

Identificación del Trabajo	
Área:	Estructura - Materiales
Categoría:	Alumno / Graduado
Regional:	Facultad Regional Venado Tuerto

Determinación de la resistencia a la flexión y módulo de elasticidad de pino ponderosa.

Juana ARANDA, Ileana MORENO, Joana de la MAZA, Tomás O' Donohe

G.I.D.E.C. (Laprida Nº 651, Venado Tuerto), Facultad Regional Venado Tuerto, UTN

E-mail de contacto: gidec@frvt.utn.edu.ar

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Alfredo A. Guillaumet, el Ing. Roberto D. Manavella y la Ing. María Cecilia Filippetti, en el marco del proyecto "Caracterización estructural del pino ponderosa de Río Negro ecinivt0003975tc.". (01/01/2016 – 31/12/2018)

Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo caracterizar la madera de Pino Ponderosa provenientes de bosques implantados en la zona Andina de la Provincia de Río Negro, para ello se ensayaron vigas aserradas de 2"x 3" aplicando la Normativa Europea y así determinar las propiedades mecánicas como módulo de elasticidad, resistencia a la flexión y densidad. Considerando los valores obtenidos y sabiendo que es un pino resinoso, se adoptaron los parámetros de la norma IRAM 9662/3 de clasificación visual por Resistencia para pino Taeda – Elliotti.

Palabras Claves: Pino Ponderosa; Resistencia a la flexión; Modulo Elasticidad; Clasificación Visual

1. Introducción y Objetivos

1.1. 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 no parecen ser susceptibles al ataque de plagas y enfermedades que pudieran disminuir significativamente su rendimiento. Estas razones hacen suponer que esta especie forestal continuara 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.

1.2. Objetivos

- 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.

2. 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 ± 2 °C y a una humedad relativa ambiente de 65 ± 5 %.

Se procedió al relevamiento de defectos, tamaño de nudos, presencia de médula, anillos de crecimiento, etc. s/Norma UNE EN 1310:1995. La figura 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
Médula		–	No se admite	Se admite
Nudosidad		cm/cm	Menor o igual a 1/3	Menor o igual a 2/3
Dirección de las fibras		cm/cm	Desviación menor que 1:9	Desviación menor que 1:7
Anillos de crecimiento		mm	Menor que 10	Menor que 15
Fisuras	No pasantes	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.	
	Pasantes	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	
Revirado		mm/mm	Menor que 2 mm por cada 25 mm de ancho.	
Abarquillado			Sin restricciones para el abarquillado	
Arista faltante		mm/mm	Transversalmente menor que 1/3 de la cara o canto donde aparece Sin restricciones para la longitud	
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	
Madera de reacción		mm/mm	Menor o igual a 2/5.	Menor o igual a 3/5.
Otros		–	Daños mecánicos, depósitos de resina y otros defectos se limitan por analogía con alguna característica similar.	

Figura 1: Criterio para asignar las clases resistentes

La determinación de las propiedades mecánicas se realizó mediante ensayos mecánicos a flexión. Este trabajo presenta los resultados obtenidos respetando las prescripciones de la Norma UNE- EN 408:2011 y las tareas se efectuaron en los laboratorios de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional como se puede observar en la Figura 2.

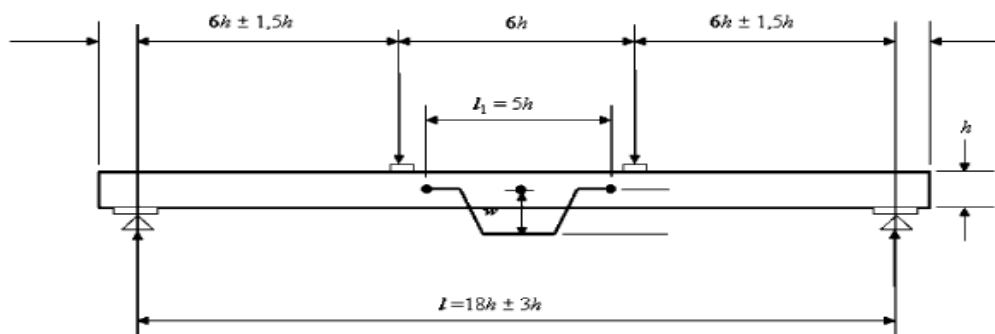


Figura 2. Esquema de carga

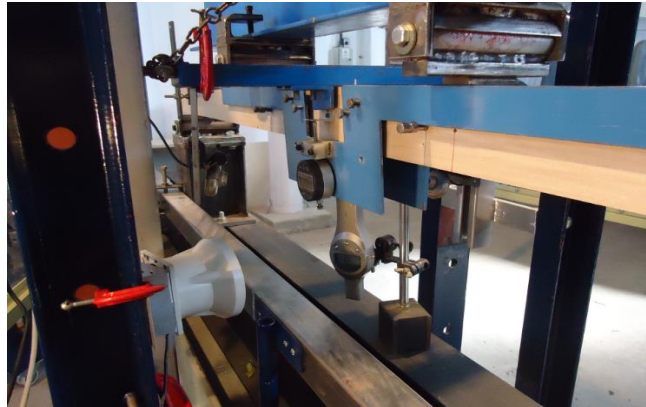


Figura 3. Imagen de Ensayo.

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, en el sector del momento flector constante y sin esfuerzo de corte, según muestra la figura 3. Se obtuvieron lecturas para 7 escalones de carga (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 y 3500 N).

Para aplicar las factores de corrección según indica la UNE EN 384:2010, es necesario determinar el contenido de Humedad s/Norma ISO 3130 (1975) y la Densidad s/Norma ISO 3131(1975) –. 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 4.

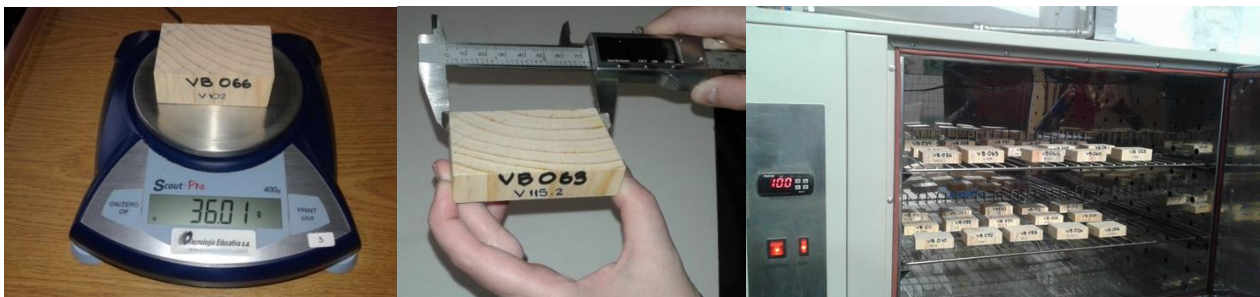


Figura 4. Pesado – Cubicado – Secado en Horno

Para determinar la humedad se aplicó la siguiente ecuación

$$H = (Ph - Ps)/Ps \quad (1)$$

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

$$\rho = Ph/V \quad (2)$$

Donde:

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

V Volumen de la muestra

El valor de la densidad característica corregida al 12 %, fue determinado utilizando la siguiente ecuación, que supone una distribución normal de los resultados, de acuerdo a lo establecido según Norma UNE-EN 384:2010:

$$\rho_{12\%} = \rho / ((1 - (H - 0.12)) / 2) \quad (3)$$

Donde:

H contenido de humedad determinado en cada probeta.

ρ densidad de la muestra.

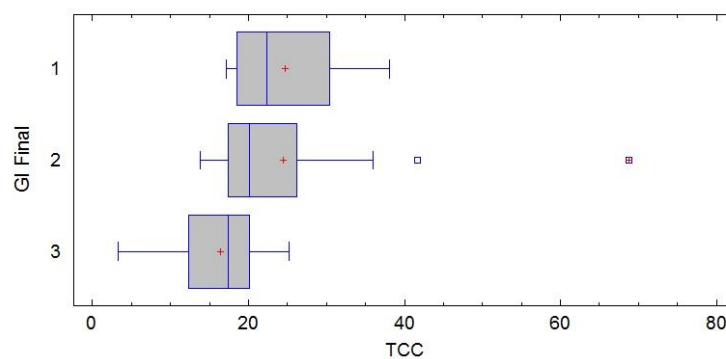
3. Resultados.

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

Tabla I. Valores obtenidos de la Resistencia a flexión (Nw/mm2)

Resistencia a flexión en N/mm2 por clase resistente ajustada a h:150 mm								
	Clase	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil 5%	Desvío	COV	nº
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

Gráfico 1. Análisis estadístico de la Resistencia a flexión.

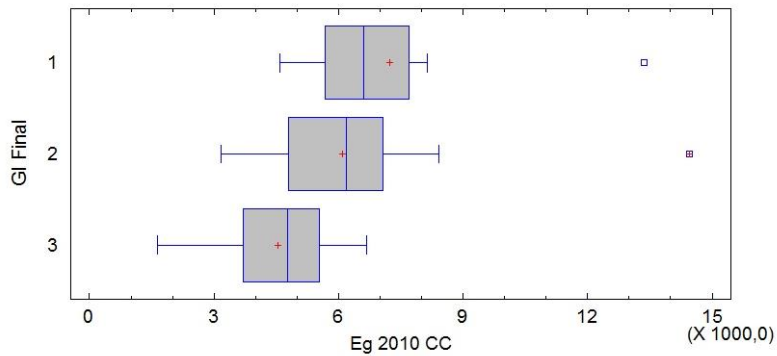


La tabla II muestra los resultados experimentales del módulo de elasticidad y su análisis estadístico en el gráfico 2.

Tabla II. Valores obtenidos del Módulo de Elasticidad (Nw/mm2)

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

Gráfico 2. Análisis estadístico del Módulo de Elasticidad

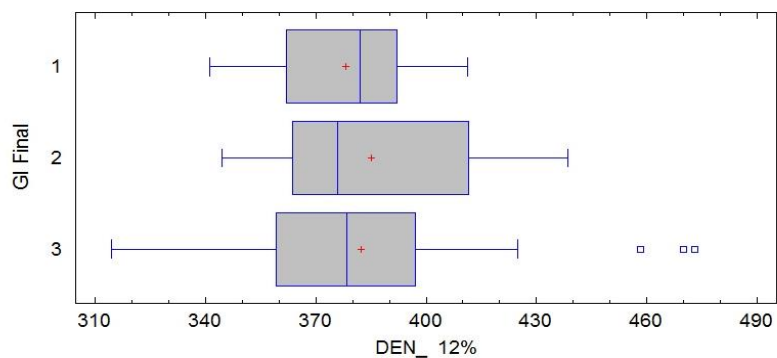


La tabla III muestra los resultados experimentales de la densidad y su análisis estadístico en el gráfico 3.

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

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

Gráfico 3. Análisis estadístico del Módulo de Elasticidad



4. Discusión.

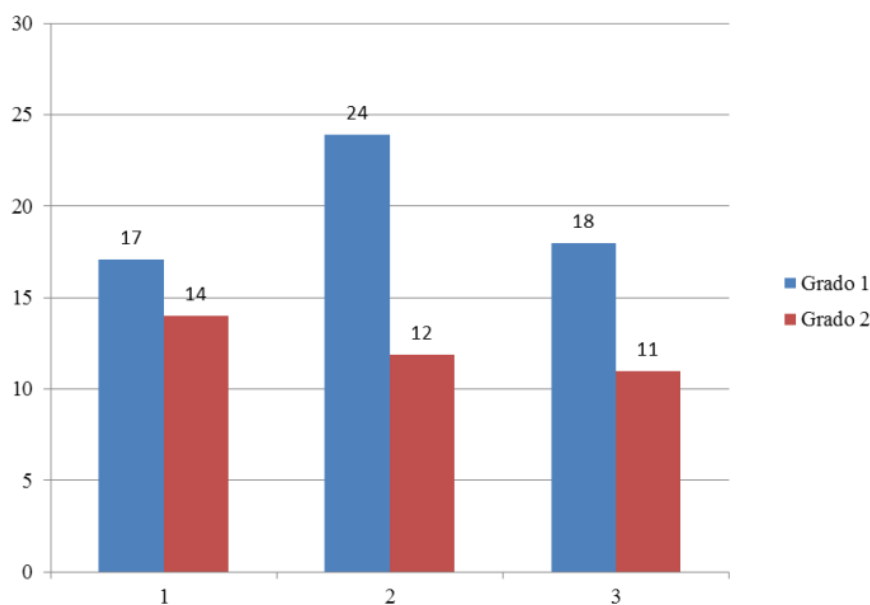
Si analizamos la resistencia a la flexión para el Grado 1 podemos apreciar que el percentil del 5% es un 55% mayor que el que se obtenía considerando la totalidad de las probetas y para el Grado 2 el percentil del 5% es un 44% mayor que el que se obtenía considerando la totalidad de las probetas. Respecto al módulo de elasticidad para el Grado 1 podemos apreciar que el valor medio es 25% mayor que el que se obtenía con la totalidad de las muestras y en el Grado 2 es 10.5% 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

Para corroborar los valores obtenidos del análisis de datos, comparamos los resultados con los del pino Elliotti – Taeda planteados en las normas IRAM 9662/3-2006 y con los propuestos para vigas de pino Elliotti en la norma IRAM 9670. En el grafico 4 podemos observar, que los valores de la resistencia a la flexión tanto en grado 1 como en grado 2 son muy similares, en este caso no tenemos en cuenta el grado 1 en vigas de pino Elliotti porque es un valor muy alto comparándolo no solo con pino Ponderosa sino también con otras especies generando mucha incertidumbre. Actualmente se están revisando estos valores y corregir la norma de ser necesario.

Se pueden comparar los valores de vigas y tablas porque se le aplica un factor de corrección llevando a una altura de referencia de 150 mm.

Clase de resistencia	Resistencia a la flexión ⁽¹⁾ (N/mm ²)	Módulo de elasticidad ⁽³⁾ (N/mm ²)	Densidad ⁽⁴⁾ (kg/m ³)
1	18,0	12 000	420
2	11,0	7 000	390

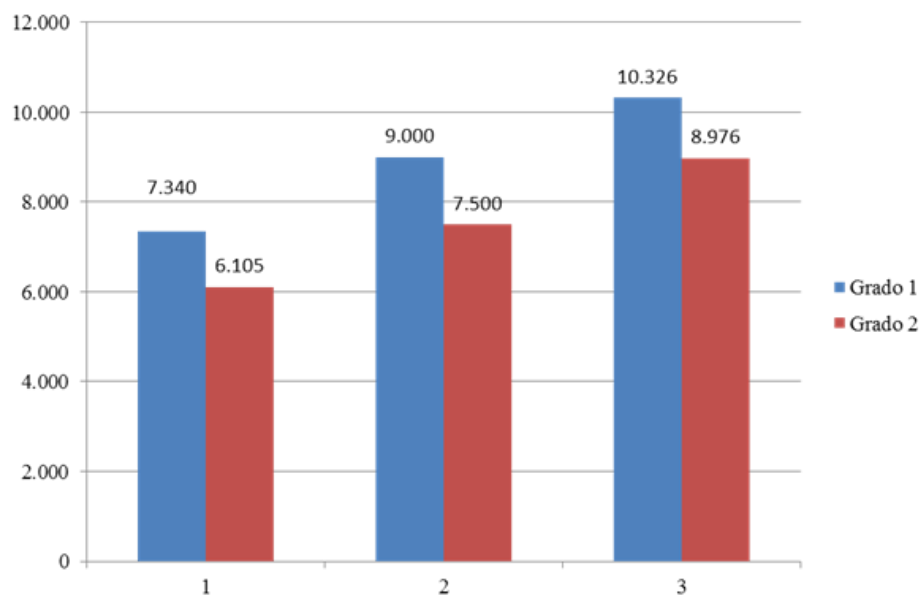
Grafico 4. Resistencia a la flexión



1. pino Ponderosa – Resultado de ensayos
2. pino Elliotti (vigas) norma IRAM 9670 –
3. pino Elliotti (tablas) norma IRAM 9662/3.

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 7000 Nw/mm2 en grado 1 y 6000 en grado 2 en pino ponderosa y 9000 – 10000 en pino Elliotti en grado 1 y valores de 7500 – 9000 en grado 2

Grafico 5. Módulo de Elasticidad



1. pino Ponderosa –
2. pino Elliotti (vigas) norma IRAM 9670 –
3. pino Elliotti (tablas) norma IRAM 9662/3.

Por último en el grafico 6 observamos que la densidad en ambos pinos son similares. No se tiene en cuenta la norma IRAM 9670 porque no contempla la densidad.

5. 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 y densidad son similares, siendo menor el módulo de elasticidad del Pino Ponderosa.

Reconocimientos.

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

Bibliografía.

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

Asociación Española de Normalización y Certificación UNE-EN 1310 (1997), "Madera aserrada y madera enrollo. Método de medida de las singularidades". Madrid. España

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. IRAM 9662/3. Buenos Aires.

Asociación Española de Normalización y Certificación. UNE-EN 408, (2010). "Estructuras de madera".

Organización Internacional de Normalización ISO 3130 (1975) Madera - Determinación del contenido de humedad para su desarrollo físico y mecánico sobre las probetas

Organización Internacional de Normalización ISO 31301 (1975) Madera - Método de determinación de la densidad aparente. Buenos Aires

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

Instituto Argentino de Racionalización de Materiales IRAM 9670, Madera –. 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