.352,89	42,76	398,75	SI	26,0%	65,3%	42,0%
33	1350	45,7	73,8	11.452,79	44,89	443,66	NO	46,0%	45,3%	28,4%
34	1350	45,7	73,2	12.146,94	76,52	553,95	SI	38,0%	38,0%	7,6%
35	1350	45,2	72,6	14.871,82	50,07	488,12	NO	34,0%	65,3%	33,6%
36	1350	45,5	73,4	10.109,84	35,38	407,51	SI	38,0%	45,3%	31,6%
37	1350	45,8	72,0	11.873,67	49,70	556,11	NO	78,0%	88,0%	44,0%
38	1350	44,4	71,7	7.928,35	28,71	536,38	NO	64,0%	64,0%	36,8%
39	1350	45,5	71,6	12.157,52	47,18	506,79	NO	61,3%	61,3%	30,4%
40	1350	46,1	73,9	8.969,84	38,19	533,28	SI	48,0%	82,0%	49,6%
41	1350	46,1	72,2	13.407,78	48,22	490,61	SI	24,0%	30,0%	32,8%
42	1350	45,7	72,0	12.380,22	55,00	588,11	NO	25,3%	46,7%	34,4%
43	1350	46,4	72,3	13.931,92	57,94	539,30	SI	50,7%	50,7%	22,0%
44	1350	44,8	72,4	17.343,91	48,09	467,65	SI	48,0%	48,0%	23,6%
45	1350	45,6	72,6	9.235,25	32,67	384,28	NO	50,0%	50,0%	35,6%
46	1350	45,5	72,5	14.155,29	55,58	542,54	SI	52,0%	52,0%	33,6%
47	1350	46,0	74,0	7.454,25	25,55	497,54	NO	33,3%	46,7%	18,0%
48	1350	46,4	73,0	8.192,92	28,10	437,95	SI	38,0%	56,0%	40,8%
49	1350	45,0	72,4	9.495,95	18,98	398,05	SI	60,0%	68,0%	42,8%
50	1350	46,0	73,0	9.579,19	28,38	422,64	SI	44,0%	60,0%	47,6%
51	1350	45,2	72,8	12.355,14	42,45	456,62	SI	38,0%	64,0%	36,8%
52	1350	45,5	72,9	12.820,62	41,50	440,59	NO	40,0%	54,7%	32,8%
53	1350	46,0	73,0	10.529,37	26,70	446,27	SI	40,0%	70,7%	45,6%
54	1350	45,2	72,9	10.754,82	47,12	456,09	SI	36,0%	50,7%	40,8%
55	1350	45,7	72,3	12.138,10	39,21	450,57	SI	32,0%	32,0%	16,8%
56	1350	45,6	73,6	15.778,39	49,07	474,76	NO	28,0%	73,3%	36,8%

Tabla A1: Base de datos de la muestra 1

ANEXO I

N°	LARGO	BASE	CANTO	MOD. E. 12 %	FLEXION	DEN. 12%	MEDULA	N1	N2	N3
VIGA	mm	mm	mm	Nw/mm ²	Nw/mm ²	Kg/m ³		%	%	%
101	2250	43,1	124,7	14.407,32	64,93	570,53	NO	9,6%	12,8%	5,7%
102	2250	46,7	120,5	6.577,04	20,62	376,49	SI	78,0%	78,0%	50,6%
103	2250	47,1	121,1	15.374,73	40,66	447,88	SI	46,0%	46,0%	27,4%
104	2250	45,9	120,7	6.951,80	20,84	377,04	SI	51,2%	70,4%	39,4%
105	2250	41,5	117,5	14.582,33	62,88	665,42	NO	0,0%	0,0%	0,0%
106	2250	42,8	122,2	16.420,38	62,23	546,19	NO	32,0%	32,0%	18,9%
107	2250	45,4	117,4	10.034,87	33,45	499,69	NO	31,2%	49,6%	41,7%
108	2250	43,9	122,0	15.722,39	29,86	358,48	NO	16,8%	72,8%	44,3%
109	2250	44,4	122,0	4.631,28	20,16	508,97	SI	52,0%	82,4%	50,6%
110	2250	49,7	122,0	11.762,99	35,16	514,76	SI	56,0%	58,4%	38,9%
111	2250	48,5	123,5	7.397,26	23,89	394,04	SI	29,6%	73,6%	38,3%
112	2250	48,0	122,5	10.303,03	38,65	418,27	NO	24,8%	36,0%	37,4%
113	2250	48,6	122,2	12.327,88	36,85	461,29	SI	26,4%	56,8%	41,1%
114	2250	47,8	122,0	14.758,69	31,09	513,03	NO	46,0%	60,0%	40,0%
115	2250	48,8	127,1	11.203,71	36,41	489,87	SI	20,8%	48,0%	39,1%
116	2250	49,1	126,5	15.541,74	49,96	493,96	SI	46,0%	46,0%	19,1%
117	2250	49,0	126,3	14.039,80	37,30	452,01	SI	40,0%	52,0%	39,1%
118	2250	49,1	126,7	17.274,66	62,17	501,04	SI	28,8%	37,6%	18,9%
119	2250	48,3	127,4	8.892,71	20,75	575,10	NO	28,8%	48,0%	41,7%
120	2250	41,4	122,5	8.590,90	29,71	430,71	NO	26,4%	72,0%	46,3%
121	2250	49,1	127,3	10.454,39	31,84	406,07	SI	64,0%	64,8%	47,1%
122	2250	49,0	126,8	14.887,55	52,11	463,47	SI	15,2%	36,0%	24,3%
123	2250	46,0	127,0	16.028,40	41,16	569,91	SI	34,4%	91,2%	58,0%
124	2250	48,8	126,4	13.631,58	37,63	480,02	SI	60,0%	69,6%	38,3%
125	2250	49,3	127,0	14.090,97	41,86	459,30	SI	44,0%	55,2%	40,0%
126	2250	49,4	127,0	15.271,63	37,64	475,65	SI	60,0%	60,0%	30,3%
127	2250	49,1	127,0	15.631,53	58,11	519,78	SI	34,0%	75,2%	37,1%
128	2250	49,3	127,0	12.298,15	35,21	492,05	NO	80,0%	80,0%	33,7%
129	2250	49,0	127,3	12.715,53	28,90	510,29	NO	48,3%	52,0%	44,6%
130	2250	48,6	127,0	13.297,20	59,56	522,14	NO	18,4%	23,2%	10,3%
131	2250	42,8	130,9	12.611,34	54,32	574,57	NO	6,4%	12,0%	4,3%
132	2250	46,7	130,6	16.182,36	62,57	482,32	NO	24,0%	24,0%	15,4%
133	2250	48,3	131,0	13.438,08	37,08	449,81	NO	42,0%	42,0%	16,0%
134	2250	46,4	130,6	17.293,87	53,77	605,72	NO	34,0%	34,0%	13,4%
135	2250	42,8	130,4	15.785,09	49,98	453,37	SI	23,2%	43,2%	20,6%
136	2250	46,4	131,0	14.270,80	34,93	467,08	SI	16,9%	62,4%	42,3%
137	2250	45,2	130,3	19.176,31	57,31	538,61	NO	34,0%	72,8%	40,3%
138	2250	46,6	129,2	20.949,02	74,06	561,95	NO	6,4%	6,4%	2,3%
139	2250	44,7	130,6	18.438,06	65,23	543,46	SI	48,8%	48,8%	20,9%
140	2250	42,2	127,8	21.269,14	72,48	604,90	SI	20,0%	20,0%	9,4%
141	2250	42,8	130,2	14.106,81	44,89	438,64	SI	28,0%	52,8%	32,9%
142	2250	46,3	130,3	13.045,88	41,23	469,68	SI	42,0%	56,8%	30,0%
143	2250	46,2	130,0	16.590,51	62,41	571,46	NO	13,6%	24,8%	8,9%
144	2250	46,0	129,0	17.119,49	77,48	622,95	NO	16,0%	24,8%	11,4%
145	2250	46,0	129,9	16.631,31	64,36	610,19	NO	50,0%	50,0%	14,3%
146	2250	49,7	121,8	16.051,17	44,49	453,49	SI	40,0%	40,0%	28,6%
147	2250	49,9	122,4	14.800,20	65,20	582,55	SI	32,8%	32,8%	11,7%
148	2250	50,0	122,6	15.620,87	56,37	488,09	SI	39,2%	67,2%	33,1%
149	2250	50,0	120,1	19.642,92	70,13	608,47	NO	0,0%	0,0%	0,0%
150	2250	49,8	121,1	19.438,44	64,02	477,14	SI	12,0%	15,2%	7,4%

Tabla A2: Base de datos de la muestra 2

ANEXO I

N°	LARGO	BASE	CANTO	MOD. E. 12 %	FLEXION	DEN. 12%	MEDULA	N1	N2	N3
VIGA	mm	mm	mm	Nw/mm ²	Nw/mm ²	Kg/m ³		%	%	%
201	1620	44,6	91,3	9.858,69	30,89	472,19	NO	62,0%	62,0%	32,0%
202	1620	44,6	91,5	15.808,65	61,54	575,64	NO	32,0%	37,0%	18,0%
203	1620	45,0	91,7	14.541,67	36,44	492,26	NO	35,0%	35,0%	11,7%
204	1630	44,8	91,6	13.001,58	44,54	417,58	NO	36,0%	36,0%	20,0%
205	1630	45,2	91,6	15.427,47	60,55	490,36	NO	25,0%	25,0%	10,0%
206	1630	44,6	91,4	14.871,80	35,97	472,56	NO	28,0%	49,0%	43,0%
207	1630	44,6	91,8	8.362,95	29,41	488,05	SI	64,0%	64,0%	47,7%
208	1630	45,0	91,5	11.078,32	30,43	463,01	SI	60,0%	60,0%	39,7%
209	1630	44,2	91,4	11.767,40	45,13	456,41	SI	32,0%	32,0%	36,0%
210	1630	44,5	91,3	15.584,00	51,15	493,15	NO	25,0%	50,0%	30,3%
211	1630	44,4	91,2	10.826,20	29,88	478,00	SI	55,0%	81,0%	41,0%
212	1630	44,1	90,0	9.014,87	28,68	488,77	SI	88,0%	88,0%	52,7%
213	1630	44,7	91,0	18.962,79	56,42	539,56	NO	27,0%	48,0%	34,0%
214	1800	44,7	91,2	21.717,43	70,05	503,52	NO	19,0%	60,0%	34,7%
215	1800	44,4	91,3	18.530,32	80,64	580,70	NO	28,0%	35,0%	18,7%
216	1800	44,1	91,6	16.872,18	45,30	487,20	SI	76,0%	76,0%	23,3%
217	1800	44,8	91,4	13.654,35	44,63	458,58	NO	52,0%	60,0%	51,3%
218	1800	45,4	91,7	17.063,54	68,91	462,27	NO	49,0%	63,0%	36,0%
219	1800	44,3	91,6	14.080,16	55,07	550,99	NO	58,0%	68,0%	26,7%
220	1800	44,6	91,4	12.789,88	45,93	559,44	SI	38,0%	45,0%	20,0%
221	1800	44,0	105,9	14.872,25	52,15	529,71	NO	26,0%	26,0%	8,7%
222	1800	44,0	100,2	11.320,77	25,42	518,71	SI	38,0%	72,0%	56,3%
223	1800	43,9	100,0	14.330,09	32,35	499,09	NO	28,0%	50,0%	38,0%
224	1800	43,8	100,6	9.003,42	37,88	400,41	SI	46,0%	86,0%	44,0%
225	1800	43,3	99,4	9.758,80	21,67	458,94	SI	44,0%	76,0%	43,0%
226	1800	43,6	97,0	15.937,50	44,53	520,39	NO	19,0%	88,0%	22,7%
227	1800	43,6	98,4	16.328,59	41,87	532,33	NO	54,0%	68,0%	39,3%
228	1800	44,0	99,2	13.920,60	22,46	500,22	NO	28,0%	78,0%	43,0%
229	1800	44,1	99,1	15.317,71	34,32	493,82	SI	27,0%	47,0%	19,7%
230	1800	43,3	99,5	17.134,92	82,85	609,51	NO	0,0%	0,0%	0,0%
231	1800	43,9	98,7	13.274,92	73,01	576,93	NO	7,0%	7,0%	4,0%
232	1800	44,0	99,8	17.695,61	58,66	521,72	SI	9,0%	31,0%	14,7%
233	1800	43,8	99,0	16.143,96	60,21	481,41	NO	31,0%	37,0%	18,0%
234	1800	43,4	99,8	12.481,77	27,06	494,40	SI	32,0%	63,0%	55,7%
235	1800	44,0	99,3	11.507,04	36,12	456,72	SI	34,0%	40,0%	19,7%
236	1800	44,1	98,8	18.011,56	75,02	570,27	SI	12,0%	12,0%	7,3%
237	1800	43,6	100,1	10.100,81	40,85	473,59	SI	38,0%	45,0%	44,3%
238	1800	43,8	99,7	10.988,10	46,02	430,31	SI	34,0%	54,0%	31,3%
239	1800	43,4	98,7	18.677,57	51,96	564,55	NO	36,0%	36,0%	9,7%
240	1800	44,4	98,8	11.957,26	47,71	595,14	NO	0,0%	0,0%	0,0%
241	1800	44,6	98,2	14.778,53	27,32	482,44	NO	28,0%	28,0%	23,3%
242	1800	43,4	98,3	18.596,16	63,09	571,15	SI	48,0%	73,0%	30,7%
243	1800	43,9	100,0	8.863,99	21,23	408,31	SI	39,0%	60,0%	50,7%
244	1800	44,2	98,3	14.455,52	59,20	541,11	NO	26,0%	37,0%	15,0%
245	1800	43,9	99,0	17.926,18	86,13	574,26	NO	6,0%	6,0%	2,3%
246	1800	43,6	99,2	17.141,65	72,68	514,28	NO	17,0%	17,0%	10,3%
247	1800	44,0	99,3	15.272,09	52,06	506,26	SI	18,0%	18,0%	11,0%
248	1800	44,3	99,8	9.637,82	25,56	407,98	SI	56,0%	77,0%	55,3%
249	1800	43,3	101,0	16.565,29	71,43	637,50	NO	0,0%	0,0%	0,0%
250	1800	43,9	100,4	10.022,03	35,52	482,04	SI	42,0%	42,0%	19,0%

Tabla A3: Base de datos de la muestra 3

ANEXO I

N°	LARGO	BASE	CANTO	MOD. E. 12 %	FLEXION	DEN. 12%	MEDULA	N1	N2	N3
VIGA	mm	mm	mm	Nw/mm ²	Nw/mm ²	Kg/m ³		%	%	%
301	2700	44,8	140,9	14.011,08	23,29	452,35	SI	46,0%	48,0%	32,3%
302	2700	43,7	140,8	15.664,79	64,71	514,64	NO	13,3%	22,7%	8,5%
303	2700	44,2	140,3	16.788,07	63,58	459,16	SI	6,7%	6,7%	2,5%
304	2700	44,0	141,2	14.892,88	42,46	539,02	NO	52,0%	55,3%	32,8%
305	2700	44,3	139,7	15.424,82	49,62	448,91	SI	42,0%	46,0%	31,3%
306	2700	44,7	139,8	13.817,45	54,69	395,04	SI	22,1%	43,3%	19,3%
307	2700	46,2	139,6	11.738,22	27,13	539,62	SI	52,0%	52,0%	17,8%
308	2700	45,0	139,9	9.573,91	37,72	455,11	NO	26,0%	47,3%	27,0%
309	2700	44,4	140,5	13.375,96	53,00	454,92	NO	23,3%	53,3%	20,0%
310	2700	43,3	140,1	15.467,47	47,28	467,15	SI	22,7%	42,0%	20,3%
311	2700	45,8	140,4	12.290,60	46,18	549,67	SI	36,0%	50,0%	26,3%
312	2700	44,5	140,3	18.904,95	80,80	545,28	SI	12,7%	17,3%	9,5%
313	2700	45,3	140,3	13.221,61	36,01	407,05	SI	10,0%	28,0%	15,8%
314	2700	43,6	140,7	8.151,98	18,97	392,19	SI	40,0%	36,7%	21,0%
315	2700	45,2	142,5	11.493,41	29,62	467,88	SI	30,7%	62,7%	52,5%
317	2700	44,8	140,1	9.665,50	36,27	481,11	NO	48,0%	58,7%	36,0%
318	2700	44,0	139,7	12.746,14	29,89	470,05	NO	38,0%	67,3%	40,3%
319	2700	45,0	140,5	12.737,75	44,77	439,23	SI	28,0%	28,0%	23,0%
320	2700	44,6	141,7	12.834,70	38,30	429,27	SI	25,3%	54,0%	35,0%
321	2700	44,5	144,1	18.318,38	71,28	554,55	NO	0,0%	0,0%	0,0%
322	2700	42,7	143,7	19.527,47	65,60	533,57	NO	15,3%	30,0%	11,3%
323	2700	43,3	143,5	13.910,41	38,47	522,36	SI	24,7%	48,7%	23,0%
324	2700	43,5	143,3	12.132,95	42,78	420,40	SI	41,3%	41,3%	30,0%
325	2700	44,3	143,5	16.252,26	64,55	461,46	SI	25,3%	39,3%	14,8%
326	2700	44,0	143,7	13.638,71	44,75	520,23	SI	12,7%	20,0%	11,0%
327	2700	43,5	142,2	16.963,41	51,49	593,32	SI	21,3%	31,3%	14,3%
328	2700	42,4	142,1	14.696,12	20,84	492,80	SI	0,0%	0,0%	0,0%
329	2700	43,6	143,0	15.439,28	54,11	475,62	NO	14,7%	24,7%	9,3%
330	2700	43,6	143,4	14.838,50	64,65	531,16	NO	40,0%	40,0%	8,8%
331	2700	43,2	143,0	15.863,38	51,48	570,39	NO	34,0%	0,3%	17,5%
332	2700	44,0	142,2	16.253,66	61,27	498,08	SI	9,3%	17,3%	6,5%
333	2700	43,0	143,5	13.683,53	42,83	454,47	SI	28,7%	62,0%	40,3%
334	2700	43,4	141,4	17.981,08	62,72	576,04	NO	17,3%	41,3%	17,8%
335	2700	43,3	143,0	13.842,91	49,27	449,82	NO	12,0%	22,7%	8,5%
336	2700	43,2	142,5	11.364,25	43,82	409,69	SI	38,0%	52,0%	36,5%
337	2700	43,8	143,7	16.963,98	65,59	514,55	NO	14,7%	14,7%	0,1%
338	2700	42,9	142,0	16.445,35	56,26	584,49	NO	21,3%	24,7%	20,0%
339	2700	43,1	142,0	16.296,61	49,75	556,55	NO	16,7%	30,7%	11,5%
340	2700	43,0	142,6	17.678,66	50,84	584,39	SI	14,0%	27,3%	10,3%
341	2700	43,4	138,0	12.171,38	33,46	489,79	NO	24,7%	38,0%	19,0%
342	2700	43,1	139,1	7.316,54	23,44	424,73	SI	58,0%	58,0%	47,0%
343	2700	42,8	138,5	16.130,41	57,76	556,76	SI	26,0%	47,3%	26,5%
344	2700	43,4	139,2	12.770,75	35,45	522,40	SI	54,0%	64,7%	43,3%
345	2700	43,3	138,3	10.474,85	35,72	522,24	SI	36,0%	36,0%	24,8%
346	2700	44,6	138,3	7.888,39	19,05	459,96	SI	46,0%	72,7%	40,0%
347	2700	43,1	139,7	11.509,12	19,20	401,47	SI	44,0%	50,7%	37,8%
348	2700	43,0	139,2	13.989,47	30,86	483,14	SI	25,3%	58,7%	33,5%
349	2700	43,4	139,2	5.638,88	31,60	520,54	SI	58,0%	58,0%	47,8%
350	2700	43,1	138,2	8.244,31	30,03	400,18	SI	35,3%	46,0%	28,5%

Tabla A4: Base de datos de la muestra 4

ANEXO I

N°	LARGO	BASE	CANTO	MOD. E. 12 %	FLEXION	DEN. 12%	MEDULA	N1	N2	N3
VIGA	mm	mm	mm	Nw/mm ²	Nw/mm ²	Kg/m ³		%	%	%
401	2700	66,7	143,7	15.395,43	49,04	485,03	SI	46,7%	58,7%	32,7%
402	2700	67,3	143,8	13.538,36	45,58	492,63	SI	26,7%	52,0%	42,2%
403	2700	67	143,6	13.054,92	43,63	406,71	SI	28,0%	40,7%	37,6%
404	2700	66,8	143,5	13.924,00	56,24	459,88	SI	48,0%	48,0%	28,2%
405	2700	67	144,4	9.001,65	29,54	389,11	SI	44,0%	56,0%	34,9%
406	2700	67,4933	143,8	12.502,19	36,05	405,84	SI	24,0%	24,0%	22,0%
407	2700	67,7	140,5	11.346,75	43,77	438,15	SI	28,0%	58,7%	29,3%
408	2700	67,1	140,6	9.153,59	29,45	446,29	SI	53,0%	83,3%	33,3%
409	2700	66,6	140,7	12.897,57	43,47	405,23	SI	25,3%	55,3%	32,7%
410	2700	67	142,4	11.536,34	49,97	414,31	SI	37,3%	54,7%	23,3%
411	2700	66,5	142,2	15.137,24	57,35	519,11	SI	20,0%	37,3%	14,2%
412	2700	63,83	140,15	16.267,59	65,75	581,37	SI	14,7%	46,7%	18,7%
413	2700	67	140,4	11.658,45	25,24	471,24	SI	48,0%	48,0%	32,2%
414	2700	67,5	139,95	15.226,94	53,70	446,51	SI	27,3%	48,0%	36,4%
415	2700	66,63	139,78	15.072,86	44,90	444,57	SI	26,7%	44,0%	32,9%
416	2700	68,17	141,55	7.128,62	31,81	402,06	SI	41,3%	82,7%	44,0%
417	2700	68,86	138,9	13.480,89	35,63	589,23	SI	34,0%	52,0%	24,0%
418	2700	68,7	141,5	13.920,62	61,97	574,90	SI	30,0%	60,7%	29,8%
419	2700	67,93	142,1	14.213,70	61,71	467,12	SI	20,0%	30,0%	17,6%
420	2700	68,3	141,6	16.153,67	61,32	520,62	SI	17,3%	24,0%	17,6%
421	2700	68,3	143,3	13.640,32	29,76	495,60	SI	30,7%	30,7%	25,6%
422	2700	68,3	141,7	15.311,63	61,79	594,50	SI	25,3%	31,3%	26,9%
423	2700	73,76	144,3	13.911,62	57,48	545,73	SI	17,3%	20,0%	12,7%
424	2700	73,17	145,55	12.526,65	41,49	430,63	NO	30,0%	64,0%	41,6%
425	2700	73,6	145,45	13.642,18	55,09	587,94	SI	21,3%	36,7%	19,1%
426	2700	74,73	145	16.714,08	60,38	583,39	SI	13,3%	22,7%	13,8%
427	2700	72,97	144,63	11.259,93	37,76	400,89	SI	14,7%	50,7%	33,3%
428	2700	73,97	144,6	11.696,54	45,58	481,67	SI	45,3%	45,3%	27,6%
429	2700	74,06	145,6	13.370,89	50,06	464,48	SI	18,0%	51,3%	26,7%
430	2700	74,01	146	14.585,84	47,60	472,45	SI	17,3%	54,7%	24,4%
431	2700	74,1	144,6	14.026,78	57,30	466,71	NO	20,7%	38,7%	16,9%
432	2700	68,4	141,6	9.703,99	22,03	386,00	SI	41,3%	60,0%	44,0%
433	2700	70,7	144,1	10.611,73	20,09	414,14	SI	42,7%	62,7%	45,1%
434	2700	66	138,4	14.869,95	48,66	448,54	SI	28,0%	33,3%	20,7%
435	2700	65,3	141,8	14.739,12	53,09	489,22	SI	29,3%	48,7%	22,9%
436	2700	66,06	141,9	11.815,86	40,61	508,26	SI	46,7%	52,7%	42,0%
437	2700	70,8	143,8	13.849,72	55,29	406,03	SI	16,0%	29,3%	16,0%
438	2700	70,5	142,9	9.854,18	17,46	381,67	SI	26,7%	53,3%	47,8%
439	2700	70,7	144	13.412,28	55,53	542,06	SI	19,3%	45,3%	23,3%
440	2700	70,1	139	12.903,33	49,85	480,42	SI	40,0%	54,0%	40,9%
441	2700	74,66	144	13.242,98	48,03	467,83	SI	24,0%	47,3%	33,1%
442	2700	70,71	143,46	9.091,28	29,24	376,76	SI	29,0%	50,7%	38,2%
443	2700	70,29	144,04	12.355,22	55,21	425,61	SI	36,0%	58,0%	32,4%
444	2700	70,67	143,86	15.561,88	51,06	547,35	NO	16,0%	24,0%	18,2%
445	2700	70,18	144,09	14.286,94	51,23	453,74	NO	23,0%	38,7%	29,6%
446	2700	71,02	143,36	17.731,24	56,75	430,56	SI	27,0%	27,0%	18,4%
447	2700	66,7	141,5	11.663,06	60,03	539,93	SI	34,0%	64,0%	32,0%
448	2700	66	141,7	4.953,20	18,94	360,12	NO	23,0%	43,3%	27,1%
449	2700	65,5	141,65	14.520,71	52,42	431,92	SI	39,0%	69,3%	34,9%
450	2700	65,7	140,7	16.510,24	51,68	517,78	SI	21,0%	29,3%	16,9%

Tabla A4: Base de datos de la muestra 5

ANEXO I

Tensión de Rotura en flexión N/mm ²							
SIN CLASIFICAR	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	246	47	50	50	49	50
Min	11,28	11,28	20,16	21,23	18,97	18,97	
Med	45,54	42,37	46,68	47,56	44,76	46,15	
Max	86,13	79,80	77,48	86,13	80,80	65,75	
f ₀₅	21,14	20,30	20,79	23,79	19,86	20,96	
S	15,50	16,08	15,88	17,58	15,25	12,69	
COV	0,34	0,38	0,34	0,37	0,34	0,28	

MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION N/mm ²							
SIN CLASIFICAR	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	246	47	50	50	49	50
Min	4.631	6.602	4.631	8.363	5.639	4.631	
Med	13.323	11.594	14.151	14.117	13.694	13.059	
Max	21.717	18.616	21.269	21.717	19.527	17.731	
E ₀₅	8.926	7.768	9.481	9.458	9.175	8.750	
S	3.114	3.040	3.640	3.234	3.147	2.508	
COV	0,23	0,26	0,26	0,23	0,23	0,19	

DENSIDAD kg / m ³							
SIN CLASIFICAR	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	246	47	50	50	49	50
Min	358	384	358	400	392	358	
Med	490	485	502	506	490	470	
Max	665	648	665	638	593	595	
f ₀₅	390	387	387	417	397	365	
S	61	59	70	54	56	63	
COV	0,12	0,12	0,14	0,11	0,12	0,13	

Tensión de Rotura en flexión N/mm ²							
CLASE 1	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	49	7	12	16	11	3
Min	27,32	45,95	38,65	27,32	33,46	51,06	
Med	60,34	65,66	61,92	60,52	56,92	53,20	
Max	86,13	79,80	77,48	86,13	71,28	57,30	
f ₀₅	43,60	47,62	46,38	32,78	40,15	51,08	
S	10,88	13,06	10,18	16,79	10,84	3,55	
COV	0,18	0,20	0,16	0,28	0,19	0,07	

MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION N/mm ²							
CLASE 1	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	49	7	12	16	11	3
Min	10.303	13.004	10.303	11.957	12.171	14.027	
Med	15.514	15.581	15.783	15.640	15.943	14.625	
Max	20.949	18.616	20.949	18.678	19.527	15.562	
E ₀₅	10.395	10.439	10.575	10.479	10.682	9.799	
S	1.960	2.038	2.962	1.976	2.003	822	
COV	0,13	0,13	0,19	0,13	0,13	0,06	

DENSIDAD kg / m ³							
CLASE 1	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	49	7	12	16	11	3
Min	418	443	418	418	450	454	
Med	529	528	562	541	525	489	
Max	665	582	665	638	584	547	
f ₀₅	443	451	454	446	457	406	
S	53	47	66	58	41	51	
COV	0,10	0,09	0,12	0,11	0,08	0,10	

Tensión de Rotura en flexión N/mm ²							
CLASE 2	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	138	23	24	18	33	40
Min	17,46	25,55	20,75	21,23	18,97	17,46	
Med	44,31	41,24	45,55	45,10	42,73	46,27	
Max	80,80	76,52	72,48	75,02	80,80	65,75	
f ₀₅	24,32	26,53	24,91	29,05	20,18	20,95	
S	13,53	12,82	13,72	13,84	14,82	12,46	
COV	0,31	0,31	0,30	0,31	0,35	0,27	

MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION N/mm ²							
CLASE 2	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	138	23	24	18	33	40
Min	4.953	6.602	8.893	8.864	5.639	4.953	
Med	13.276	11.233	14.633	14.030	13.245	13.239	
Max	21.717	17.344	21.269	21.717	18.905	17.731	
E ₀₅	8.895	7.526	9.804	9.400	8.874	8.870	
S	2.957	2.752	2.842	3.502	3.225	2.463	
COV	0,22	0,24	0,19	0,25	0,24	0,19	

DENSIDAD kg / m ³							
CLASE 2	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	138	23	24	18	33	40
Min	360	384	439	408	392	360	
Med	483	479	498	488	480	470	
Max	648	648	610	570	593	595	
f ₀₅	390	372	413	419	381	363	
S	56	65	51	42	60	65	
COV	0,12	0,13	0,10	0,09	0,12	0,14	

Tensión de Rotura en flexión N/mm ²							
CLASE 3	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	59	17	14	16	5	7
Min	11,28	11,28	20,16	21,67	19,05	20,09	
Med	36,14	34,30	35,55	37,36	31,37	42,47	
Max	68,91	50,07	58,11	68,91	42,83	61,97	
f ₀₅	20,06	13,53	20,46	22,26	21,18	22,90	
S	13,00	12,05	13,43	14,60	8,74	16,19	
COV	0,36	0,351	0,378	0,391	0,278	0,381	

MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION N/mm ²							
CLASE 3	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	59	17	14	16	5	7
Min	4.631	7.794	4.631	8.363	7.888	7.129	
Med	11.627	10.440	11.927	12.692	11.716	11.361	
Max	19.176	15.778	19.176	18.596	13.684	14.521	
E ₀₅	7.790	6.994	7.991	8.503	7.850	7.612	
S	3.051	2.457	4.473	3.424	2.277	2.625	
COV	0,26	0,24	0,38	0,27	0,19	0,23	

DENSIDAD kg / m ³							
CLASE 3	Todas	M1	M2	M3	M4	M5	
	n	59	17	14	16	5	7
Min	358	398	358	400	454	402	
Med	472	474	458	490	475	463	
Max	575	560	570	571	522	575	
f ₀₅	387	391	347	415	430	352	
S	51	50	67	45	27	67	
COV	0,11	0,11	0,15	0,09	0,06	0,14	

clase 1	Med: no	nudos	<	40%
clase 2	Med: si	nudos	<	60%
clase 3	Med: si	nudos	>	60%

Tabla A5: Propiedades físicas y mecánicas de acuerdo al criterio de clasificación 5. No se admite médula en la clase 1 y se limita de acuerdo al criterio de nudosidad 2 (relación entre la dimensión del nudo o grupo de nudos ubicados en un largo igual al canto de la viga, lo que resulte mayor, y el de la superficie externa donde se manifiesta), se admite hasta el 40 % en la clase 1 y hasta el 60 % en la clase 2.

DETERMINACIÓN DE LOS VALORES CARACTERÍSTICOS

Las expresiones que se transcriben en este Anexo corresponden a la Norma UNE-EN 384 y son al solo efecto de facilitar la comprensión de las operaciones realizadas

Resistencia a flexión

$f_{05} = f_r$	f_{05}	Percentil del 5º de cada muestra
	f_r	Se determina clasificando todos los resultados de ensayo de una muestra en orden creciente. El 5º percentil es el valor por debajo del cual se encuentran el 5% de los resultados
$f_k = \bar{f}_{05} k_s k_v$	f_k	Valor característico de resistencia en N/mm ²
	\bar{f}_{05}	Es la media de los valores corregidos del 5º percentil (f_{05}) de cada muestra, en N/mm ² . Si es superior a 1,2 veces el menor de los valores corregidos de f_{05} , será necesario o bien redefinir la población de referencia para eliminar el valor mínimo o bien tomar igual a 1,2 veces el menor de los valores de f_{05} .
	k_s	Factor para la corrección en función del número y tamaño de las muestras y se determina utilizando el gráfico de la figura 1 de la EN 384:1995. Para 5 muestras de 40 probetas o más toma valor 1.
	k_v	Factor para la corrección en función de clasificación mecánica. Para clasificación visual toma valor 1.
$f_{mk} = \sum f_{ki} / n$	f_{mk}	Valor característico de la resistencia a flexión “i” en N/mm ²
	f_{ki}	Valor característico de resistencia de la muestra “i” en N/mm ²
	n	Número de muestras

Modulo de elasticidad

$\bar{E} = \frac{\sum E_i}{n}$	\bar{E}	Valor medio del módulo de elasticidad de la muestra “i”, en N/mm ²
	E_i	módulo de elasticidad de cada probeta, en N / mm ²
	n	Número de probetas de la muestra

Una vez corregido el valor de E de cada muestra a las condiciones de referencia, el valor característico $E_{0,medio}$ se calcula a partir de la ecuación:

$$E_{0,medio} = \frac{\sum \bar{E}_j n_j}{\sum n_j}$$

$E_{0,medio}$ Valor característico medio del módulo de elasticidad paralelo a la fibra, en N/mm²
 \bar{E}_j Valor medio del módulo de elasticidad de la muestra "j", en N/mm²
 n_j Número de probetas de la muestra "j"

Determinación del 5º percentil de la densidad de la muestra

$$\rho_{05} = (\bar{\rho} - 1,65s) \text{ kg/m}^3$$

ρ_{05} Densidad (5º percentil) para la muestra, en Kg/m³
 $\bar{\rho}$ Densidad media de las densidades, en Kg/m³
 s Desviación típica de las densidades, en Kg/m³

$$\rho_k = \frac{\sum \rho_{05,j} n_j}{\sum n_j}$$

ρ_k Densidad característica (5º percentil) de la densidad para la muestra j, en Kg/m³
 $\rho_{05,j}$ Densidad (5º percentil) para la muestra j, en Kg/m³
 n_j Número de probetas de la muestra j

Tracción paralela a la fibra cortante (valor característico)

$$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$$

Compresión paralela a la fibra cortante (valor característico)

$$f_{c,0,k} = 5(f_{m,k})^{0,45}$$

Tracción perpendicular a la fibra (valor característico)

$$f_{t,90,k} = 0,001 \rho_k$$

Compresión perpendicular a la fibra (valor característico)

$$f_{c,90,k} = 0,015 \rho_k$$

Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra

Para especies coníferas:

$$E_{90,medio} = \frac{E_{0,medio}}{30}$$

AGRADECIMIENTOS

A los alumnos de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Venado Tuerto, que participaron en las tareas de relevamiento de los defectos, los ensayos de laboratorio y la discusión de resultados experimentales que sin su responsable y continua tarea no se podría haber completado el trabajo aquí publicado. Ellos son: Caporaletti Guillermo, Cozzi Emiliano, Criado Judith, Criado Román, Dutto Lucrecia, Gianinni Marianela, Gómez Carolina, Ibarra José, Macerata Yanina, Moreno Ileana, Quinodóz Miguel, Quiroga Mariana, Soldini Mario, Sosa Miguel, Suárez Eric, Venturini Aldana y Viglioni Perla.