



Identificación del Trabajo	
Área:	Estructuras y construcciones civiles
Categoría:	Alumno / Graduado
Regional:	Venado Tuerto

Propiedades mecánicas de vigas 2 x 3" de Pino Ponderosa

Marina GALLO, Ezequiel OGGERO, Joel OGGERO

GIDEC (Laprida 651, Venado Tuerto), Facultad Regional Venado Tuerto, UTN

E-mail de autores: marinagallo22@gmail.com, ezequiel.oggero@gmail.com, joeloggero@gmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Alfredo A. Guillaumet y la Ing. María C. Filippetti, en el marco del proyecto "Caracterización estructural del pino Ponderosa de Río Negro INIVT 3975". (2016 – 2019)

Resumen

En la zona andina de la provincia de Neuquén, Río Negro, y Chubut, existe una amplia superficie con bosques implantados de Pino Ponderosa. La posibilidad de utilizar esta madera para la construcción de estructuras exige la evaluación de sus propiedades mecánicas. Este trabajo presenta los resultados del ensayo de 55 vigas aserradas de esta especie. Las singularidades se evaluaron según la norma UNE-EN 1310:1997 y los ensayos se realizaron según la norma UNE-EN 408:2011. Se propone un método de clasificación visual con tres grados resistentes. Los valores obtenidos de resistencia a flexión para los grados 1 y 2 son 18 N/mm² y 11 N/mm² respectivamente, con un módulo de elasticidad de 6.672 N/mm² y 4.766 N/mm² para cada grado resistente. Para ambas clases, los valores resultaron coincidentes en resistencia a flexión a los propuestos en la Norma IRAM 9662/3 (2005) para el Pinus elliotti/ taeda de Misiones, y con un módulo de elasticidad inferior en un orden del 44% para la clase 1 y un 32% para la clase 2.

Palabras Claves: Pino; Ponderosa; Madera; Vigas

1. INTRODUCCIÓN

La protección del bosque nativo impulsar a la industria de la construcción a utilizar madera proveniente de bosques implantados.

En el año 2002 en Argentina se aprueba la primera norma con un método de clasificación en grados resistentes y en la actualidad existen cuatro combinaciones de especie / procedencia que poseen una norma del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Para el diseño de estructuras de madera, en 2013 se finalizó la redacción Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, CIRSOC 601 que se aprobó en 2016. Esta versión del reglamento realiza el diseño en tensiones admisibles. El reglamento, que contempla el diseño con madera aserrada y laminada encolada, adjunta los valores admisibles de las propiedades para solo cuatro especies: Pinus elliotti/taeda, Araucaria angustifolia, Eucalyptus grandis y Populus deltoides proveniente de bosque implantados en la región mesopotámica.

La madera es un material natural que presenta grandes variaciones de sus propiedades que la caracterizan, en función de la especie, tratamiento silvicultural y por ende condiciones de disponibilidad de recursos, ambientales y genéticas como así también los tratamientos de post-cosecha como aserrado, acabado y secado. Las propiedades no solo varían de un árbol a otro, sino también dentro del árbol en función de la altura y la distancia a la médula (Glos 1995).

Se consideran características reductoras de la resistencia a los nudos, la desviación de la fibra, la densidad y las fisuras; como características geométricas las gemas y las deformaciones

(curvatura de cara, de canto y el alabeo); y como características biológicas la afectación por hongos e insectos (Glos 1995, Hoffmeyer 1995)

El Pino Ponderosa se introdujo en la Patagonia Argentina en el comienzo del siglo XX siendo que de manera intensiva las primeras plantaciones para la producción de madera se establecieron en la década de los 70. Actualmente es la especie forestal más plantada en la región de los andes patagónicos, concentrándose en la pre-cordillera andina de las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut (Gonda, 2001), con una superficie de total cercanas a las 100 mil ha (Inventario de Plantaciones Forestales, 2015). Esta amplia superficie con bosques implantados hace relevante el estudio de sus propiedades estructurales con el fin de obtener su incorporación a los suplementos del reglamento CIRSOC 601.

Los árboles maduros poseen albura de color amarillento pálido y duramen rojizo claro, diseño floreado en el corte tangencial y veteado en corte radial. Es considerada una madera liviana. La aplicación de tratamientos silviculturales, fundamentalmente raleos, tienden a mantener el vigor de las plantaciones.

Los principales productos de pino ponderosa encontrados en el mercado hoy son: postes impregnados y varillas para alambrado, postes para construcción y revestimiento de cabañas, tablas y tacos para pallets y fabricación de bins, tablas y tirantes para encofrado y machimbres. Otro producto que se fabrica con esta especie es la madera clear, fundamentalmente para la construcción de vigas laminadas, en etapa incipiente (Spavento, 2010), como también la construcción de viviendas utilizando ladrillos de madera.

Este trabajo presenta los resultados experimentales de las propiedades de vigas del pino ponderosa implantado en la provincia de Río Negro, en las proximidades de la ciudad de San Carlos de Bariloche, ensayadas según la norma UNE-EN 408(2010). Se propone un método de clasificación visual resistente de acuerdo a los lineamientos propuestos en la Norma IRAM 9662/3.

2. METODOLOGÍA

2.1. Material.

La madera de pino ponderosa fue obtenida de trozas provenientes de tres sitios el predio La Lucha, el predio de la familia Martin y del barrio cerrado Dos Valles (26, 21 y 19 años de edad respectivamente), todos sitios de la cuenca Arroyo del Medio, próxima a la ciudad de San Carlos de Bariloche. El diámetro promedio mayor de las trozas fue 274 mm y el menor de 199 mm. Los largos variaron entre 2.350 y 4.400 mm. El volumen promedio de las trozas fue de 0,14 m³ y el rendimiento del aserrío alcanzó el 50,3 %.

Las trozas fueron aserradas, secadas y cepilladas en Bariloche, posteriormente se conformaron vigas de 50x75 mm de 1600 mm de longitud. En el laboratorio de la UTN Facultad Regional Venado Tuerto, se seleccionaron 55 vigas y se colocaron en cámara de estabilizado con una temperatura de 20+/-2°C y una humedad relativa ambiente de 65+/-5 % para luego ser ensayadas a flexión.

2.2. Método

Las singularidades se evaluaron de acuerdo a la norma UNE-EN 1310 (1997) para el relevamiento de los defectos: presencia de médula, dimensión de los nudos, deformaciones previas al ensayo, arista faltante, y fisuras. La nudosidad "K": se define como la relación entre la dimensión del nudo mayor o grupos de nudos, medido entre líneas tangentes a él y paralelas al eje longitudinal de la probeta, y la dimensión de la cara donde se manifiesta, en los nudos de arista se considera la menor de las dos relaciones.

El procedimiento experimental se realizó en el laboratorio de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto, de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 408 (2011). La carga de ensayo se aplicó, mediante una prensa hidráulica con válvula reguladora de caudal que permitía ajustar la velocidad de aplicación de la carga, para que la fuerza máxima se alcance en un tiempo de $300 \text{ s} \pm 120 \text{ s}$. La medición de cargas se realizó con una celda de 10 KN de capacidad máxima con precisión de 10 N, conectada a un transductor marca CIFIC de registración continua de la lectura. Finalmente se registró la carga máxima, el tiempo empleado en alcanzarla y observaciones relevantes acompañadas de fotografías.

Para el procedimiento experimental y la determinación de los módulos de elasticidad global y local en flexión y resistencia a flexión se utilizaron las expresiones propuestas en la UNE EN 408 (2011). La Figura 1 presenta el esquema de cargas para el ensayo:

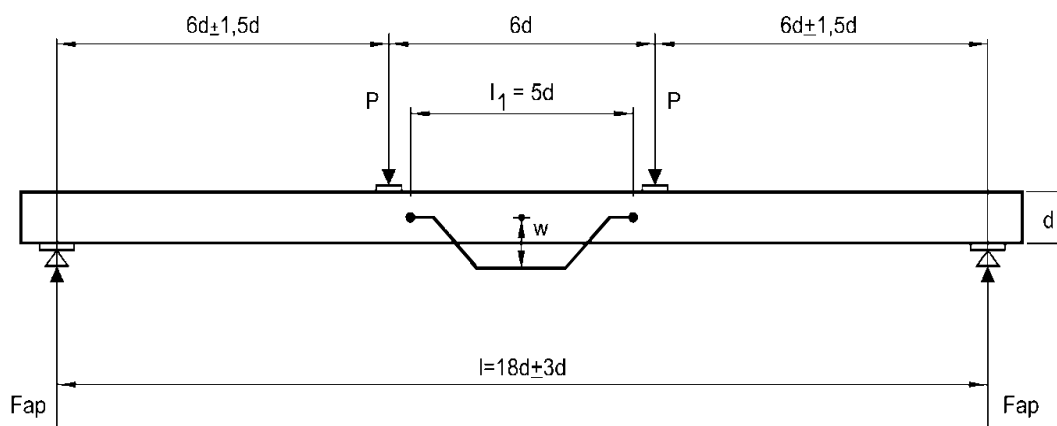


Figura 1. Esquema de cargas de ensayo

La determinación de la resistencia a la flexión axil se realizó con la expresión 1

$$f_m = \frac{3 F a}{b h^2} \quad (1)$$

Donde:

f_m : resistencia a la flexión, en Newton por milímetro cuadrado.

F : Carga, Newton.

a : distancia entre un punto de carga y el apoyo más próximo, en milímetros.

b : anchura de la sección transversal, en milímetros.

h : altura de la sección en los ensayos de flexión, en milímetros.

El módulo de elasticidad local en flexión se determinó con la expresión 2

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16 I (w_2 - w_1)} \quad (2)$$

Donde:

$E_{m,l}$: Módulo de elasticidad local en flexión, en newton por milímetro cuadrado.

l_1 : longitud base de medida de deformaciones, en milímetros.

$F_2 - F_1$: incremento de carga en Newton.

$w_2 - w_1$: incremento de deformación en milímetros para $F_2 - F_1$.

I : momento de inercia en milímetros elevados a la cuarta potencia

El módulo de elasticidad global en flexión se determinó con la expresión 3

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh} \right)} \quad (3)$$

Donde:

$E_{m,g}$: Módulo de elasticidad global en flexión, en Newton por milímetro cuadrado

G : Módulo de elasticidad transversal, en Newton por milímetro cuadrado.

En la determinación del módulo de elasticidad local " $E_{m,g}$ " se consideró el módulo de elasticidad transversal " $G= 650$ ", de acuerdo a la Norma UNE-EN 408:2011.

Posteriormente a los ensayos, en todos los cuerpos de prueba, se determinó la densidad (norma ISO 3131:1975) y humedad (norma ISO 3130:1975).

Los valores de módulo de elasticidad, tensión y densidad se encuentran corregidos de acuerdo a lo especificado por la norma en cuanto al canto de referencia (150 mm) y humedad 12%.

3. RESULTADOS

3.1. Valores experimentales

En la tabla I se presentan los valores experimentales de resistencia a la flexión, módulo de elasticidad global, módulo de elasticidad local y densidad de las vigas ensayadas. Los valores se ajustaron a las condiciones de referencia especificadas en la norma UNE-EN 384 (2010).

Tabla I. Valores experimentales de las tablas de Pino Ponderosa.

Variable	Muestra	Mínimo	Medio	Máximo	COV	n
f_m	N/mm ²	3	20	42	37,44	55
$E_{m,g}$	N/mm ²	1.605	5.238	13.023	34,03	55
$E_{m,l}$	N/mm ²	1.541	4.863	9.233	38,40	55
ρ	Kg/m ³	314	384	473	8,93	55

f_m : Resistencia a la flexión está ajustada a la altura de referencia de 150 mm. $E_{m,g}$: Módulo de elasticidad global ajustada a la humedad de referencia del 12%. $E_{m,l}$: Módulo de elasticidad local ajustada a la humedad de referencia del 12%. ρ : Densidad ajustada la humedad de referencia del 12%. COV: coeficiente de variación en %, n: número de piezas.

3.2 Influencia de las singularidades en las propiedades mecánicas

En este apartado se analiza la influencia de la presencia de médula, la dimensión de los nudos, el tamaño de los anillos de crecimiento, inclinación de las fibras y la densidad en las propiedades mecánicas.

La Tabla II presenta los valores del análisis de la resistencia a flexión en función de la existencia de médula.

Tabla II. Resistencia a flexión en N/mm² frente a la presencia de médula.

Elemento	Médula	Mínimo	Medio	Máximo	Desvío	COV	n
Todas	SI	3	16	35	8	47	11
	NO	7	21	42	7	35	44

Se observa una disminución en el valor medio de la resistencia a flexión característica del orden del 42% para las piezas que poseían médula.

La Tabla II presenta los valores del análisis de la resistencia a la flexión en función de la existencia de médula.

Tabla III. Módulo de elasticidad global en N/mm² frente a la presencia de médula.

Elemento	Médula	Mínimo	Medio	Máximo	Desvío	COV	n
Todas	SI	1.605	4.217	7.084	1.497	36	11
	NO	2.285	5.493	13.023	1.770	32	44

Se observa una disminución en el valor medio del módulo de elasticidad global medio del orden del 23% para las piezas que poseían médula.

La tabla IV presenta las correlaciones entre la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad con la nudosidad, la dimensión del anillo mayor y la densidad.

Tabla IV. Correlaciones entre la resistencia y el módulo de elasticidad con las singularidades de la madera

Variable	Nudosidad "K"	Anillo Mayor	Densidad	I. Fibras
	R (V-P)	R (V-P)	R (V-P)	R (V-P)
f_m	-0,44 (<0,05)	-0,49 (<0,05)	0,15 (>0,05)	-0,16 (<0,05)
$E_{m,g}$	-0,40 (<0,05)	-0,61 (<0,05)	0,19 (<0,05)	-0,22 (<0,05)

f_m : Resistencia a la flexión. $E_{m,g}$: Módulo de elasticidad global. R: coeficiente de correlación de Pearson, entre cada par de variables. (V-P): valor-P

La resistencia a la flexión presenta las siguientes correlaciones: relativamente débiles con la nudosidad (R= -0,44), y con el anillo de crecimiento mayor (R= -0,49), mientras que no se observa una relación estadísticamente significativa con la densidad (R= 0,15) y la inclinación de las fibras (R=-0,22). De igual manera para el módulo de elasticidad se obtuvieron correlaciones relativamente débiles con la nudosidad (R= -0,40) y el anillo de crecimiento mayor (R= -0,61), mientras que la densidad y la inclinación de fibras no resultan estadísticamente significativas (valor-P>0,05).

Los resultados obtenidos indican que la nudosidad y la dimensión del anillo de mayor crecimiento resultan parámetros relevantes en el diseño de un método de clasificación visual.

Sobre la base de estas conclusiones en la Tabla V se proponen los límites entre clases resistentes.

Tabla V. Límites propuestos para la clasificación visual.

defecto	unidad	Clase		
		Superior	Inferior	Descarte
Médula	-	no	si	si
Nudosidad	mm/mm	$K < 1/3$	$1/3 < K < 2/3$	$K > 2/3$
Anillo de crecimiento	mm	10	15	Sin limitación

En la Tabla VI se presentan los valores medio y percentiles del 5% para la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad global para las dos clases resistentes propuestas.

Tabla VI. Resistencia a la flexión y módulo de elasticidad global en N/mm²

Variable	Clase	Medio	P-5%	COV.	n
f_m	Superior	27	18	0,28	14
	Inferior	17	11	0,31	25
	Descarte	18	6	0,35	16
$E_{m,g}$	Superior	6.672	4.304	0,33	14
	Inferior	4.766	2.937	0,27	25
	Descarte	4.721	2.276	0,30	16
ρ	Superior	381	346	0,07	14
	Inferior	388	341	0,10	25
	Descarte	380	337	0,09	16

P-5%: Percentil 5%; n: número de piezas; los valores de resistencia están ajustados a la altura de referencia de 150 mm; los valores de módulo de elasticidad están ajustados a la humedad de referencia de 12%. ρ : Densidad.

Se puede observar que la clasificación propuesta diferencia claramente los valores característicos para cada grado. Solo un 25% de las piezas clasifica el grado superior, un 50 % en el inferior con un descarte de 25%.

Si se analizan a la luz de la norma UNE-EN 338:2009 se puede apreciar que el grado superior presenta una resistencia equivalente a una clase C18, pero el valor del módulo de elasticidad solo permite Considerarlo en la clase C14, que resulta la más baja de uso estructural para el sistema europeo. La clase inferior podría usar en elementos estructurales secundarios, de menor exigencia y riesgo.

3.4. Comparación de las propiedades estructurales del Pino Ponderosa con los valores del Pino elliotti/taeda presentados la IRAM 9662/3 (2005)

A los resultados de la clasificación visual por resistencia de vigas del pino ponderosa implantado en Bariloche, se los compara en la Tabla VII, con los valores del Pino elliotti/taeda incluidos en la norma IRAM 9662/3 (2005), no se compara el descarte. Se puede apreciar que los valores correspondientes a resistencia a flexión coinciden para las dos especies en ambos grados resistentes, mientras que el módulo de elasticidad global resulta inferior en un 44% para el grado 1 y un 32% para el grado 2.

Tabla VII. Comparación de las propiedades estructurales del Pino Ponderosa con los valores del Pino elliotti/taeda presentados la IRAM 9662/3 (2016)

Especie	Grado	Resistencia a la flexión (N/mm ²)	Módulo de elasticidad (N/mm ²)
Pino Ponderosa	1	18	6.672
	2	11	4.766
Pino elliotti/ taeda	1	18	12.000
	2	11	7.000

4. CONCLUSIONES

El sistema de clasificación visual permite separar claramente en dos grados resistentes, con valores característicos bien diferenciados para cada uno. Los valores de resistencia a la flexión de las vigas, 18 N/mm^2 y 11 N/mm^2 para los grados superior e inferior respectivamente, resultan idénticos a los propuestos por la IRAM 9662/3 (2005) para el Pino elliotti/taeda.

Los valores de módulo de elasticidad de las vigas, de 6.672 N/mm^2 y 4.766 N/mm^2 para los grados superior e inferior respectivamente, resultan inferiores en un 44% para el grado 1 y un 32% para el grado 2 a los propuestos por la IRAM 9662/3 (2005) para el Pino elliotti/taeda.

Para avanzar en la propuesta de una norma IRAM de clasificación visual y valores mecánicos característicos del pino Ponderosa se debería aumentar el número de ensayos de distintas esquadras.

AGRADECIMIENTOS

A los establecimientos de la cuenca de Arroyo del Medio (señor Beressant, Martin y consorcio Dos Valles), al aserradero GW quien procesó todo el material y al Ministerio de la Producción de la provincia de Río Negro, quien de manera parcial financió las actividades de traslado de las trozas hasta el aserradero.

A los jóvenes graduados y alumnos de la carrera de ingeniería civil de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional por su participación en el desarrollo de los ensayos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIRSOC 601(2016) INTI. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles. Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Buenos Aires.

Chauchard L. M. (2012). "Esquemas silvícolas para plantaciones de Pino ponderosa en el noroeste de la Patagonia, Argentina" Revista Producción Forestal. Argentina. Año N° 2, Revista N° 4, pp: 7-12.

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

Gonda, H. (2001). "Manejo de pino ponderosa. Modelo preliminar para plantaciones en sitios de calidad media en la Patagonia andina". CIEFAP. Argentina. 4 pp

Guillaumet A., et al (2007) Clasificación visual resistente de la Araucaria Angustifolia procedente de Eldorado, Misiones, Argentina. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales IBEROMADERA, Buenos Aires.

Hermoso, E. (2001). Caracterización mecánica de la madera estructural de Pinus sylvestris L. Tesis doctoral. Madrid, ES, Universidad Politécnica. 253 p.

Hoffmeyer, P. (1995). Wood as a building material. Timber engineering STEP 1, Lecture B2. First edition. Centrum Hout. The Netherlands. P 43-63.

IRAM 9663(2015) Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera estructural. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Buenos Aires.

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

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

Piter, J.C. (2003). Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el Eucalyptus grandis de Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Plata. 206 p.

Spavento, et al. (2010). "Datos Tecnológicos Preliminares de Pino Ponderosa (Pinus Ponderosa Dougl. ex Laws) asociados al Sitio". I Jornadas Forestales Patagonia Sur. Provincia de Tierra del Fuego, CONICET e INTA-Ushuaia.

UNE- EN 338 (1995) - Madera estructural. Clases resistentes. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madrid.

UNE-EN 384 (2010) Agencia Española de Normalización y Certificación. Determinación de los valores característicos de las propiedades y la densidad. Madrid.

UNE-EN 408 (2011) Agencia Española de Normalización y Certificación. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Madrid.

UNE-EN 1310(1997) – Madera aserrada y madera en rollo- Método de medida de las singularidades.

UNE-EN 14081-1(2006) Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia Parte 1: Requisitos generales