

# Determinación de la Resistencia a la Flexión y Módulo de Elasticidad de Pino Ponderosa

**Resumen:** El presente trabajo caracteriza vigas aserradas de 2"x 3" de Pino ponderosa provenientes de bosques implantados en la zona Andina de la Provincia de Rio Negro aplicando la Normativa Europea para determinar módulo de elasticidad, resistencia a la flexión y densidad. Se proponen los parámetros para realizar la clasificación visual resistente de las probetas y los valores de las propiedades por Grado. Para la madera clasificada se obtuvieron valores de resistencia a la flexión de 17.1 N/mm<sup>2</sup> y 14.0 N/mm<sup>2</sup>, de módulo de elasticidad 7340 N/mm<sup>2</sup> y 6105 N/mm<sup>2</sup> y densidades de 341.1 N/mm<sup>2</sup> y 349.0 N/mm<sup>2</sup>, para el grado 1 y 2, respectivamente.

**Palabras Claves:** Pino ponderosa; Resistencia a la flexión; Modulo Elasticidad; Clasificación Visual.

**Abstract:** This paper describes 2 "x 3" beams of ponderosa pine from forests implanted in the Andean zone of the Province of Rio Negro applying the European Norms to determine modulus of elasticity, flexural strength and density. We propose the parameters to perform the resistant visual classification of the test pieces and the values of the properties by Degree. Bending strength values of 17.1 N / mm<sup>2</sup> and 14.0 N / mm<sup>2</sup>, with modulus of elasticity of 7340 N / mm<sup>2</sup> and 6105 N / mm<sup>2</sup>, and densities of 341.1 N / mm<sup>2</sup> and 349.0 N / mm<sup>2</sup>, were obtained for the sorted wood. Grade 1 and 2, respectively.

**Keywords:** Ponderosa pine; Flexural strength; Modulus Elasticity; Visual Ranking.

Juana Aranda<sup>1</sup>, Ileana Moreno<sup>2</sup>, Joana De La Maza<sup>3</sup>, Tomás O´ Donohe<sup>4</sup>

G.I.D.E.C., Laprida N° 651, (2600) Venado Tuerto, Santa Fe, Argentina. gidec@frvt.utn.edu.ar

Facultad Regional Venado Tuerto UTN, Laprida N° 651, (2600) Venado Tuerto, Santa Fe, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

La disminución de los bosques nativos y la necesidad de proteger estos espacios disminuye la oferta de madera dura para la utilización en estructuras. En este contexto la utilización de especies de rápido crecimiento permitiría satisfacer las demandas de la construcción y su explotación en montes de reforestación sustentable.

La redacción de los suplementos del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 puso en evidencia la falta de información sobre el comportamiento estructural de las maderas del país, por ello la importancia de realizar trabajos de investigación que permitan incorporar más combinaciones de especie - procedencia a ese cuerpo normativo. En la actualidad solo cuatro especies del litoral Argentino (Pino elliotti del norte de Corrientes y Misiones, Pino paraná de Misiones, Eucaliptus grandis de Entre Ríos y Álamo del Delta del Río Paraná) poseen antecedentes de ensayos de piezas de dimensiones estructurales y están contemplados en Normas IRAM.

Es importante para el desarrollo de la industria maderera de otras regiones que se realicen los estudios correspondientes para otras combinaciones de especie - procedencia para mantener el valor de su producción como madera de uso estructural y gestionar su incorporación al Reglamento CIRSOC 601.

El Pino ponderosa es la conífera exótica de rápido crecimiento más plantada en la Patagonia andina, donde existen aproximadamente 78.000 ha de bosques distribuidos a lo largo de una angosta y extensa franja discontinua de unos 1.300 km de largo. Los rodales están repartidos en las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut (Loguercio y Deccechis 2006). Las provincias de Neuquén y Chubut, además de tener más plantaciones, son las que poseen una mayor superficie de tierras naturalmente aptas para establecer nuevas forestaciones; 1.500.000 y 400.000 ha respectivamente.

En Río Negro este tipo de tierras suman unas 4.000 ha (Loguercio y Deccechis 2006).

La adaptabilidad del Pino ponderosa le permite desarrollarse satisfactoriamente en las condiciones ambientales de la región y suponer que esta especie forestal continuará siendo la más ampliamente cultivada en la región, por ello resulta muy importante conocer sus características estructurales.

La tecnología del cultivo del Pino ponderosa ha experimentado importantes avances en los últimos años. Varios viveros han comenzado a ofrecer a escala comercial plantines cultivados en bandejas en invernáculo aplicando sofisticados regímenes de fertirriego (Contardi et al. 2012). Paralelamente, la creciente disponibilidad de semilla proveniente de tres huertos instalados por el INTA contribuye a la mejora de la calidad futura de los árboles.

## OBJETIVO

Determinar las propiedades estructurales de la madera de Pino ponderosa con el fin de avanzar en su incorporación a Normas IRAM y los suplementos del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601.

## METODOLOGÍA

La madera utilizada es Pino ponderosa proveniente de bosques implantados en la zona andina de la Provincia de Río Negro (Bariloche). El material se recibió, en forma de vigas aserradas y cepilladas, con denominación de origen que permite registrar la trazabilidad de la muestra.

El ensayo se realizó sobre 50 vigas de 2" x 3" x 2.20 metros de longitud y fueron estabilizadas en cámara a una temperatura de  $20 \pm 2$  °C y a una humedad relativa ambiente de  $65 \pm 5$  %.

Se procedió al relevamiento de defectos, tamaño de nudos, presencia de médula, anillos de crecimiento, etc. según la norma UNE EN 1310:1995. La tabla 1 muestra el criterio de clasificación visual

de la Norma IRAM 9662/3 de pino elliotti y taeda que se utilizó para las muestras de Pino ponderosa ya que son pinos resinosos de similares características morfológicas.

Defecto		Unidad	Clase 1	Clase 2	Determinación
Médula		–	No se admite	Se admite	5.1
Nudosidad		cm/cm	Menor o igual a 1/3	Menor o igual a 2/3	5.2
Dirección de las fibras		cm/cm	Desviación menor que 1:9	Desviación menor que 1:7	5.3
Anillos de crecimiento		mm	Menor que 10	Menor que 15	5.4
Fisuras	No pasante	m	El largo de las fisuras no pasantes no debe ser mayor que 1,50 m y que 1/2 del largo de la pieza.		5.5
	Pasante	m	El largo de las fisuras pasantes no debe ser mayor que 1,0 y que 1/4 del largo de la pieza. En los extremos, su largo no debe ser mayor que 2 veces al ancho de la tabla.		
Combado y encorvado		mm	Menor a 12		5.6.1
Revirado		mm/mm	Menor que 2 mm por cada 25 mm de ancho.		5.6.2
Abarquillado			Sin restricciones para el abarquillado		5.6.3
Arista faltante		mm/mm	Transversalmente menor que 1/3 de la cara o canto donde aparece Sin restricciones para la longitud		5.7
Ataques biológicos		–	No se admiten zonas atacadas por hongos causantes de pudrición. Se admiten zonas atacadas por hongos cromógenos. Se admiten orificios causados por insectos con diámetro inferior a 2 mm		5.8
Madera de reacción		mm/mm	Menor o igual a 2/5.	Menor o igual a 3/5.	5.9
Otros		–	Daños mecánicos, depósitos de resina y otros defectos se limitan por analogía con alguna característica similar.		5.10

Tabla 1: Criterios para asignar las clases resistentes.

Los ensayos a flexión se realizaron respetando las prescripciones de la Norma UNE- EN 408:2011 y las tareas se llevaron a cabo en los laboratorios de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional. Las Figura 1 y Figura 2 ilustran el procedimiento de ensayo.

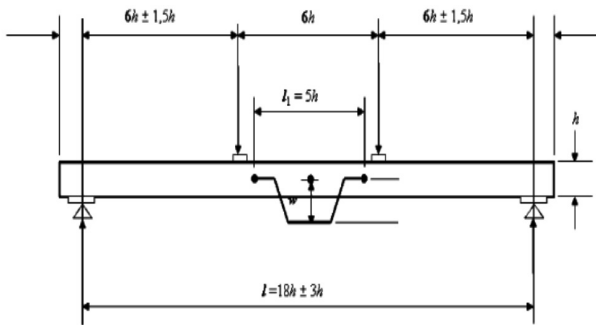


Fig. 1: Esquema de carga.



Fig. 2: Imagen de Ensayo.

Para la medición de cargas se utilizó una celda de carga máxima 10000 N y lectura mínima 10 N. Las deformaciones se determinaron a través de tres comparadores de precisión de 0,01 mm., uno mide la deformación global y los dos restantes se promedian para determinar la deformación local en un largo de 5 veces la altura de la viga, sector del momento flector constante y sin esfuerzo de corte. Ver figuras 2 y 3. Se obtuvieron lecturas para 7 escalones de carga (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 y 3500 N).

Para aplicar los factores de corrección, es necesario determinar el contenido de Humedad s/Norma ISO 3130 (1975) y la Densidad s/Norma ISO 3131(1975) - UNE EN 384:2010. Para ello se extrajeron muestras de todas las vigas ensayadas, se pesaron, cubicaron, estabilizaron en cámara y secaron en horno como se observa en la figura 3.

Para determinar la humedad se aplicó la siguiente ecuación  $H = (Ph - Ps)/Ps$

Donde:

- H contenido de humedad determinado en cada probeta.
- Ph Peso húmedo de la muestra (antes de colocarlas en Horno)
- Ps Peso seco de la muestra (después de retirarlas del horno)

Para determinar la densidad de la muestra se aplicó la siguiente ecuación  $\rho = Ph/V$

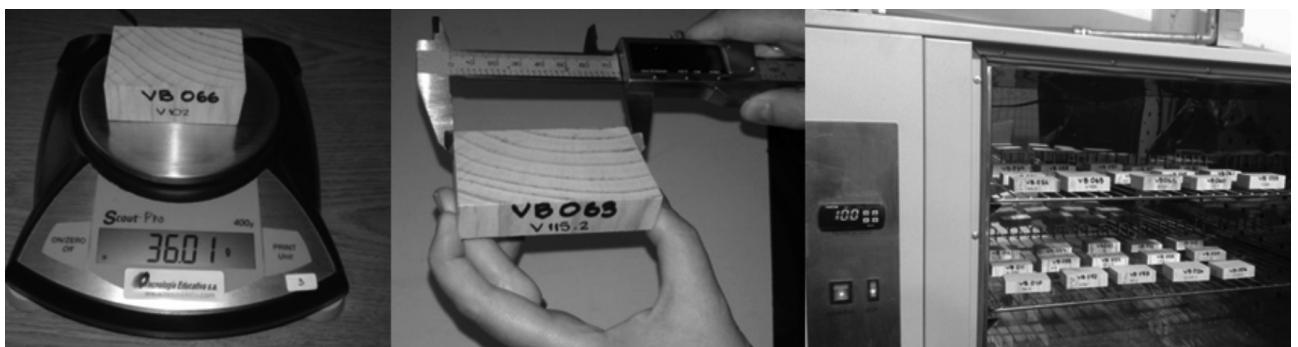


Fig. 3: Pesado - Cubicado - Secado en Horno.

Donde: Ph Peso húmedo de la muestra (antes de colocarlas en Horno)

V Volumen de la muestra

De acuerdo a las prescripciones de la norma UNE EN 384:2010 la resistencia a la flexión se ajustó a la altura de referencia de 150 mm y el módulo de elasticidad y la densidad a la humedad de referencia de 12%.

### RESULTADOS

La tabla 2 muestra los resultados experimentales de los valores obtenidos de la resistencia a la flexión y su respectivo análisis estadístico en el gráfico 1.

La tabla 3 muestra los resultados experimentales del módulo de elasticidad y su análisis estadístico en el gráfico 2.

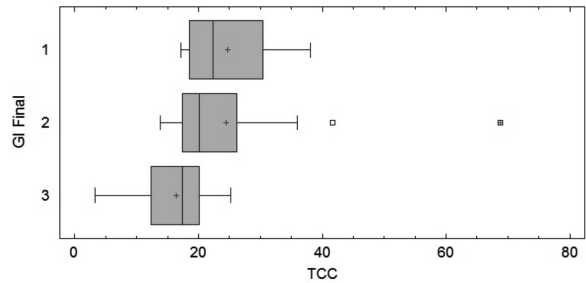


Gráfico 1: Análisis estadístico de la Resistencia a flexión.

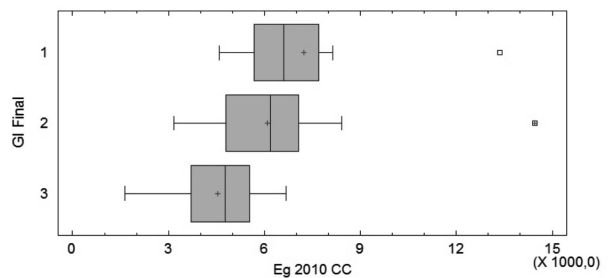


Gráfico 2: Análisis estadístico del Módulo de Elasticidad.

Resistencia a flexión en N/mm <sup>2</sup> por clase resistente ajustada a h:150 mm								
	Clase	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil 5%	Desvío	COV	n°
Vigas	1	17,1	24,7	38,1	17,1	7,5	30,27%	8
	2	13,8	24,4	68,8	14,0	12,7	51,79%	21
	3	3,3	16,4	25,2	7,2	5,6	34,26%	30
	Todas	3,3	20,4	68,8	7,8	9,7	47,76%	59

Tabla 2: Valores obtenidos de la Resistencia a flexión (N/mm<sup>2</sup>).

Módulo de elasticidad global ajustado a la humedad de referencia- 12%								
	Clase	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil 5%	Desvío	COV	n°
Vigas	1	4576	7340	13354	4576	2698	37,26%	8
	2	3162	6105	14457	3670	2397	39,26%	21
	3	1635	4541	6672	2113	1374	30,25%	30
	Todas	1635	5464	14457	2527	2197	40,21%	59

Tabla 3: Valores obtenidos del Módulo de Elasticidad (N/mm<sup>2</sup>).

Densidad corregida a humedad de referencia- 12%								
	Clase	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil 5%	Desvío	COV	n°
Vigas	1	341,1	378,1	411,3	341,1	22,2	5,87%	8
	2	344,5	385,1	438,5	349,0	30,3	7,86%	21
	3	314,3	382,4	473,0	322,3	38,4	10,04%	30
	Todas	314,3	382,7	473,0	341,1	33,4	8,73%	59

Tabla 4: Valores obtenidos de la Densidad (Kg/m³).

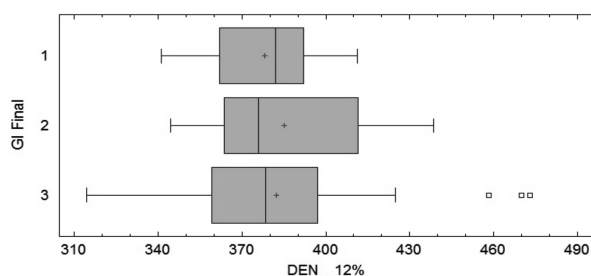


Gráfico 3: Análisis estadístico del Módulo de Elasticidad.

La tabla 4 muestra los resultados experimentales de la densidad y su análisis estadístico.

## DISCUSIÓN

Si analizamos la resistencia a la flexión para el Grado 1 podemos apreciar que el percentil del 5% es un 120% mayor que el que se obtenía considerando la totalidad de las probetas y para el Grado 2 el percentil del 5% es un 80% mayor que el que se obtenía considerando la totalidad de las probetas.

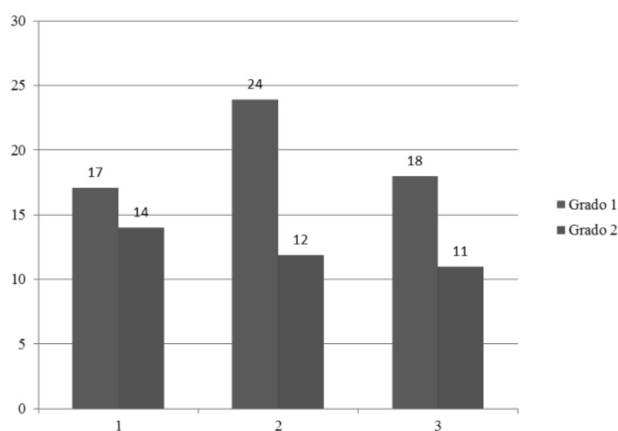
Respecto al módulo de elasticidad para el Grado 1 podemos apreciar que el valor medio es 34% mayor que el que se obtenía con la totalidad de las muestras y en el Grado 2 es 11% mayor que el que se obtenía considerando la totalidad de las probetas.

Por último, analizando la densidad, podemos concluir que para el Grado 1 y el Grado 2 el percentil

del 5% es similar al que se obtiene en la totalidad de las muestras

Resulta de utilidad comparar los resultados con los del pino elliotti – taeda propuestos en las norma IRAM 9670 y 9662/3.

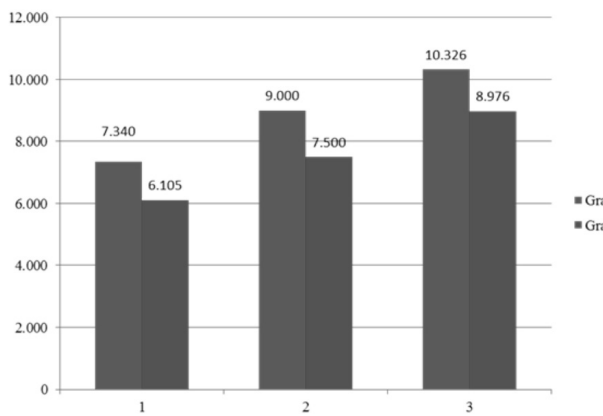
En el gráfico 4 podemos observar que los valores de la resistencia a la flexión tanto en grado 1 como en grado 2 son muy similares con los propuestos en la norma IRAM 9662/3, con una marcada diferencia con el propuesto en la norma IRAM 9670 para el grado 1.



1. Pino ponderosa.
2. Pino elliotti (vigas) norma IRAM 9670.
2. Pino elliotti (tablas) norma IRAM 9662/3.

Gráfico 4: Resistencia a la flexión.

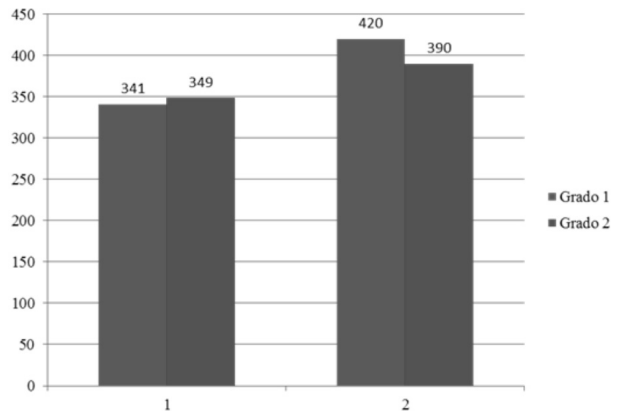
En el grafico 5 podemos ver que el módulo de elasticidad del Pino ponderosa es mucho menor que el módulo de elasticidad del Pino elliotti, dando valores de 7300 N/mm<sup>2</sup> en grado 1 y 6100 N/mm<sup>2</sup> en grado 2 en Pino ponderosa y 9000 N/mm<sup>2</sup> – 10300 N/mm<sup>2</sup> en Pino elliotti en grado 1 y valores de 7500 N/mm<sup>2</sup> – 8900 N/mm<sup>2</sup> en grado 2.



- 1. Pino ponderosa.
- 2. Pino elliotti (vigas) norma IRAM 9670.
- 2. Pino elliotti (tablas) norma IRAM 9662/3.

Gráfico 5: Módulo de Elasticidad.

Por último en el grafico 6 podemos observar que la densidad en el Pino ponderosa es sensiblemente menor que la del Pino elliotti.



- 1. Pino ponderosa.
- 2. Pino elliotti (vigas) norma IRAM 9670.

Gráfico 6: Densidad.

## CONCLUSIONES

Se concluye que separando las probetas en grados se obtienen mejores resultados en la resistencia a la flexión y en el módulo de elasticidad. La densidad arroja valores similares en los tres clases por lo cual es independiente de su clasificación.

De la comparación con el Pino elliotti se puede observar que los valores de resistencia a flexión son similares, siendo menor el módulo de elasticidad del Pino ponderosa.

## RECONOCIMIENTO

A los alumnos, graduados y demás integrantes del grupo GIDEC Facultad Regional Venado Tuerto por su participación en el desarrollo de los ensayos realizados.

## REFERENCIAS

*CIRSOC 601 - Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles. (2013). Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Buenos Aires.*

*UNE-EN 1310 (1995) - Asociación Española de Normalización y Certificación "Madera aserrada y madera enrollo. Método de medida de las singularidades". Madrid. España.*

*IRAM 9662/3 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2006). Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 1: Tablas de Pino taeda - elliotti. Buenos Aires.*

*UNE-EN 408, (2011) - Asociación Española de Normalización y Certificación. "Estructuras de madera".*

*ISO 3130 (1975) - Organización Internacional de Normali-*

*zación Madera - Determinación del contenido de humedad para su desarrollo físico y mecánico sobre las probetas.*

*ISO 3131 (1975) - Organización Internacional de Normalización Madera - Método de determinación de la densidad aparente. Buenos Aires.*

*UNE-EN 384, (2010) - Asociación Española de Normalización y Certificación. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad". Madrid. España.*

*IRAM 9670 (2002) - Instituto Argentino de Racionalización de Materiales - Madera estructural. Clasificación y requisitos. Clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos (Pino elliotti y Pino taeda) del noreste argentino mediante una evaluación visual. Buenos Aires.*