



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Concepción del Uruguay
Departamento de Ingeniería Civil

Proyecto Final:

Comportamiento físico-mecánico de la madera aserrada de pino resinoso del noreste argentino

Tutores:

Dr. Ing. Juan Carlos Piter

Ing. Pamela Yohana Fank

Docentes:

Arq. Arturo Mardon

Ing. Juan Pairone

Alumnas:

Paula Acosta Gregorio

Milena Bianchi

Victoria Rivero Pías

AGRADECIMIENTOS

Queremos manifestar nuestro agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron en el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar a los profesionales por su apoyo y paciencia incondicional, por su forma de transmitir los conocimientos y por el tiempo brindado:

- Dr. Ing. Juan Carlos Piter.
- Ing. Pamela Yohana Fank.

Al grupo GEMA y en especial al Ing. Ricardo Gómez por su colaboración en los ensayos y predisposición en todo momento.

A los docentes de la cátedra Proyecto Final:

- Arq. Arturo Mardon.
- Ing. Juan Pairone.

A la Facultad Regional Concepción del Uruguay, a la cual adoptamos como segunda casa.

Y un agradecimiento especial a nuestras familias y amigos que han sido pilares fundamentales durante todos estos años.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN	9
1.1. Presentación del problema.	9
1.1.1. Pino en la Argentina.	11
1.2. Objetivos.	12

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO	15
2.1. Madera.	15
2.1.1. Estructura de la madera.	16
2.1.1.1. Estructura microscópica de la madera.....	16
2.1.1.2. Estructura macroscópica de la madera.....	16
2.2. Características de las especies de madera.	18
2.3. Propiedades de la madera.	19
2.3.1. Propiedades físicas de las maderas.	19
2.3.1.1. Densidad aparente.....	20
2.3.1.2. Contenido de humedad.	21
2.3.2. Propiedades mecánicas de las maderas.	21
2.3.2.1. Determinación de la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión.	22
2.3.2.2. Aspectos estadísticos. Diseño de las muestras, preparación y análisis de los resultados.....	26
2.4. Clasificación por resistencia con fines estructurales.	29
2.4.1. Clasificación visual por resistencia.	30

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. Materiales.	41
3.2. Procedimiento de ensayo.	43
3.3. Procesamiento de datos.	47

CAPÍTULO 4

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	49
4.1 Resultados obtenidos de los principales parámetros visuales para la clasificación por resistencia.	49
4.2 Resultados obtenidos para las propiedades mecánicas y la densidad.	57
4.3 Influencia de los principales parámetros visuales sobre las propiedades mecánicas.	61
4.4 Análisis de los resultados en relación a los objetivos planteados.	64
4.4.1 Análisis referido al objetivo 1.	65

4.4.2 Análisis referido al objetivo 2.	68
4.4.3 Análisis referido al objetivo 3.	70
CAPÍTULO 5	
CONCLUSIONES	75
5.1. Conclusiones referidas al objetivo 1.	75
5.2. Conclusiones referidas al objetivo 2.	76
5.3. Conclusiones referidas al objetivo 3.	77
5.4. Otras conclusiones.	77
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXO	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1: Superficies cultivadas en la provincia de Misiones según MAGyP (5).	12
Figura Nº 2: Sección transversal de un árbol donde se identifican claramente la médula, el duramen, la albura y la corteza.	18
Figura Nº 3: Estructura anatómica de la madera. (Izquierda) Frondosa. (Derecha) Conífera.	18
Figura Nº 4: Disposición para el ensayo en flexión según IRAM 9663-1.	23
Figura Nº 5: Disposición para el ensayo de medición del módulo de elasticidad local en flexión según IRAM 9663-1.	23
Figura Nº 6: Gráfico de carga-deformación dentro de los márgenes de deformación elástica según IRAM 9663-1.	24
Figura Nº 7: Disposición para el ensayo de la medición del módulo de elasticidad global en flexión según IRAM 9663-1.	25
Figura Nº 8: Valores del factor K_s en función de la cantidad y el tamaño mínimo de las muestras.	29
Figura Nº 9: Distribución de valores de la resistencia a tracción para piezas de madera estructural no clasificada según Glos (1995) (27).	29
Figura Nº 10: Esquema de distribución de la resistencia de tracción en madera estructural que fue asignada a tres clases de resistencia según Glos (1995) (27).	30
Figura Nº 11: Médula. (Izquierda) En el interior de la pieza. (Derecha) En la superficie de la pieza.	32
Figura Nº 12: (Izquierda) Nudo aislado. (Derecha) Conjunto de nudos (1).	33
Figura Nº 13: Medición de la inclinación de las fibras (29).	33
Figura Nº 14: Medición del número de anillos de crecimiento. (Izquierda) Pieza con médula. (Derecha) Pieza de corte lateral.	34

Figura Nº 15: (Izquierda) Fisura no pasante o grieta. (Derecha) Fisura pasante o rajadura (1).	35
Figura Nº 16: Alabeos de la madera aserrada. (Superior izquierda) Combado. (Superior derecha) Encorvado. (Inferior izquierda) Abarquillado. (Inferior derecha) Revirado.....	35
Figura Nº 17: Arista faltante.	36
Figura Nº 18: Insectos. (Izquierda) Gorgojo (32). (Derecha) Mariposa europea (33).....	36
Figura Nº 19: Depósitos de resina.....	37
Figura Nº 20: Ensayo a flexión estática. (Izquierda) Máquina de ensayo universal Shimadzu. (Derecha) Máquina de ensayo universal EMIC.	43
Figura Nº 21: Dispositivos para evitar la concentración de tensiones en los puntos de aplicación de las cargas.	44
Figura Nº 22: Dispositivos para evitar aplastamientos.	44
Figura Nº 23: Dispositivos para medir deformaciones.	45
Figura Nº 24: Rotura en ensayo a flexión de un cuerpo de prueba.....	45
Figura Nº 25: Rotura de un cuerpo de prueba con anomalías: (Izquierda) presencia de nudo. (Derecha) existencia de médula.....	46
Figura Nº 26: (Izquierda) Toma de dimensiones del trozo de un cuerpo de prueba. (Derecha) Determinación de la masa del trozo.	46
Figura Nº 27: Presencia de médula en las piezas. (Izquierda) En cortes laterales. (Derecha) En la superficie.....	50
Figura Nº 28: Nudosidad en las tablas de sección 100 x 25 mm.	51
Figura Nº 29 Histograma de frecuencias del parámetro nudosidad para las tablas de sección 100 x 25 mm.	52
Figura Nº 30: Histograma de frecuencias acumuladas del parámetro nudosidad para las tablas de sección 100 x 25 mm.....	53
Figura Nº 31: Histograma de frecuencias para la nudosidad de las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para las tablas de sección 100 x 25 mm.....	54
Figura Nº 32: Histograma de frecuencias acumuladas para la nudosidad de las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para las tablas de sección 100 x 25 mm.....	54
Figura Nº 33: Anillos de crecimiento.....	55
Figura Nº 34: Histograma de frecuencias para el espesor de los anillos de las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para las tablas de sección 100 x 25 mm.....	56
Figura Nº 35: Histograma de frecuencias acumulada para el espesor de los anillos de las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para las tablas de sección 100 x 25 mm.	56
Figura Nº 36: Histograma de frecuencia de la tensión de rotura en las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.....	60
Figura Nº 37: Histograma de frecuencia de la densidad en las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.	60
Figura Nº 38: Histograma de frecuencia del módulo de elasticidad en las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.....	60
Figura Nº 39: Relación entre la nudosidad y la tensión de rotura de las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.....	62
Figura Nº 40: Relación entre la nudosidad y el módulo de elasticidad de las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.....	62

Figura Nº 41: Relación entre el espesor de los anillos de crecimiento y la tensión de rotura de las especies <i>Pinus elliottii</i> y <i>Pinus taeda</i> para la muestra 1.....	63
Figura Nº 42: Relación entre el espesor de los anillos de crecimiento y el módulo de elasticidad de las especies <i>Pinus elliottii</i> y <i>Pinus taeda</i> para la muestra 1.....	63
Figura Nº 43: Relación entre la altura del cuerpo de prueba y la tensión de rotura para las tres muestras.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 1: Criterios para asignar las tablas de pino a las clases resistentes de acuerdo con la norma IRAM 9662-3 (3).....	38
Tabla Nº 2: Valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad para cada clase de resistencia (3).	39
Tabla Nº 3: Defectos admisibles y requisitos para los grados de madera estructural de pino según IRAM 9670 (1).....	39
Tabla Nº 4: Valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad para cada grado de resistencia (1).	40
Tabla Nº 5: Presencia de médula en las distintas secciones de los cuerpos de prueba.	50
Tabla Nº 6: El parámetro nudosidad en las tablas de sección 100 x 25 mm.....	52
Tabla Nº 7: Cantidad de cuerpos de prueba que podrían asignarse a cada clase resistentes en función del espesor de los anillos de crecimiento.	57
Tabla Nº 8: Valores de las propiedades mecánicas y la densidad sin ajustar a los valores de referencia para las distintas muestras.	58
Tabla Nº 9: Valores de las propiedades mecánicas y la densidad ajustados a los valores de referencia para las distintas muestras.	59
Tabla Nº 10: Valores de las propiedades mecánicas ajustados a los valores de referencia para las distintas muestras según presenten o no médula.	61
Tabla Nº 11: Valores de las propiedades mecánicas y densidad correspondientes a la clasificación visual para las distintas muestras.....	65
Tabla Nº 12: Valores característicos de las propiedades mecánicas correspondientes a la clasificación visual para la muestra 1.	67
Tabla Nº 13: Valores característicos de la densidad correspondientes a la clasificación visual para la muestra 1.....	68
Tabla Nº 14: Valores de las propiedades mecánicas y de la densidad sin ajustar a los valores de referencia para la muestra 1.	69
Tabla Nº 15: Valor medio de la tensión de rotura y de la densidad de cada una de las muestras y según presenten o no médula.....	72
Tabla Nº 16: Valor medio de la tensión de rotura y de la densidad de cada una de las muestras..	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación Nº 1: Densidad en clima normal	20
Ecuación Nº 2: Densidad anhidra.....	20
Ecuación Nº 3: Contenido de humedad.....	21
Ecuación Nº 4: Módulo de elasticidad local.....	24
Ecuación Nº 5: Módulo de elasticidad global.....	25
Ecuación Nº 6: Tensión de rotura.	25
Ecuación Nº 7: Factor de ajuste para considerar la altura de la viga sobre su resistencia	27
Ecuación Nº 8: Densidad característica.....	28
Ecuación Nº 9: Valor característico del módulo de elasticidad..	28
Ecuación Nº 10: Valor Característico de la resistencia.....	28

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se enmarca en una investigación empírica desarrollada en el seno del Grupo de Estudio de Maderas “GEMA”, que desarrolla sus actividades en el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional. Esta investigación forma parte de un Proyecto de Tesis de la Carrera de Doctorado en Ingeniería, Mención Materiales, siendo su título “Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*) cultivado en el noreste argentino para uso estructural”.

1.1. Presentación del problema.

Respecto de la madera aserrada para uso estructural, la producción de pino resinoso cultivado en la provincia de Misiones y en el noreste de Corrientes constituye la de mayor importancia nacional, seguido por el *Eucalyptus grandis* cultivado en la Mesopotamia. Dentro del pino resinoso se encuentran dos especies: el *Pinus taeda* y el *Pinus elliottii*, las que se consideran en forma conjunta porque resulta muy difícil diferenciarlas en el ambiente industrial y comercial. Siguiendo este criterio, existe un grupo de normas que considera en forma conjunta las dos especies, dentro del mismo se encuentran la IRAM 9670 (1) la cual contempla la clasificación visual por resistencia de

este material para su uso en calidad de vigas de madera aserrada, la IRAM 9660-1 (2) que establece los requisitos de fabricación y control para la madera laminada encolada estructural y la IRAM 9662-3 (3) que provee un método de clasificación visual de tablas por resistencia.

El primer Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 (4), se encuentra en trámite de aprobación ante la Secretaría de Obras Públicas de la Nación desde el mes de setiembre del año 2013. Este documento contiene reglas de diseño y provee a su vez los valores de diseño de referencia para distintas combinaciones especie/procedencia de maderas cultivadas en el país. Dentro de las especies consideradas se encuentra el *Pinus taeda/elliottii* cultivado en el noreste del país, ya mencionado anteriormente. En particular, el Reglamento CIRSOC 601 (4) provee valores de diseño de referencia para madera aserrada en su Suplemento 1, los cuales deben ser utilizados por los proyectistas estructurales para el diseño con este material.

Hasta la fecha no se han efectuado estudios con el respaldo estadístico suficiente para conocer -con la confiabilidad necesaria requerida en el diseño estructural- las diferencias que pudiesen existir entre las principales propiedades mecánicas y físicas de las dos especies que conforman el grupo considerado por el Reglamento CIRSOC 601 (4), es decir entre la madera aserrada del *Pinus taeda* y del *Pinus elliottii*.

Por otra parte, el CIRSOC 601 (4) -siguiendo en este aspecto el criterio europeo- ha adoptado un valor de 150 mm como altura de referencia para considerar la resistencia a flexión de la madera aserrada. Teniendo en cuenta que la madera exhibe la particularidad de que su tensión de rotura en flexión disminuye cuando aumenta su altura, el mencionado Reglamento provee el siguiente factor de ajuste para considerar la influencia de la altura de la viga sobre su resistencia: $CF = (150/d)^{0,2} \leq 1,3$, donde d indica la altura de la viga expresada en milímetros. La aptitud de esta relación ha sido investigada en Europa para las maderas cultivadas en ese continente pero no ha sido estudiada para ser aplicada al pino resinoso del noreste de nuestro país.

1.1.1. Pino en la Argentina.

Según la Dirección de Producción Forestal (MAGyP), Argentina cuenta con alrededor de 1,2 millones de hectáreas de bosques cultivados, de los cuales corresponde 54% para el Pino, 32% para el Eucalipto, 11% para las Salicáceas (Álamo-Sauce) y 3% para otras especies. El 80% de estas plantaciones se encuentra en la Región Mesopotámica (Misiones, Corrientes y Entre Ríos) (5).

Misiones cuenta con más de 370.000 hectáreas de plantaciones forestales distribuidas entre los géneros *Pinus* (82,81%), *Eucalyptus* (6,89%), *Araucaria* (4,47%), *Paraíso* (1,89%), *Kiri* (1,30%), *Toona* (1,08%) y *Gravillea* (0,54%), donde se observa claramente que el género predominante es el *Pinus* (ver Figura N° 1) (6). En dicha provincia los suelos preponderantes son arcillosos derivados de la roca basáltica, el clima es subtropical húmedo sin estación seca con precipitaciones medias anuales de 1800 mm, siendo la temperatura promedio de 21 °C y la mínima de – 3 °C aproximadamente. El relieve se caracteriza por la presencia de serranías alcanzando como punto de mayor altitud los 800 msnm. En el sur de esta provincia y noreste de la provincia de Corrientes el relieve es ondulado con una altitud promedio de 150 msnm (7). Debido a la fertilidad de su suelo y a su clima, el crecimiento de las especies forestales en Misiones es casi el doble comparado a los países con condiciones menos favorables, explotándose unos 5 millones de metros cúbicos de rollizos por año.

El principal período de implantación va desde mediados de otoño hasta inicio de primavera, cultivándose a raíz desnuda. Las plantaciones tardías, normalmente correspondientes a grandes empresas, continúan su implantación en macetas durante períodos de mayor temperatura.

Los regímenes silvícolas aplicados en la región son en general mixtos, es decir, que tienden a producir material de escaso diámetro para la industria de molienda, como también de mayor diámetro para abastecer la industria del aserrado y eventualmente la del debobinado. Las empresas más integradas, con plantas de celulosa y/o tableros, y algunas con aserradero, tienden a ejecutar tres raleos y la tala rasa a los 18 años aproximadamente. Éstas parten de una densidad inicial de 1666-1900 planta/hectárea,

ejecutando el primer raleo a los 8 años aproximadamente, el segundo a los 11 y el tercero a los 14-15 años de edad. Los productores de menor escala, sobre todo en Misiones, suelen prolongar el turno hasta los 20-22 años (7).

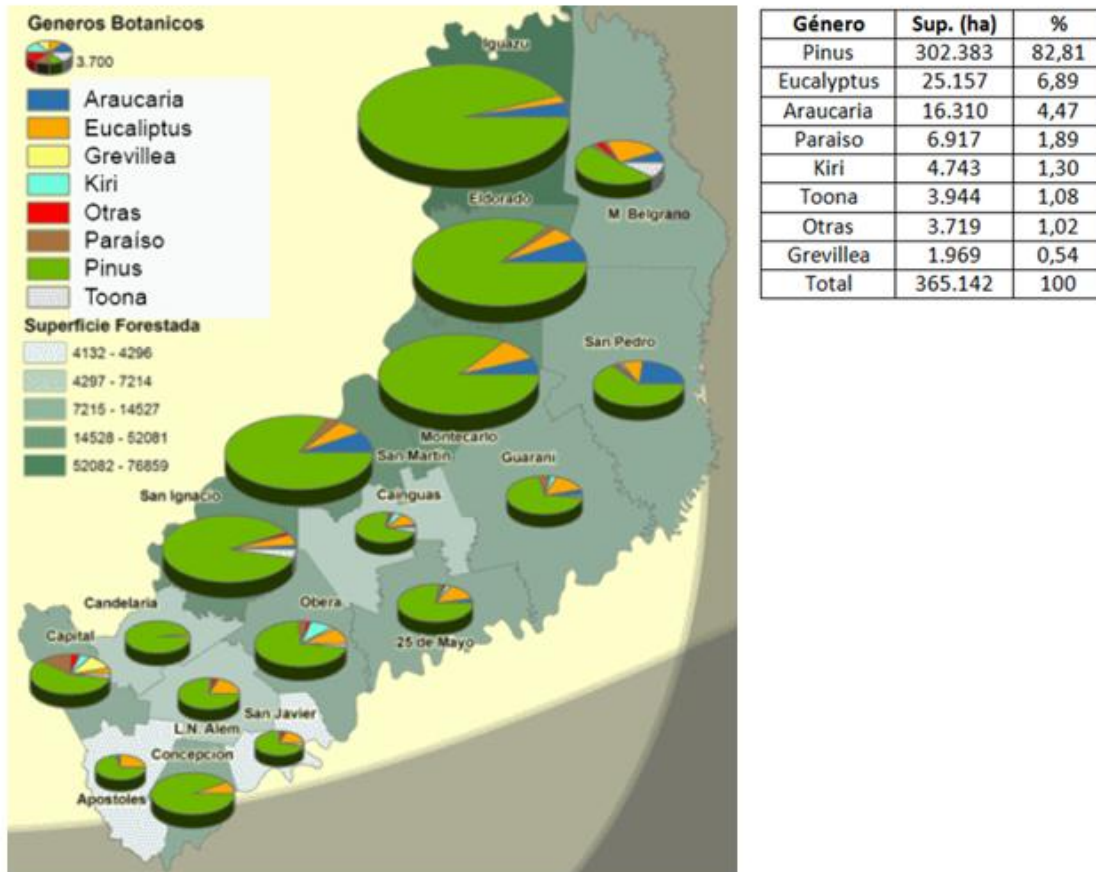


Figura N° 1: Superficies cultivadas en la provincia de Misiones según MAGyP (5).

1.2. Objetivos.

Con el propósito de efectuar aportes al Reglamento CIRSOC 601 (4) que sirvan de apoyo a los proyectistas estructurales que lo utilizan, y considerando los problemas planteados en los párrafos anteriores, para este Proyecto Final se han planteado los siguientes objetivos que se propone alcanzar a partir de los resultados obtenidos en un programa de ensayos realizados sobre cuerpos de prueba de tamaño estructural:

- Comprobar los valores de diseño de referencia provistos en el Suplemento 1 del Reglamento CIRSOC 601 (4) para cada clase resistente del pino resinoso cultivado en el noreste de Argentina.

- Determinar el nivel de significación de la diferencia entre las propiedades mecánicas más importantes para el diseño estructural (resistencia y módulo de elasticidad en flexión) y de la densidad, para la madera aserrada del *Pinus taeda* y de *Pinus elliottii*.
- Analizar si la ecuación adoptada por el Reglamento CIRSOC 601 (4) para expresar la relación entre la resistencia a flexión y la altura de la viga a través del factor de tamaño ($C_F = (150/d)^{0,2}$) refleja adecuadamente el comportamiento de la madera aserrada de *Pinus taeda* y de *Pinus elliottii*, ambos cultivados en el noreste de Argentina.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el capítulo siguiente se proporcionan los conceptos necesarios para desarrollar la investigación.

2.1. Madera.

Según el Arq. Miguel Hanono y desde el punto de vista del aprovechamiento como recurso, la madera es la materia prima utilizada en numerosas industrias. Mediante la transformación del árbol se la utiliza principalmente para la fabricación de postes, vigas, columnas, tablas, tableros, pulpa, papel, etc.

Desde el punto de vista anatómico, la madera es la sustancia fibrosa y celulosa que compone el tronco y las ramas de un árbol (8). La proporción de las diversas materias que la constituyen es aproximadamente la siguiente: celulosa 42%, hemicelulosa 27%, lignina 28% y extractivos 3% (9).

Desde el punto de vista ecológico, su producción y elaboración requiere menos energía que cualquier otro material, produce menos contaminación al agua y al aire, ayuda a combatir el efecto invernadero y es fácilmente reciclable. En consecuencia, la producción racional de los bosques y su posterior aprovechamiento y reforestación hace

que la madera se convierta en el material de construcción más noble para cuidar el medio ambiente (8).

2.1.1. Estructura de la madera.

2.1.1.1. Estructura microscópica de la madera.

Se entiende por microestructura de la madera la que se puede ver con el microscopio óptico, es decir, son las estructuras intermedias entre lo visible a simple vista y las estructuras solo distinguibles con el microscopio electrónico, como en el caso de los elementos celulares de los tejidos vegetales.

Los tejidos vegetales de la madera están compuestos por diferentes tipos de células, diferenciadas al poco tiempo de su formación para cumplir tres tipos de funciones (10):

- *Conducción*: las células que cumplen dicha función se caracterizan por poseer gran parte de su pared perforada para comunicarse con la siguiente.
- *Almacenaje*: toda célula de almacenamiento es de forma isodiamétrica, es decir sus tres dimensiones son semejantes y de pequeño tamaño.
- *Sostén*: toda célula del tejido de sostén posee gran dimensión longitudinal en comparación a las otras dos, para darle resistencia y flexibilidad al tronco.

2.1.1.2. Estructura macroscópica de la madera.

La estructura macroscópica de la madera es la que se observa a simple vista, en una sección transversal de un tronco se evidencian diferentes zonas:

➤ Corteza.

La corteza está constituida interiormente por floema, conjunto de tejidos vivos especializados en la función de almacenamiento y conducción de nutrientes; y exteriormente por corteza muerta, tejido que reviste el tronco (ver Figura N° 2). Ésta protege al vegetal contra el desecamiento, ataques fúngicos o fuego, además es de gran importancia en la identificación de árboles vivos (11).

➤ **Cambium.**

La norma IRAM 9502 (12) define al cambium como la zona generatriz del árbol, localizada entre la albura y la corteza. Es el tejido que produce la madera o xilema hacia el interior y la corteza hacia el exterior.

➤ **Duramen - Albura.**

En general dentro del tejido leñoso pueden diferenciarse dos zonas, el duramen en el interior del tronco y la albura en el exterior (ver Figura N° 2) (13).

La albura es la parte activa del xilema, que en el árbol vivo contiene células vivas y material de reserva, la cual conduce gran cantidad de agua y de sales en solución desde la raíz a las hojas, provee rigidez al tallo y sirve de reservorio de sustancias.

El duramen es el leño biológicamente inactivo, con funciones de sostén, que ocupa la porción del tronco entre la médula y la albura, generalmente de estructura más compacta y de coloración más oscura que la albura. Debido a que éste es un tejido más compacto y más pobre en sustancias nutritivas, es mucho más resistente al ataque de hongos e insectos, presenta una durabilidad natural superior a la de la albura y se impregna con mayor dificultad (12).

➤ **Médula.**

La médula es un conjunto de células que recorren el tronco por su eje central, corresponde a la zona por la que se produce el crecimiento en altura y presenta reducidas características mecánicas. En una sección transversal del tronco, ésta es de pequeño tamaño y tiene forma poligonal o estrellada (ver Figura N° 2) (14).

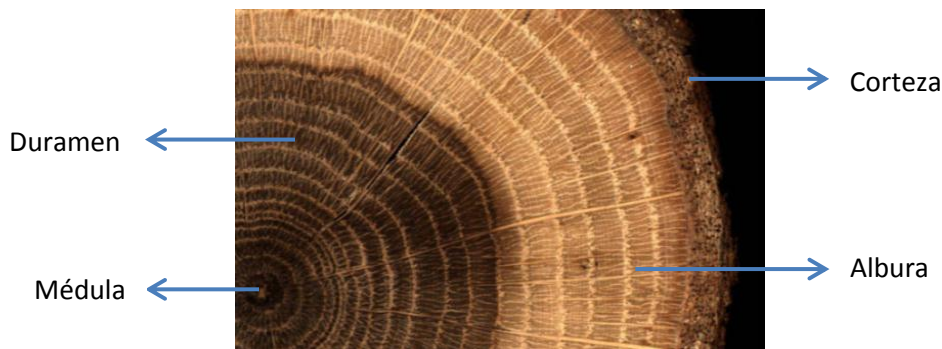


Figura Nº 2: Sección transversal de un árbol donde se identifican claramente la médula, el duramen, la albura y la corteza.

2.2. Características de las especies de madera.

La madera se divide en dos categorías de árboles conocidos como angiospermas y gimnospermas. Al primer grupo pertenecen las frondosas, características de las zonas de clima templado y tropical, y al segundo las coníferas provenientes de clima frío e incluso tropical. La madera de coníferas solamente cuenta con traqueidas y células parenquimáticas. Por el contrario, los tejidos de las frondosas son más complejos (ver Figura Nº 3) teniendo tres tipos de células que cumplen distintas funciones fisiológicas: las fibras constituyen el tejido de sostén, las células parenquimáticas forman el tejido de almacenaje y los elementos vasculares son células que conducen los nutrientes. Las fibras que proveen la resistencia mecánica de las especies frondosas poseen paredes celulares más gruesas que las de las coníferas y longitudes comprendidas entre 1 mm y 1,5 mm, mientras que las fibras de las coníferas poseen longitudes entre 2 mm y 5 mm (15).

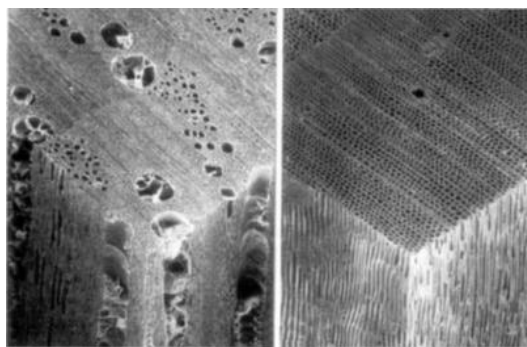


Figura Nº 3: Estructura anatómica de la madera. (Izquierda) Frondosa. (Derecha) Conífera.

Dentro del grupo de las coníferas, el género del *Pinus* es el más relevante para esta investigación. En esta madera, la albura tiene un color que varía desde el blanco al amarillo pálido o naranja claro, el duramen se diferencia bastante bien ya que tiene un color que varía del amarillo al ocre. Los anillos de crecimiento son claramente visibles porque la madera de verano forma bandas muy oscuras, siendo la transición entre la madera de primavera y de verano muy brusca. Los radios leñosos son muy finos y no visibles a simple vista, excepto cuando se incluyen en un canal resinífero transversal formando un veteado en la superficie. La fibra es recta, aunque frecuentemente se define como entrelazada para el pino taeda (16). La madera aserrada seca no presenta mayores problemas físicos, aunque es muy sensible al ataque de hongos productores de manchas. En la construcción se la utiliza habitualmente para vigas laminadas, puertas, tableros enlistonados y contrachapados y postes impregnados (17).

2.3. Propiedades de la madera.

La determinación de las propiedades brinda una valiosa información técnica, la que analizada convenientemente se traduce en el conocimiento más o menos exhaustivo de la madera, lo que depende en cada caso de la cantidad y exactitud de los resultados que se disponen.

Según O. Coronel (18) las propiedades de las maderas comprenden cuatro grandes grupos:

- Características o propiedades anatómicas.
- Propiedades químicas.
- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas.

De las propiedades nombradas anteriormente las más importantes para el uso estructural son las físicas y las mecánicas (15).

2.3.1. Propiedades físicas de las maderas.

Las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan su comportamiento ante los factores que intervienen en el medio ambiente natural sin que

éste actúe química o mecánicamente sobre su estructura interna (18). Las más destacadas para el uso estructural de la madera son la densidad aparente y el contenido de humedad, las cuales tienen una correlación muy alta con el comportamiento mecánico de la misma (19).

2.3.1.1. Densidad aparente.

La densidad se define como el cociente entre la masa y el volumen. Teniendo en cuenta que la densidad depende del contenido de humedad, pues la masa de agua contenida se agrega a la de madera y a su vez puede originar cambios en el volumen, se debe definir siempre el contenido de humedad para el cual se calcula la densidad.

Las dos maneras más frecuentes de calcular la densidad son:

- *Densidad en clima normal:* es la que se determina a 20 °C de temperatura ambiente y 65% de humedad relativa, originando en la mayoría de las maderas un contenido de humedad de equilibrio del 12%.

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [Ec. N^{\circ} 1]$$

Siendo:

ρ_{12} : Densidad en clima normal (kg/m³);

m_{12} : Masa en clima normal (kg);

V_{12} : Volumen en clima normal (m³).

- *Densidad anhidra:* ésta se determina para la madera secada al horno, es decir sin contenido de humedad (19).

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [Ec. N^{\circ} 2]$$

Siendo:

ρ_0 : Densidad anhidra (kg/m³);

m_0 : Masa en estado seco (kg);

V_0 : Volumen en estado seco (m³).

2.3.1.2. Contenido de humedad.

El contenido de humedad se define como el cociente de la masa de agua contenida -removible físicamente- y la masa de la madera seca. Se obtiene por secado en estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C y se considera que alcanza dicha condición cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas con intervalos de 6 horas es igual o menor al 5% de la masa de la pieza (19).

La expresión para el cálculo del contenido de humedad es:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{[Ec.Nº 3]}$$

Siendo:

W : Contenido de humedad (%);

m_1 : Masa de la madera antes de secar (kg);

m_2 : Masa de la madera después del secado en estufa (kg).

2.3.2. Propiedades mecánicas de las maderas.

Las propiedades de mayor importancia para esta investigación son las mecánicas. Éstas indican el comportamiento elástico y resistente de la madera cuando sobre ella actúan cargas o sollicitaciones exteriores. Una clasificación de éstas se puede hacer dividiéndolas en elásticas, resistentes y de dureza. A su vez dentro de las resistentes se pueden considerar las estáticas y las dinámicas. Para el análisis de la madera como material estructural se considerarán las propiedades resistentes estáticas y las elásticas fundamentales para el diseño.

Las propiedades mecánicas más importantes y asociadas a las clases resistentes son:

- Resistencia a flexión.
- Resistencia a tracción paralela a las fibras.
- Resistencia a compresión paralela a las fibras.
- Resistencia a compresión perpendicular a las fibras.
- Resistencia al corte o cizalladura.

En cambio la resistencia a tracción perpendicular a las fibras no es considerada como propiedad importante, es más, el CIRSOC 601 (4) establece que en lo posible se debe evitar la introducción de tensiones perpendiculares a la dirección de las fibras en miembros estructurales de madera.

Además se tienen en cuenta las siguientes propiedades elásticas de rigidez:

- Módulo de elasticidad paralelo a las fibras.
- Módulo de elasticidad perpendicular a las fibras.
- Módulo de cizalladura.

Siendo la de mayor importancia para esta investigación la primera de las nombradas anteriormente.

Existen dos tipos de ensayos, los realizados sobre probetas pequeñas libres de defectos y los que se realizan sobre piezas de tamaño real. Para fines estructurales, el criterio moderno ha adoptado las pruebas sobre cuerpos de tamaño natural que sean representativas de la población, teniendo en cuenta las variaciones que se producen en la calidad de la madera dentro de un mismo árbol y en el proceso de producción (19).

El cálculo de los valores resistentes y de rigidez para el diseño ha ido evolucionando, incluyendo la definición de la población, el diseño, la toma y preparación de las muestras y posteriormente a la realización de los ensayos, el cálculo de los valores característicos. Anteriormente los reglamentos de diseño estructural estaban enfocados a la utilización de las tensiones admisibles del material, luego surgieron los que contemplan los estados límites, tanto de resistencia como de servicio y actualmente coexisten los dos formatos de diseño. Un ejemplo de reglamento enfocado en tensiones admisibles es el CIRSOC 601 (4), mientras que el Eurocódigo 5 (20) y la norma brasilera NBR 7190 (21) contemplan los estados límites. Existen también reglamentos biformato como el NDS (22) procedente de Estados Unidos.

2.3.2.1. Determinación de la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión.

Para determinar el valor de la tensión de rotura en flexión y el módulo de elasticidad local y global se utiliza el ensayo de flexión estática (19). La disposición de

dicho ensayo se realiza conforme a la norma IRAM 9663-1 (23) (ver Figura N° 4), la cual sigue los lineamientos de la norma europea EN 408 (24).

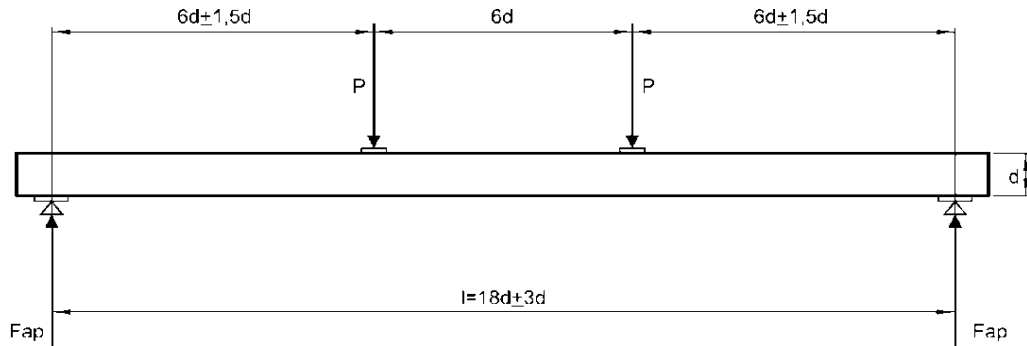


Figura N° 4: Disposición para el ensayo en flexión según IRAM 9663-1.

En este caso, al aplicarse cargas en los tercios de la distancia entre apoyos, se dispone el tramo medio libre de la influencia del esfuerzo de corte para determinar el módulo de elasticidad local. En cambio, si se considera todo el vano se puede obtener el módulo de elasticidad global, afectado por la acción del esfuerzo de corte en los tramos laterales (15).

➤ **Módulo de elasticidad local (MOE).**

Para el módulo de elasticidad local debe tomarse como deformación (w) la media de las mediciones efectuadas en ambas caras sobre el eje neutro, y debe medirse en el punto medio de un segmento de longitud igual a cinco veces la altura (d) de la probeta (ver Figura N° 5) (23).

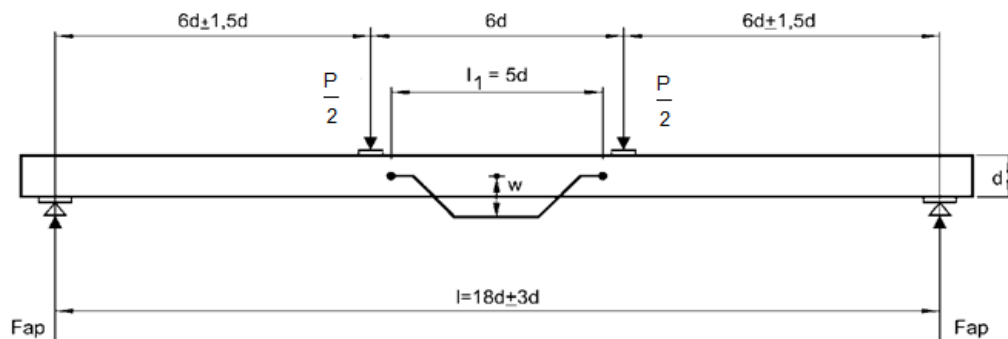


Figura N° 5: Disposición para el ensayo de medición del módulo de elasticidad local en flexión según IRAM 9663-1.

El módulo de elasticidad local se obtiene según la siguiente ecuación:

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2(P_2 - P_1)}{16I(w_2 - w_1)} \quad [\text{Ec. N}^\circ 4]$$

Siendo:

$E_{m,l}$: Módulo de elasticidad local en flexión (N/mm²);

P_2 : 40% de la carga de rotura (N);

P_1 : 10% de la carga de rotura (N);

w_2 : Deformación correspondiente al 40% de la carga de rotura (mm);

w_1 : Deformación correspondiente al 10% de la carga de rotura (mm);

l_1 : 5 veces la altura de la viga (mm);

a : Distancia entre la posición de carga y el apoyo (mm);

I : Momento de inercia de la pieza (mm⁴).

Como se observa en el gráfico a continuación (P_1, w_1) y (P_2, w_2) corresponden a dos puntos del tramo de deformación elástica (ver Figura N° 6).

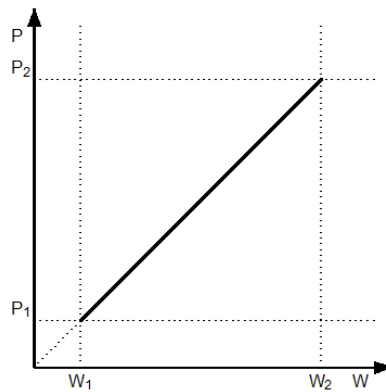


Figura N° 6: Gráfico de carga-deformación dentro de los márgenes de deformación elástica según IRAM 9663-1.

➤ **Módulo de elasticidad global (MOEG).**

Para el módulo de elasticidad global la deformación (w) se mide en el centro de la luz y en el centro del borde traccionado (ver Figura N° 7). Cuando la deformación se mide en el eje neutro debe tomarse la media de las mediciones realizadas en ambas caras de la probeta (23).

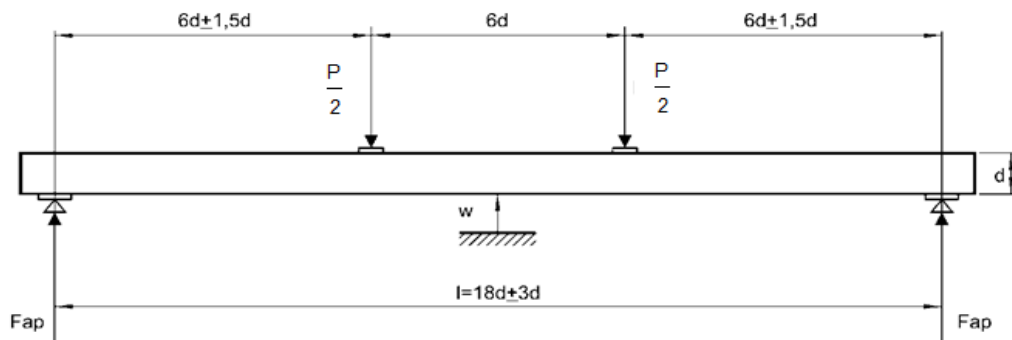


Figura Nº 7: Disposición para el ensayo de la medición del módulo de elasticidad global en flexión según IRAM 9663-1.

El módulo de elasticidad global se obtiene según la siguiente ecuación (23):

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bd^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{P_2 - P_1} \right)} \quad [\text{Ec. Nº 5}]$$

Siendo:

$E_{m,g}$: Módulo de elasticidad global en flexión (N/mm^2);

P_2 : 40% de la carga de rotura (N);

P_1 : 10% de la carga de rotura (N);

w_2 : Deformación correspondiente al 40% de la carga de rotura (mm);

w_1 : Deformación correspondiente al 10% de la carga de rotura (mm);

l : Luz entre apoyos (mm);

a : Distancia entre la posición de carga y el apoyo (mm);

b : Ancho de la sección transversal (mm);

d : Altura de la sección transversal (mm).

Como se puede observar en la Figura Nº 6, (P_1, w_1) y (P_2, w_2) corresponden a dos puntos del tramo de deformación elástica.

➤ **Tensión de rotura.**

Para determinar la tensión de rotura se debe llevar la carga hasta el valor máximo, en un tiempo comprendido entre 300 ± 120 s desde el comienzo de aplicación de la misma. La tensión de rotura se obtiene de la siguiente expresión (23):

$$f_m = \frac{Fa}{2W} \quad [\text{Ec. Nº 6}]$$

Siendo:

f_m : Resistencia a flexión (N/mm²);

a : Distancia entre la posición de carga y el apoyo (mm);

F : Carga máxima (N);

W : Módulo resistente de la sección transversal (mm³).

Una vez extraídas las muestras, preparados y ensayados los cuerpos de prueba, se toma un trozo de toda la sección cercano a la rotura y libre de defectos para calcular la humedad y la densidad.

2.3.2.2 Aspectos estadísticos. Diseño de las muestras, preparación y análisis de los resultados.

La realización de ensayos para la caracterización de la madera desde el punto de vista estructural parte de la definición de la población para la cual se desean determinar sus propiedades. Todas las particularidades que pueden afectar la calidad del material deben estar representadas en el muestreo y deben tener la misma probabilidad de aparición en éste que en la población. Las muestras deben tener más de 40 probetas cada una; la selección de éstas, realización de las pruebas de laboratorio y el procesamiento de los resultados obtenidos se realizan de acuerdo a la norma IRAM 9664 (25), la cual está basada en la norma europea EN 384 (26).

➤ Ajuste a las condiciones de referencia.

Los valores de los cuerpos de prueba cuyo contenido de humedad esté comprendido entre el 8% y el 18% deben ajustarse al 12% (contenido de humedad de equilibrio para clima normalizado). Si el contenido de humedad supera el 18%, dichos valores deben corregirse desde un contenido de humedad del 18% y no desde su contenido de humedad real. Las propiedades que deben ajustarse a las condiciones de referencia son (25):

- *Densidad*: Cuando el valor del contenido de humedad sea mayor del 12%, la densidad debe disminuirse un 0,5% por cada variación del 1% del primero. En caso

contrario, cuando sea menor del 12%, la densidad debe aumentarse un 0,5% por cada 1% de variación del contenido de humedad.

- *Módulo de elasticidad*: Para el módulo de elasticidad en flexión la corrección se realiza aumentando el valor en un 1% por cada 1% de exceso en el contenido de humedad sobre la condición normalizada, y viceversa.
- *Resistencia a flexión*: La resistencia a flexión debe corregirse a una altura de referencia de 150 mm, dividiendo esta resistencia por el siguiente factor (4):

$$C_F = \left(\frac{150}{d}\right)^{0,2} \quad \text{[Ec.Nº 7]}$$

Siendo:

C_F : Factor de ajuste para considerar la altura de la viga sobre su resistencia si d es distinto a 150 mm;

d : Altura de la probeta en ensayo de resistencia a flexión (mm).

Luego de efectuadas las correcciones de los resultados correspondientes a cada muestra se pueden calcular los valores característicos del conjunto, los cuales también se ajustan según la cantidad de muestras, el tamaño de cada una y la variabilidad existente entre las mismas. Cabe destacar que los valores característicos tendrán una mayor penalización cuanto menor sea la cantidad y el tamaño de las muestras. A su vez, el promedio de los percentiles de las distintas muestras no debe ser superior en un 20% que el menor de ellos. En caso de que ésto suceda, se disminuye el promedio para cumplir con esa exigencia o se redefine la población (19).

➤ Obtención de los valores característicos.

Las normas de diseño estructural contemplan al 5% percentil inferior como valor característico para la resistencia y para la densidad, y al valor medio como valor característico para el módulo de elasticidad. El valor del 5% percentil inferior para una muestra se obtiene ordenando de menor a mayor todos los valores de la propiedad que se analiza (por ordenamiento). El valor buscado es aquel que está precedido por el 5% de los analizados. Si este valor no se corresponde con un resultado de ensayo real, es decir, si el número de resultados de ensayo no es divisible por 20, se requiere la interpolación entre dos resultados de ensayos adyacentes (19).

En esta investigación se obtienen los valores característicos de las siguientes propiedades (25):

- *Densidad*: La densidad característica se calcula mediante la ecuación:

$$\rho_k = \frac{\sum \rho_{05,j} \cdot n_j}{\sum n_j} \quad [\text{Ec. N}^\circ 8]$$

Siendo:

ρ_k : Densidad característica (kg/m³);

n_j : Número de probetas de la muestra j;

$\rho_{05,j}$: Valor del percentil 5 de la densidad para la muestra j (kg/m³).

- *Módulo de elasticidad*: El valor característico del módulo de elasticidad debe calcularse mediante la ecuación:

$$E_{0,medio} = \frac{\sum \bar{E}_j \cdot n_j}{\sum n_j} \quad [\text{Ec. N}^\circ 9]$$

Siendo:

$E_{0,medio}$: Valor característico del módulo de elasticidad (N/mm²);

\bar{E}_j : Valor medio del módulo de elasticidad de la muestra j (N/mm²);

n_j : Número de probetas de la muestra j.

- *Resistencia a flexión*: El valor característico de la resistencia F_k se debe calcular mediante la ecuación:

$$F_k = \overline{F_{05}} \cdot K_s \cdot K_v \quad [\text{Ec. N}^\circ 10]$$

Siendo:

F_k : Valor característico de la resistencia (N/mm²);

$\overline{F_{05}}$: Media de los valores corregidos del percentil 5 de cada muestra (F_{05}) ponderados según el número de elementos de cada muestra;

K_s : Factor de corrección en función del número y tamaño de las muestras. Se determina utilizando el gráfico indicado en la Figura N° 8;

K_v : Factor que tiene en cuenta la menor variabilidad de los valores de $F_{0.5}$ entre las muestras, en el caso de clasificación mecánica, respecto a la clasificación visual. Para todas las clasificaciones visuales este factor es igual a 1.

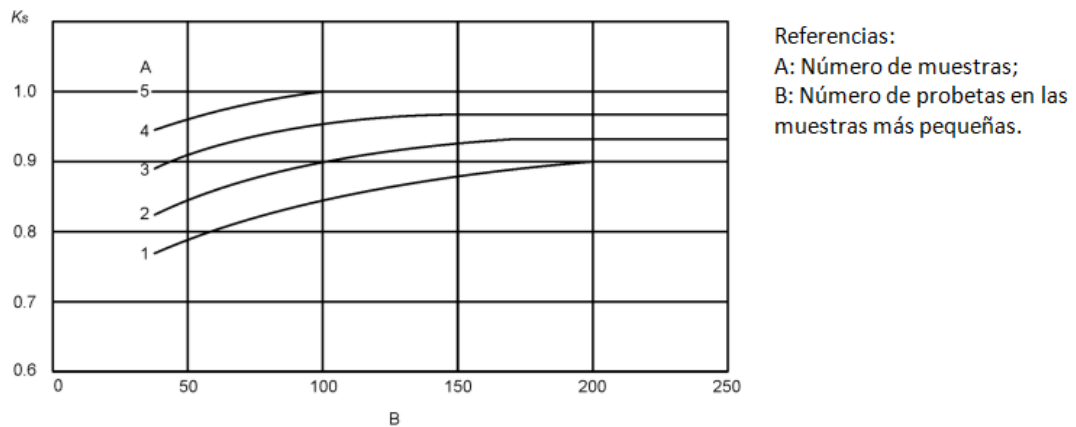


Figura N° 8: Valores del factor K_s en función de la cantidad y el tamaño mínimo de las muestras.

2.4. Clasificación por resistencia con fines estructurales.

La resistencia característica está representada por el valor que tiene una probabilidad determinada del 95% de ser igualado o superado en el conjunto de muestras analizado. Por ello, cuando se está en presencia de un conjunto de piezas sin clasificar y se aplica dicho criterio, la existencia de piezas de menor calidad arroja valores característicos muy bajos, lo que se traduce en la penalización de las piezas de buena calidad y en un deficiente aprovechamiento de dicho material. Ésto puede verse reflejado en la figura que se muestra a continuación (ver Figura N° 9), donde en el eje de abscisas se representan los valores resistentes y en el de ordenadas la frecuencia de aparición de los mismos.

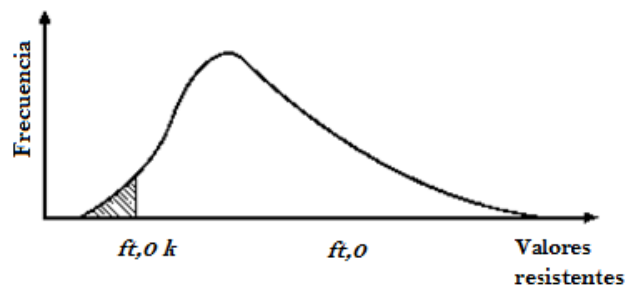


Figura N° 9: Distribución de valores de la resistencia a tracción para piezas de madera estructural no clasificada según Glos (1995) (27).

Por lo expuesto en el párrafo anterior, para lograr un mayor beneficio se divide a la población inicial en poblaciones menores formando las distintas clases, para luego a través de métodos no destructivos clasificar en un análisis individual, asignándolas a estos grupos de clases resistentes. Estas distintas clases surgen del establecimiento de límites para las características visuales adoptadas como parámetros, las cuales tienen influencia sobre las propiedades mecánicas, es decir, que el fundamento de estos métodos se encuentra en la existencia de una correlación conocida entre los parámetros visuales y las propiedades mecánicas. Cuanto más clara es esta relación, más eficiente es el método y permite dividir con mayor precisión a la población inicial en subpoblaciones constituidas por los distintos grados de calidad elegidos. Dicha división permite utilizar el potencial de cada grupo con la confiabilidad requerida en los métodos de diseño estructural. De esta forma obtenemos un nuevo esquema en el cual se subdivide la población original, obteniéndose en consecuencia un mejor aprovechamiento global de las propiedades resistentes (ver figura N° 10) (19).

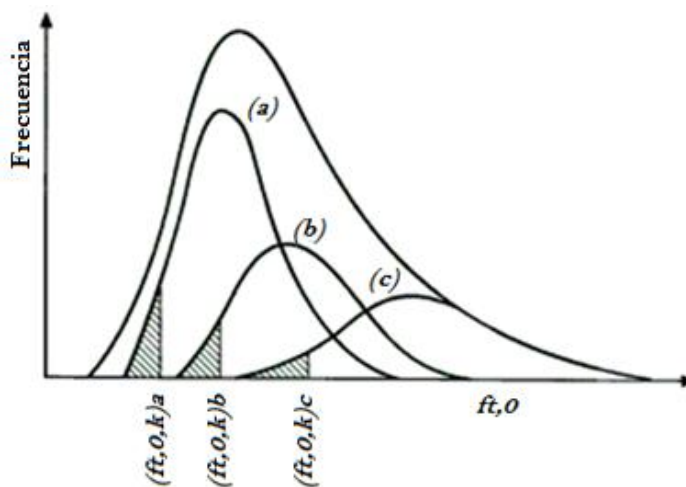


Figura N° 10: Esquema de distribución de la resistencia de tracción en madera estructural que fue asignada a tres clases de resistencia según Glos (1995) (27).

2.4.1. Clasificación visual por resistencia.

La clasificación visual por resistencia estuvo basada en la tradición y la experiencia hasta finales del siglo diecinueve, valiéndose de los conocimientos regionales de las especies y sus anomalías más importantes. La evolución ha ido acompañada de la redacción de rigurosas normas de clasificación por parte de los países que más utilizan este recurso. La complejidad y la cantidad de grados de calidad elegidos deben ser

evaluadas convenientemente con el fin de posibilitar una aplicación real y eficiente de los métodos en los procesos ligados a la producción, comercialización y utilización del material. La eficiencia y rapidez de estos métodos dependen de la pericia de la persona que realiza la tarea y están expuestos a los errores propios de la intervención de un ser humano. En unos pocos segundos el clasificador debe observar las cuatro superficies de una pieza aserrada y decidir, en función de su observación, cual es el grado de calidad que corresponde para la misma.

Los parámetros normalmente considerados para la clasificación visual son (15):

- Características ligadas al crecimiento del árbol que afectan las propiedades mecánicas, tales como nudos, desviación de las fibras, espesor de los anillos de crecimiento (indicador indirecto de la densidad), madera de reacción, médula y fisuras.
- Deterioros causados por ataques biológicos, como hongos e insectos.
- Defectos especiales, tales como severas reducciones de la sección transversal producidas durante el aserrado.
- Desviaciones de la geometría prevista, como deformaciones o aristas faltantes.

A continuación se detallan los defectos considerados en las reglas de clasificación visual por resistencia que actualmente se encuentran en vigencia en nuestro país para la madera aserrada de pino resinoso (*Pinus elliottii* y *Pinus taeda*) cultivado en el noreste argentino. Estas normas son la IRAM 9662-3 (3) y la IRAM 9670 (1), las cuales son aplicadas para la clasificación de tablas y vigas, respectivamente.

➤ Médula.

La presencia de médula se registra tanto en el interior de la pieza como en sus superficies. Su existencia o ausencia, se expresa en forma cualitativa (ver Figura N° 11) (3).



Figura N° 11: Médula. (Izquierda) En el interior de la pieza. (Derecha) En la superficie de la pieza.

➤ **Nudos.**

Los nudos presentan particularidades que son necesarias tener en cuenta para las distintas especies. En el caso de las coníferas, que tienen un tronco dominante del cual se desprenden ramas a intervalos regulares, se encuentran espacios sin nudos seguidos luego de grupos de los mismos. Éstos se presentan de distintas formas conforme al tipo de aserrado del tronco y a las dimensiones del elemento, así como también al tipo de árbol del cual proviene la madera. Es así que se pueden encontrar nudos aislados o un conjunto de ellos (ver Figura N° 12), también pueden estar ubicados en los cantos, las caras o las aristas de las piezas estructurales. Generalmente éstos disminuyen la capacidad portante cuando están ubicados en zonas traccionadas y su influencia se debe a la presencia misma del nudo y también a la desviación que se produce en las fibras que se encuentran alrededor de éste (19).

La medición de los nudos se realiza generalmente de una de las tres formas siguientes (15):

- Dimensión del nudo con relación a la dimensión de la superficie en la cual se manifiesta, siendo esta forma de medición la utilizada por la IRAM 9670 (1).
- Relación entre la proyección del nudo sobre la sección transversal y el área de ésta.
- En valores absolutos referidos a dimensiones establecidas para las piezas.



Figura N° 12: (Izquierda) Nudo aislado. (Derecha) Conjunto de nudos (1).

➤ **Desviación de las fibras.**

La desviación de las fibras se da cuando las mismas no son paralelas al canto de la pieza, esta desviación puede ser debido a dos causas, una inclinación constante que sigue una forma de espiral según la dirección longitudinal del tronco o por piezas que por su mal aserrado presentan este defecto. Esta anomalía se expresa como una relación entre 1 cm de inclinación respecto al canto de la pieza y la longitud dentro de la que ocurre la misma (ver Figura N° 13). Cuando dichas fibras son solicitadas por esfuerzos de tracción o compresión, tendrán componentes actuando perpendicularmente a éstas que disminuyen la resistencia de la madera (28).

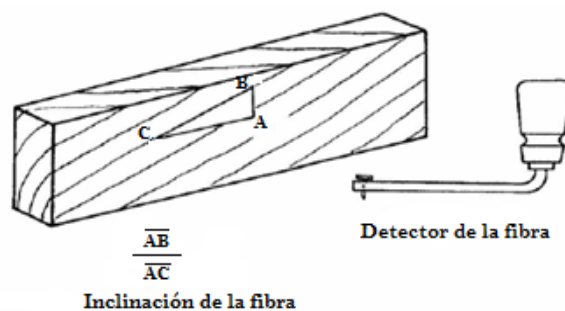


Figura N° 13: Medición de la inclinación de las fibras (29).

➤ **Espesor de los anillos de crecimiento.**

De acuerdo a la norma IRAM 9662-3 (3), el espesor de los anillos de crecimiento es registrado sobre la mayor línea recta que sea posible trazar en los extremos de la pieza, en forma perpendicular a los mismos y pasante por la médula. Se considera el espesor del

mayor anillo -expresado en milímetros- sin tener en cuenta aquellos ubicados en un radio de 25 mm alrededor de la médula.

Según la norma IRAM 9670 (1), en un corte de una pieza de tamaño estructural sin presencia de médula, la medición del número de anillos se realiza sobre una línea radial continua de 76 mm (3 pulgadas) de largo o lo más cercano a ello (ver Figura N° 14). En cambio, si la pieza contiene médula, la medición se realiza trazando una línea radial continua a partir del centro de la médula sobre la misma distancia señalada anteriormente, pudiéndose descartar sobre esta línea su parte más interna en un largo de hasta $\frac{1}{4}$ de la mínima dimensión de la pieza.

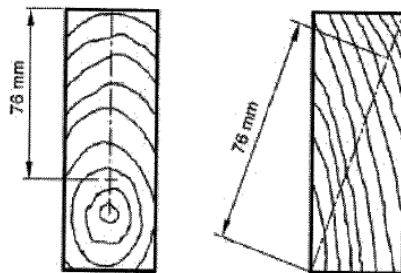


Figura N° 14: Medición del número de anillos de crecimiento. (Izquierda) Pieza con médula. (Derecha) Pieza de corte lateral.

➤ **Fisuras, grietas y rajaduras.**

El largo de las fisuras se registra en la dirección del eje longitudinal de la pieza, distinguiéndose entre fisuras pasantes (rajaduras) que se manifiestan sobre dos superficies opuestas de la pieza, y las no pasantes (grietas). Pueden ser ignoradas las fisuras no pasantes que no penetran más que la mitad del espesor de la pieza y en el caso de fisuras del mismo tipo se debe considerar la suma de sus longitudes (ver Figura N° 15) (3).

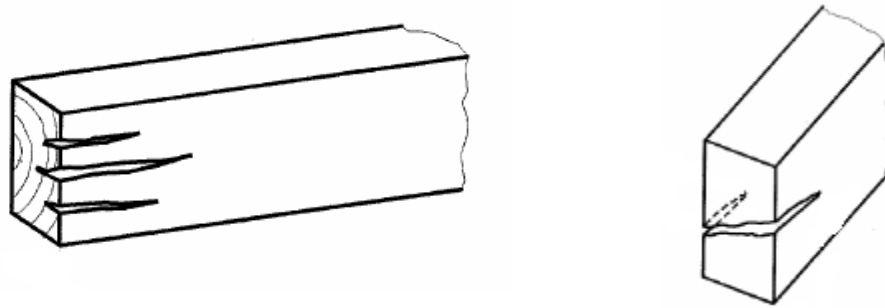


Figura Nº 15: (Izquierda) Fisura no pasante o grieta. (Derecha) Fisura pasante o rajadura (1).

➤ **Alabeos.**

Los alabeos son deformaciones de la madera respecto a sus ejes longitudinales y/o transversales, se producen por la pérdida de humedad y se distinguen diferentes tipos (15):

- **Combado y encorvado:** Para las flechas de cara y de canto se registra la deformación mayor (d) que exista en una longitud de 2,0 m con respecto al eje longitudinal. Para piezas con longitud menor que la nombrada anteriormente se registra la deformación existente en todo el largo de ellas.
- **Abarquillado:** Se mide como la deformación máxima (d) sobre el ancho (a) de la pieza.
- **Revirado:** Se mide como la deformación máxima (d) de la superficie sobre un largo (L) de 2,0 m de la pieza (ver Figura Nº 16) (3).

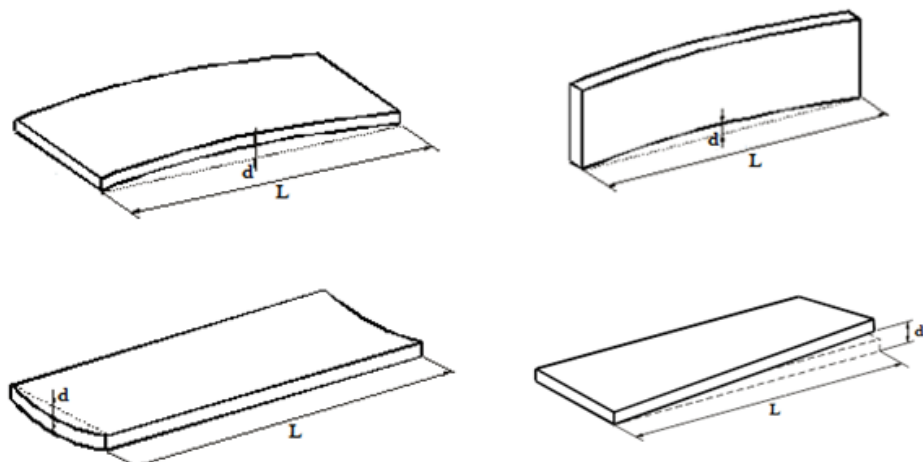


Figura Nº 16: Alabeos de la madera aserrada. (Superior izquierda) Combado. (Superior derecha) Encorvado. (Inferior izquierda) Abarquillado. (Inferior derecha) Revirado.

➤ **Arista faltante.**

La arista faltante es la falta de madera en una o más aristas de la pieza (30). Se registra el mayor ancho de arista faltante transversal y perpendicularmente al eje de la pieza y se expresa como una fracción decimal del ancho de la cara y el canto donde ésta aparece (ver Figura N° 17) (3).

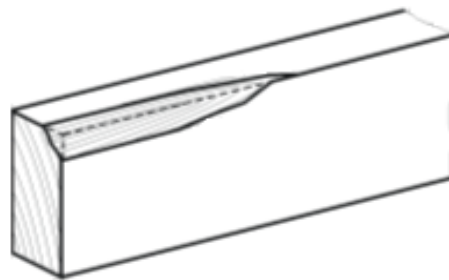


Figura N° 17: Arista faltante.

➤ **Ataques biológicos.**

Los daños que producen los insectos y hongos en la madera afectan la resistencia de la pieza. En el caso del pino se destacan las siguientes especies de insectos: “mariposa europea del brote del pino” (Lepidóptera: Tortricidae), “avispa de la madera” (Hymenoptera: Siricidae), “gorgojo de la corteza del pino” (Coleoptera: Curculionidae), “pulgón gigante de los pinos” (Hemiptera: Aphididae: Lachninae), “complejo de coleópteros descortezadores” (Coleoptera: Scolytidae) (31) (ver Figura N° 18).



Figura N° 18: Insectos. (Izquierda) Gorgojo (32). (Derecha) Mariposa europea (33).

Según la norma IRAM 9662-3 (3) se registra la presencia de zonas atacadas por hongos destructores de la madera causantes de pudrición y por hongos cromógenos causantes de azulado y enmohecimiento. Además se registra la presencia de orificios

originados por ataques de insectos, los cuales se expresan por la medida del diámetro mayor en milímetros.

➤ **Madera de reacción.**

La madera de reacción es el área de madera anormal formada por la disposición excéntrica de la médula, caracterizada por su color, consistencia y diferentes propiedades mecánicas (30). Se registra en su zona de mayor medida transversal sobre las caras de la pieza donde se manifiesta y perpendicularmente al eje de la pieza. Se expresa como una fracción decimal del ancho de la cara o del canto donde aparece (3).

➤ **Depósitos de resina.**

Los depósitos de resina se generan como factor de respuesta a un agente extraño (ver Figura N° 19). La discontinuidad que presenta la presencia de estos depósitos implica una disminución del área sujeta a esfuerzos de corte paralelo y tensión perpendicular a las fibras. Si se encuentran cerca del plano neutro de la pieza sometida a flexión se reduce el área resistente de las fuerzas cortantes horizontales. Las maderas de coníferas, en especial la de pino, presenta zonas fuertemente impregnadas con resina (29).

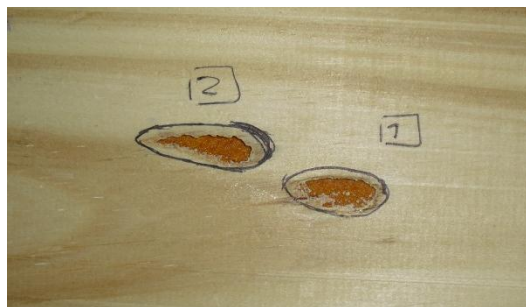


Figura N° 19: Depósitos de resina.

Según la norma IRAM 9662-3 (3), los depósitos de resina y otros defectos no contemplados anteriormente como daños mecánicos y manchado, se registran y definen por el debilitamiento que originan sobre la sección transversal y se los asimila a alguna característica de las previamente definidas que provoque similar efecto sobre las propiedades mecánicas.

De acuerdo a la IRAM 9670 (1), la pieza de madera debe estar libre de defectos no admisibles como acebolladuras, madera de compresión, madera con pudrición y cualquier otro defecto no contemplado en la Tabla N°3.

A continuación se presentan las tablas (ver Tabla N° 1 y N° 3) provenientes de las normas anteriormente señaladas -IRAM 9662-3 (3) e IRAM 9670 (1)- en las cuales se indican los diferentes parámetros a ser considerados en la clasificación de la madera aserrada estructural, con sus respectivos valores límites para la asignación de cada pieza a una clase o a un grado de resistencia. A la vez se exhiben los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad que se espera presenten las piezas de madera que cumplan con dicha clasificación (ver Tabla N° 2 y N° 4).

Tabla N° 1: Criterios para asignar las tablas de pino a las clases resistentes de acuerdo con la norma IRAM 9662-3 (3).

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.	

Tabla Nº 2: Valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad para cada clase de resistencia (3).

Clase de resistencia	Resistencia a la flexión ⁽¹⁾ (MPa)	Módulo de elasticidad ⁽²⁾ (MPa)	Densidad ⁽³⁾ (kg/m ³)
1	18	12000	420
2	11	7000	390

Nota: (1) Valor característico (5 %) calculado para una altura de referencia de 150 mm.
 (2) Valor característico medio calculado para un contenido de humedad de referencia de 12%.
 (3) Valor característico (5 %) calculado para un contenido de humedad de referencia de 12%.

Tabla Nº 3: Defectos admisibles y requisitos para los grados de madera estructural de pino según IRAM 9670 (1).

Defectos admisibles de la madera	Característica	Unidad	Requisitos	
			Grado 1	Grado 2
Inclinación de grano	Inclinación de grano	cm/cm	1/10	1/8
Nudo en zona central de la cara ¹⁾	Diámetro medio	mm	Menor o igual a 0,37 a	Menor o igual a 0,62 a
Sumatoria de los diámetros de nudos en una longitud igual al ancho de la cara ¹⁾	Dimensión en la cara o canto	mm	Menor o igual a 2 veces el diámetro máximo permitido en la cara	Menor o igual a 2 veces el diámetro máximo permitido en la cara
Nudo en zona de borde de la cara ¹⁾	Dimensión en la cara	mm	Menor o igual a 0,24 a.	Menor o igual a 0,44 a
Nudo en el canto ¹⁾	Dimensión en el canto	mm	Menor o igual a 0,50 e.	Menor o igual a 0,75 e
Rajaduras en los extremos	Largo	mm	Igual al ancho	1,5 del ancho
Grietas superficiales de secado	-	-	Admitidas	Admitidas
Grietas laterales	Profundidad	mm	0,25 e	0,60 e
Combado	-	mm/100 mm	0,50 % del largo	0,90 % del largo
Encorvado	-	mm/100 mm	0,25 % del largo	0,50 % del largo
Revirado	-	mm/100 mm	0,50 % del largo	0,90 % del largo
Abarquillado	-	mm/100 mm	1 % del ancho	2 % del ancho
Manchado	-	-	Se admite siempre y cuando no afecte la terminación final	Se admite siempre y cuando no afecte la terminación final
Agujeros de nudo, Nudos saltadizos	-	-	Se evalúan como nudos sanos pero se admiten hasta 1 por metro lineal.	Se evalúan como nudos sanos pero se admiten hasta 3 por metro lineal.
Médula	-	-	Se admite	Se admite
Arista faltante	-	-	No se admite	Se admite una sola arista faltante que abarque hasta 1/4 del espesor, 1/4 del ancho, y que esté ubicada en los cuartos extremos de la viga.
Número promedio de anillos por pulgada	-	-	Igual o mayor que 2	Menor que 2

Nota: con "a" se designa el ancho de la pieza y con "e" se designa el espesor de la pieza.

Tabla Nº 4: Valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad para cada grado de resistencia (1).

Grado de resistencia	Resistencia a la flexión ⁽¹⁾ (MPa)	Módulo de elasticidad ⁽²⁾ (MPa)	Densidad ⁽³⁾ (kg/m ³)
1	23,9	9000	420
2	11,9	7500	390

Nota: (1) Valor característico (5 %) calculado para una altura de referencia de 150 mm.
(2) Valor característico medio calculado para un contenido de humedad de referencia de 12 %.
(3) Valor característico (5 %) calculado para un contenido de humedad de referencia de 12 %.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se detalla el material en estudio, se indica el equipamiento utilizado para la realización de los ensayos y se describe la metodología y el procesamiento de datos.

3.1. Materiales.

El trabajo empírico consistió en el ensayo a flexión de piezas de madera aserrada de pino resinoso cultivado en la provincia de Misiones. Dichas piezas fueron provistas por la empresa Laharrague Chodorge S.A. y obtenidas de árboles de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* de 30 y 27 años de edad, respectivamente, éstas cumplieron con la condición de representatividad de la población estudiada, desde el punto de vista de los requerimientos estadísticos básicos del muestreo en lo referente a especie, procedencia y procesos normales de producción del material y dimensiones.

Posteriormente a su aserrado, las piezas enviadas por la empresa en Octubre del 2012 al laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de

la UTN fueron 50 de 2 x 4", 50 de 2 x 6" y 100 de 1 x 4" de entre 3700 y 4300 mm de largo, estando cada conjunto de piezas conformado en partes iguales por *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*.

Una vez que el material fue trasladado al laboratorio, se realizó el cepillado del mismo con una cepilladora de una cara hasta llegar a las dimensiones nominales deseadas. Luego se procedió a la elección y corte de la probeta, en el caso de las tablas se eligieron dos de cada pieza, una considerando el peor defecto y otra con uno intermedio, los cuales siempre se ubicaron en el tercio central de los cuerpos de prueba. Para la elección de las probetas de las vigas no siempre se eligieron dos de cada pieza, sino que en algunos casos solo se obtuvo un único cuerpo de prueba.

Se obtuvieron tres muestras con un total de 314 cuerpos de prueba, siendo:

- Muestra 1: 100 tablas de 500 mm de largo con sección nominal de 100 x 25 mm de *Pinus taeda* y 100 tablas de *Pinus elliottii* de igual sección y largo que las anteriores.
- Muestra 2: 39 vigas de 2000 mm de largo con sección nominal de 50 x 100 mm de *Pinus taeda* y 25 vigas de *Pinus elliottii* de igual sección y largo que las anteriores.
- Muestra 3: 25 vigas de 3000 mm de largo con sección nominal de 50 x 150 mm de *Pinus taeda* y 25 vigas de *Pinus elliottii* de igual sección y largo que las anteriores.

Una vez cortados, los cuerpos de prueba fueron estibados con separadores intermedios en cámara con clima normalizado a 20 °C y 65% de humedad relativa. Seguidamente se registraron las dimensiones reales y las características visuales de éstos.

La muestra 1 -compuesta por tablas- fue analizada conforme a los lineamientos de la norma IRAM 9662-3 (3), mientras que las restantes muestras -conformadas por vigas- fueron estudiadas según la norma IRAM 9670 (1).

Posteriormente se procedió a la marcación de los cuerpos de prueba con diferentes colores para su fácil identificación, como se indica a continuación:

- Color negro: el centro.
- Color verde: la posición de la carga dispuesta simétricamente a 3h desde el centro.

- Color rojo: la ubicación de los apoyos de forma simétrica desde el centro a 9h.
- Con lápiz: la ubicación de la fijación a 2,5h desde el centro para el dispositivo de medición de descensos laterales (en el caso de las muestras compuestas por vigas).

3.2. Procedimiento de ensayo.

Se realizaron los ensayos a flexión estática siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 9663-1 (23). Para la muestra 1 -compuesta por tablas- se utilizó una máquina de ensayo universal con accionamiento eléctrico de marca EMIC con una capacidad máxima de 100 KN. En cambio, para las muestras 2 y 3 -formadas por vigas- se empleó una máquina de ensayo universal con accionamiento hidráulico de marca Shimadzu de 1000 KN de capacidad máxima (ver Figura N° 20).



Figura N° 20: Ensayo a flexión estática. (Izquierda) Máquina de ensayo universal Shimadzu. (Derecha) Máquina de ensayo universal EMIC.

Los cuerpos de prueba fueron ubicados con una separación entre apoyos igual a $18 \pm 3h$ y cargados simétricamente a una distancia igual a $6 \pm 1,5h$ de cada apoyo, como se explicó anteriormente en el apartado 2.3.2.1. (23).

En los puntos de aplicación de cargas se colocaron dispositivos para evitar la concentración de tensiones y lograr una mejor distribución de las mismas (ver Figura N° 21).

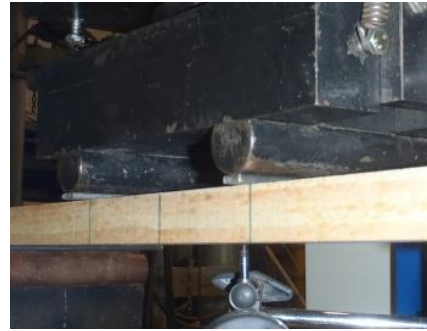
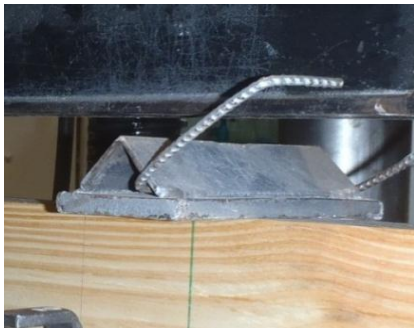


Figura N° 21: Dispositivos para evitar la concentración de tensiones en los puntos de aplicación de las cargas.

Del mismo modo, para evitar el aplastamiento de la madera en los puntos de apoyo se interpuso entre el apoyo metálico y el cuerpo de prueba una planchuela, como se muestra en la Figura N° 22.



Figura N° 22: Dispositivos para evitar aplastamientos.

Para medir la deformación en el centro de las probetas se utilizaron comparadores digitales con precisión de 0,01 mm y para medir la deformación de los laterales en los cuerpos de prueba de las muestras 2 y 3 -formadas por vigas- se usaron comparadores similares con precisión de 0,001 mm apoyados sobre guías, las cuales fueron fijadas a la viga formando un mecanismo capaz de deformarse junto a ella (ver Figura N° 23).

Para todos los ensayos la velocidad de desplazamiento del cabezal de carga estuvo comprendida entre 4 – 10 mm/min, de forma que la carga de rotura fuera producida en un tiempo de 300 ± 120 s (23).

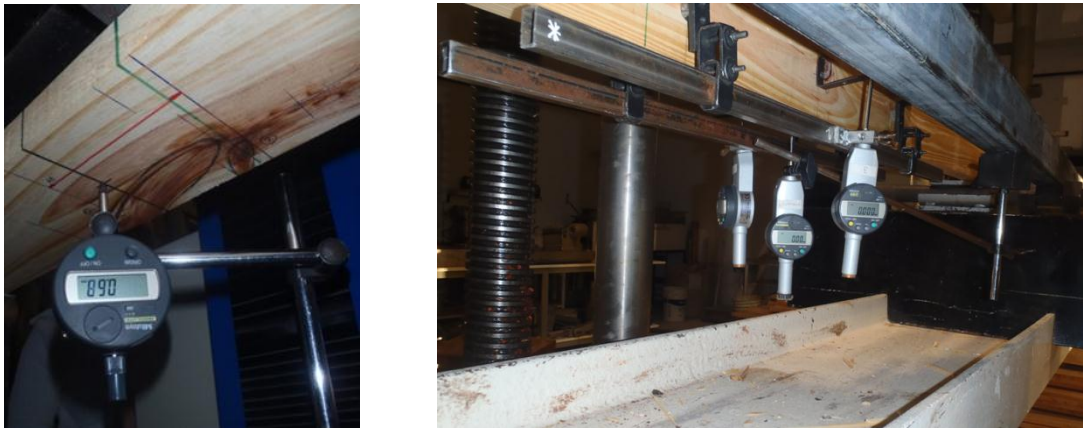


Figura N° 23: Dispositivos para medir deformaciones.

Para la muestra 1 -compuesta por tablas- se registró la lectura de la deformación para intervalos de carga de 50 kg hasta alcanzar los 400 kg. En el caso de la muestra 2 -conformada por vigas de 2 x 4"- se registraron las lecturas de las deformaciones para intervalos de carga de 50 kg en los distintos comparadores hasta alcanzar los 700 kg, en cambio para la muestra 3 -formada por vigas de 2 x 6"- las lecturas fueron tomadas cada 100 kg hasta llegar a los 1000 kg. Una vez alcanzados dichos valores se retiraron los comparadores y se continuó con el ensayo hasta que se produjo la rotura del cuerpo de prueba como se muestra en la Figura N° 24.



Figura N° 24: Rotura en ensayo a flexión de un cuerpo de prueba.

Luego de alcanzada la rotura se registró el valor de la carga máxima y la duración del ensayo. Inmediatamente se describió el tipo de falla, registrando en una planilla el

inicio, el recorrido y la finalización de la misma junto a datos relevantes como presencia de médula, nudos, depósitos de resina, etc. (ver Figura N° 25).



Figura N° 25: Rotura de un cuerpo de prueba con anomalías: (Izquierda) presencia de nudo. (Derecha) existencia de médula.

Posteriormente, para la determinación de la humedad y de la densidad de las probetas, se cortó un trozo de la sección completa del cuerpo de prueba libre de nudos y bolsas de resina -utilizando una sierra radial escuadradora- lo más cercano posible a la zona de rotura. A continuación, se registraron las dimensiones con un calibre digital -con precisión de 0,01 mm- y el peso húmedo del trozo con una balanza electrónica -con precisión de 0,01 grs- para luego colocarse en la estufa eléctrica a una temperatura de 103 ± 2 °C hasta alcanzar peso constante, el cual indica el peso seco según norma IRAM 9532 (34) (ver Figura N° 26).

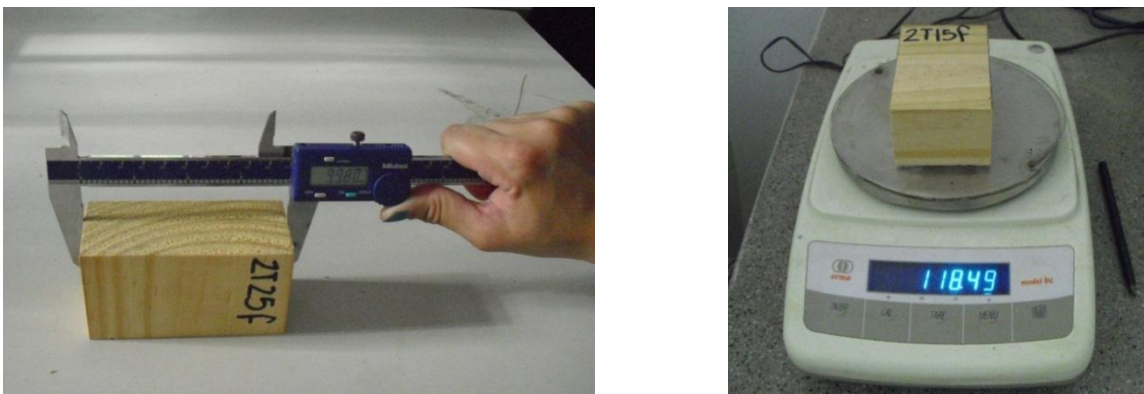


Figura N° 26: (Izquierda) Toma de dimensiones del trozo de un cuerpo de prueba. (Derecha) Determinación de la masa del trozo.

3.3. Procesamiento de datos.

Una vez culminados los ensayos de laboratorio se calcularon de acuerdo a lo expresado en el apartado 2.3.2.1, la tensión de rotura en flexión (MOR) según ecuación [6], los módulos de elasticidad local (MOE) y global (MOEG) aplicando las ecuaciones [4] y [5], respectivamente. El cálculo de la densidad de cada cuerpo de prueba se obtuvo como se explica en el apartado 2.3.1.1 con la ecuación [1].

Posteriormente, los resultados obtenidos como se indica en el párrafo anterior fueron ajustados a las condiciones de referencia según el apartado 2.3.2.2. Finalmente, y de acuerdo a los objetivos planteados, se determinaron los valores mínimos, medios y máximos para conocer la tendencia central y el rango de variación de las variables. Asimismo, se calcularon tanto la desviación estándar como el coeficiente de variación como referentes estandarizados de la variabilidad de los resultados. El percentil 5% de la resistencia y de la densidad fueron determinados en forma no paramétrica, por ordenamiento, como se indicó en el Capítulo 2.

Con el propósito de cumplir con lo planteado en el objetivo 2 de este trabajo, la comparación de las propiedades del *Pinus taeda* con las correspondientes al *Pinus elliottii* se efectuó a través de la prueba estadística “t” de Student llevada a cabo con un software apropiado. A través de este procedimiento, la decisión de rechazar la hipótesis de que los valores medios de las propiedades de ambas especies son iguales se basa en un criterio estadístico aceptado internacionalmente, asumiendo una probabilidad de cometer un error, la cual en este caso se fijó en un 5% (nivel de significación adoptado para rechazar la hipótesis de igualdad).

CAPÍTULO 4

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos en el desarrollo del programa empírico llevado a cabo según los procedimientos descriptos en el Capítulo 3 y considerando los objetivos presentados en la Introducción.

4.1 Resultados obtenidos de los principales parámetros visuales para la clasificación por resistencia.

➤ **Médula.**

Teniendo en cuenta que la norma IRAM 9662-3 (3) asigna a la presencia de médula una importante influencia sobre las propiedades mecánicas de las especies estudiadas y no la admite en la clase superior (clase 1), en la Tabla N° 5 se exhibe la cantidad de piezas que presentan este parámetro para las distintas secciones.

Los porcentajes generales de piezas con presencia de médula pueden ser considerados importantes y, consecuentemente, es de esperar una disminución en la capacidad portante de una cantidad significativa de cuerpos de prueba de este material estructural.

Tabla Nº 5: Presencia de médula en las distintas secciones de los cuerpos de prueba.

Tablas de 100 x 25 mm n=100			Vigas de 50 x 100 mm n=50			Vigas de 50 x 150 mm n=50			Total
<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>	Total	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>	Total	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>	Total	
21 (42%)	11 (22%)	32 (32%)	22 (88%)	10 (40%)	32 (64%)	10 (40%)	13 (52%)	23 (46%)	87 (44%)

Por otro lado, si se efectúa una comparación entre las especies estudiadas, es posible apreciar en la tabla anterior (ver Tabla Nº 5) que para las tablas de sección 100 x 25 mm y las vigas de sección 50 x 100 mm la presencia de este parámetro es mucho mayor en el *Pinus elliottii* que en el *Pinus taeda*, en tanto que esa relación se invierte para las vigas de sección 50 x 150 mm. En la figura siguiente (ver Figura Nº 27) se puede apreciar distintas piezas de madera con presencia de médula tanto en los extremos como en la superficie.



Figura Nº 27: Presencia de médula en las piezas. (Izquierda) En cortes laterales. (Derecha) En la superficie.

Es de destacar que la tendencia predominante en las últimas décadas ha sido disminuir la edad de corte de las plantaciones por impulso del beneficio económico, aprovechando a su vez la rapidez de crecimiento de las especies forestadas. Este fenómeno de disminución en la edad de corte de los árboles lleva implícito que el diámetro de los troncos destinados al aserrado de madera estructural se vea reducido. Como consecuencia de esta realidad, la probabilidad de que la médula -que ocupa la parte central del tronco- esté presente en las piezas también se ha incrementado con los consiguientes efectos negativos en la resistencia y rigidez del material, ya que esta característica normalmente va acompañada de la presencia de pequeñas fisuras.

La tendencia descrita en el párrafo anterior no solamente está vigente en nuestro país, lo cual queda reflejado en la importancia que se asigna a la presencia de médula en la norma IRAM 9662-3 (3). Además, en Estados Unidos existe una importante preocupación por la disminución de las propiedades mecánicas que se han detectado durante las últimas décadas en las piezas de pino, lo cual se debe al fenómeno expresado anteriormente. Esta preocupación ha motivado la consideración de la médula en los métodos de clasificación, a través de los cuales luego se proveen los valores de diseño de referencia para emplear con las reglas del NDS (22).

➤ **Nudosidad.**

Este parámetro (ver Figura Nº 28) fue analizado en detalle para las tablas de sección 100 x 25 mm, ya que al estar integrada por un total de 100 piezas -50 de cada especie estudiada- provee resultados confiables desde el punto de vista estadístico. Esta característica adquiere valores comprendidos entre cero y uno -ya que relaciona el tamaño del nudo al de las dimensiones transversales de la pieza- conforme al método de determinación presentado anteriormente en el Capítulo 3. Resulta de interés para propósitos prácticos vinculados a la clasificación con fines estructurales conocer tanto las medidas de tendencia central como la dispersión. En la siguiente tabla (ver Tabla Nº 6) se presentan los principales resultados encontrados, tanto para el total de las piezas como para cada una de las especies estudiadas. Como puede observarse, tanto el valor medio como la dispersión de los resultados, expresados estos últimos por la desviación estándar y el coeficiente de variación, son muy similares para ambas especies.



Figura Nº 28: Nudosidad en las tablas de sección 100 x 25 mm.

Tabla Nº 6: El parámetro nudosidad en las tablas de sección 100 x 25 mm.

Nudosidad	Tablas de sección 100 x 25 mm		
	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>	Total
Mínimo	0,23	0,27	0,23
Máximo	1,00	1,00	1,00
Media	0,57	0,59	0,57
s	0,20	0,22	0,21
COV	0,36	0,38	0,37
n	50	50	100

Nota: s: Desviación estándar.
COV: Coeficiente de variación.
n: Cantidad de cuerpos de prueba.

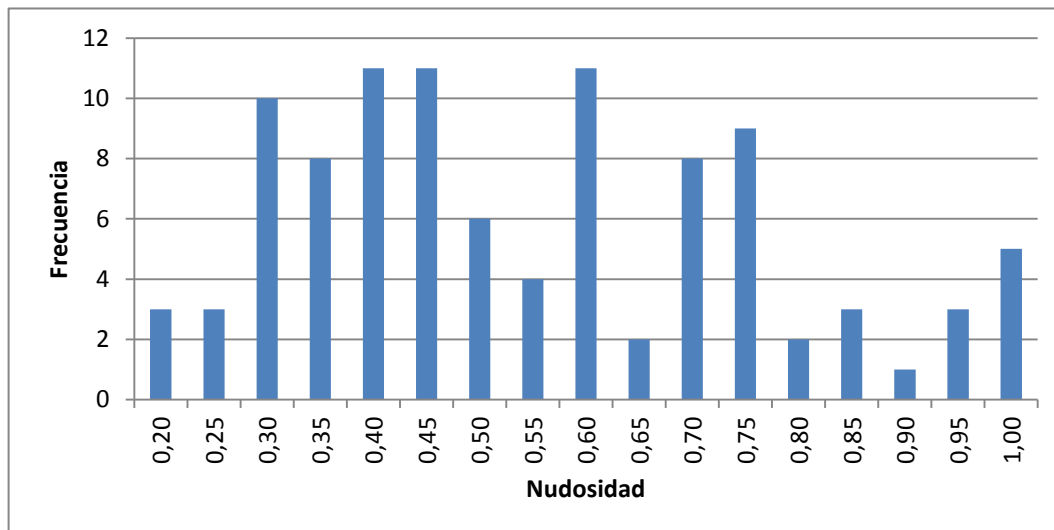


Figura Nº 29 Histograma de frecuencias del parámetro nudosidad para las tablas de sección 100 x 25 mm.

La norma IRAM 9662-3 (3) establece límites de nudosidad para asignar los cuerpos de prueba a las clases resistentes. El límite superior para la clase 1 (de calidad superior) es 0,33, el correspondiente a la clase 2 es 0,66, en tanto que las piezas que superan este valor deben ser descartadas para la construcción de madera laminada encolada estructural. Se puede observar en el histograma de frecuencias para la nudosidad de las tablas de sección 100 x 25 mm (ver Figura Nº 29) que la mayor concentración de valores de este parámetro se encuentra dentro de los límites para la clase 2, en cambio los que se presentan con menor frecuencia corresponden al descarte.

En la Figura N° 30 se presenta la frecuencia acumulada de la nudosidad, la que permite apreciar claramente que aproximadamente el 21% de las tablas presenta nudosidad menor a 0,33 (límite superior de la clase 1), en tanto que un 50% exhibe valores comprendidos entre 0,33 y 0,66 (límite superior de la clase 2) y aproximadamente un 29% supera este último límite, las que por lo tanto deberían enviarse a descarte para fines relacionados a la fabricación de madera laminada encolada estructural.

Resulta interesante comparar estos resultados con los publicados por Guillaumet et al. (35) para dos clones de álamo cultivado en el delta del río Paraná. Estos clones - *Populus deltoides* Australiano 129/60' y 'Stoneville 67'- han sido investigados recientemente para uso estructural y se ha encontrado que su madera presenta una menor cantidad de defectos que la que se trata en este trabajo. Guillaumet et al. (35) publicaron que el 55% de las tablas presentaron nudosidad menor a 0,33, en tanto que el 42% exhibieron nudosidad comprendida entre 0,33 y 0,66 y solamente el 3% superó ese valor y consecuentemente se debía considerar como descarte.

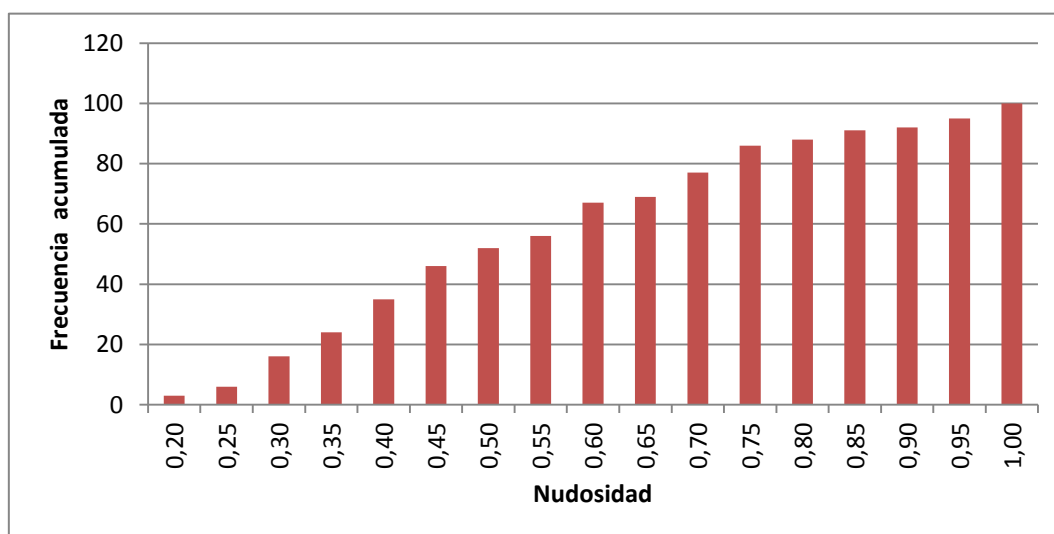


Figura N° 30: Histograma de frecuencias acumuladas del parámetro nudosidad para las tablas de sección 100 x 25 mm.

En la Figura N° 31 y en la N° 32 se muestra el histograma de frecuencias y la frecuencia acumulada, respectivamente, de la nudosidad en forma separada para las dos especies analizadas. La nudosidad que se presenta con mayor frecuencia en la especie *Pinus elliottii* es de 0,30 encontrándose dentro de la clase 1, en cambio en el *Pinus taeda* es de 0,40 hallándose dentro de la clase 2. Además, esta última especie es la que exhibe

mayor frecuencia de nudosidad en los valores que corresponden al descarte, si bien los mismos no representan un porcentaje importante del total.

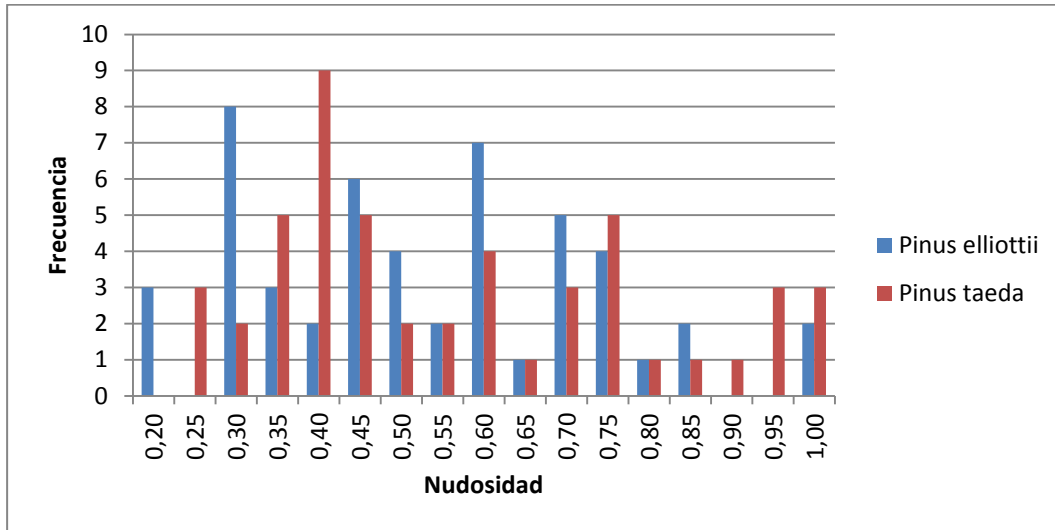


Figura Nº 31: Histograma de frecuencias para la nudosidad de las especies *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* para las tablas de sección 100 x 25 mm.

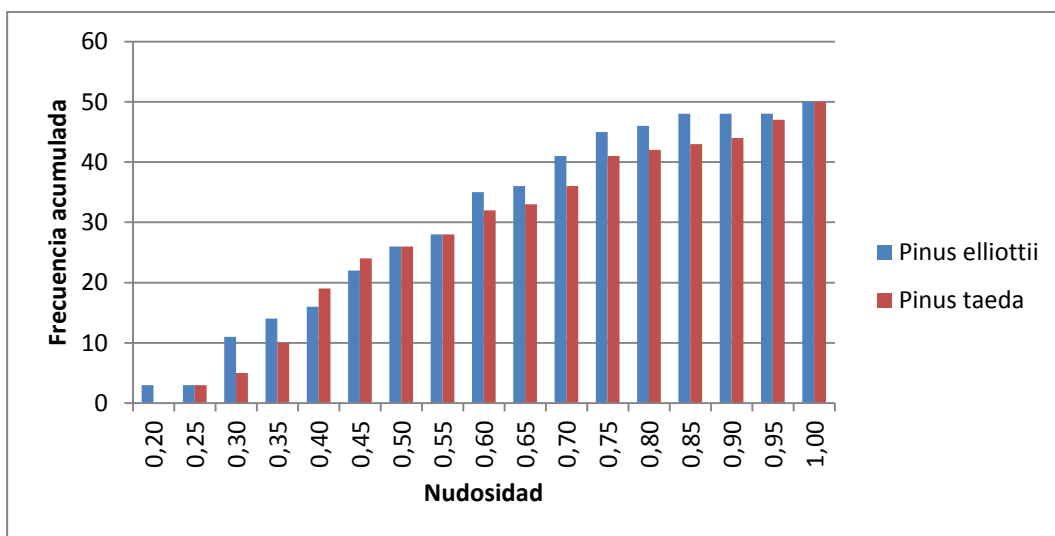


Figura Nº 32: Histograma de frecuencias acumuladas para la nudosidad de las especies *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* para las tablas de sección 100 x 25 mm.

➤ Anillos de crecimiento.

Los anillos de crecimiento están formados por dos tipos diferentes de tejidos (ver Figura Nº 33), la madera generada en primavera generalmente llamada leño temprano y la formada en verano denominada leño tardío. Los tejidos formados en primavera son en general de coloración más clara y poseen menor densidad que los de verano como

consecuencia del menor espesor de las paredes de sus fibras. Considerando que la densidad es una propiedad física de importancia porque afecta a las propiedades mecánicas de la madera con correlación positiva (15), los anillos de crecimiento constituyen un parámetro visual que permite inferir la densidad de la madera estructural, ya que a mayor tamaño de anillos se corresponde una menor densidad. Por otra parte, la presencia de un mayor espesor de leño de primavera ocasiona una pérdida de densidad en general de la pieza, lo cual lleva implícito una disminución de sus propiedades mecánicas.



Figura Nº 33: Anillos de crecimiento.

Conforme al criterio expuesto, el método de clasificación visual utilizado en la norma IRAM 9662-3 (3) considera de forma indirecta a la densidad a través de los anillos de crecimiento y establece límites para cada clase resistente. Los espesores de los anillos de crecimiento en las piezas que pertenecen a la clase 1 deben ser menores a 10 mm, mientras que los de la clase 2 no deben superar los 15 mm. Por otra parte, todas aquellas piezas con anillos que superan los 15 mm deben ser descartadas para la producción de madera laminada encolada estructural.

En la Figura Nº 34 y en la Nº 35 se observa el histograma de frecuencias y la frecuencia acumulada, respectivamente, de los anillos de crecimiento de mayor tamaño para las dos especies analizadas. Los espesores de los anillos de crecimiento que se presentan con mayor frecuencia tanto para el *Pinus taeda* como para el *Pinus elliottii* se ubican dentro de los valores admitidos para la clase 2, siendo éstos de 10 y 12,5 mm respectivamente.

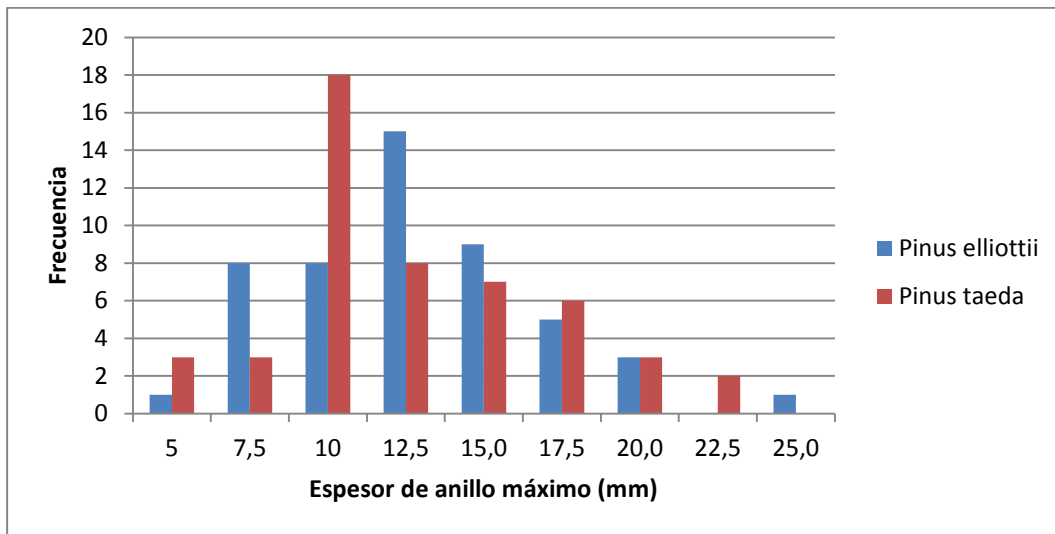


Figura Nº 34: Histograma de frecuencias para el espesor de los anillos de las especies *Pinus eliottii* y *Pinus taeda* para las tablas de sección 100 x 25 mm.

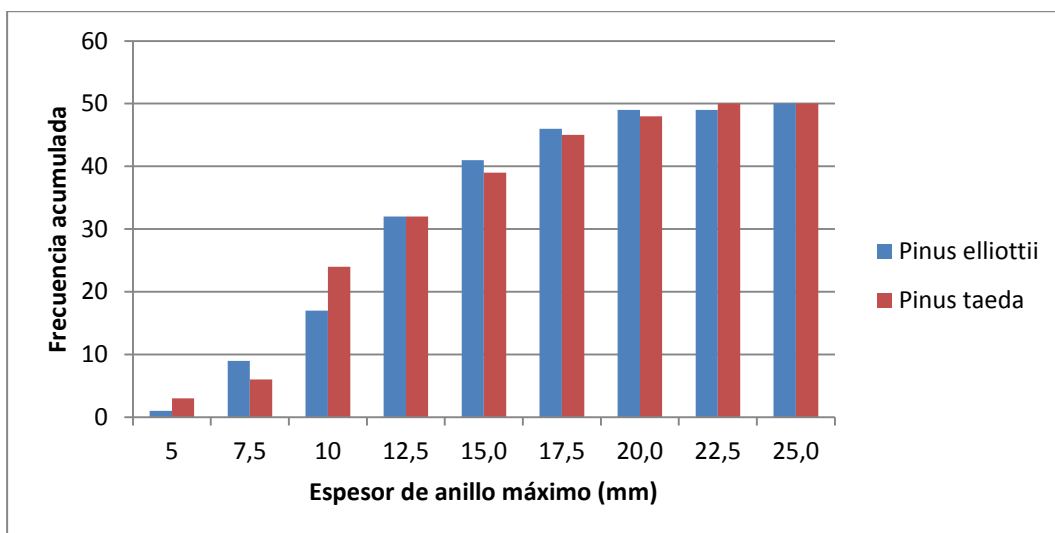


Figura Nº 35: Histograma de frecuencias acumulada para el espesor de los anillos de las especies *Pinus eliottii* y *Pinus taeda* para las tablas de sección 100 x 25 mm.

La tabla que se exhibe a continuación (ver Tabla Nº 7) muestra de forma resumida los datos expuestos en la figura anterior (Figura Nº 35). En la misma se presenta la cantidad de cuerpos de prueba que podrán asignarse a cada clase resistente en función de este parámetro discriminado por especie.

Es interesante destacar que de las especies de rápido crecimiento forestadas en el país, las estudiadas en este trabajo son las únicas en las cuales se puede considerar este parámetro visual como indicador indirecto de la densidad de la pieza. Para las restantes contempladas en la norma IRAM 9662 (36), tanto para el *Eucalyptus grandis*, como para

la *Araucaria angustifolia* (Pino Paraná) y para los clones de álamo mencionados anteriormente que se encuentran en trámite de inclusión, no es posible visualizar con claridad los anillos de crecimiento en un proceso normal de clasificación, por lo cual debieron ser descartados para este propósito.

Tabla Nº 7: Cantidad de cuerpos de prueba que podrían asignarse a cada clase resistentes en función del espesor de los anillos de crecimiento.

Anillos de crecimiento	Tablas de sección 100 x 25 mm		
	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>	Total
Clase 1 (0 - 10mm)	9	6	15
Clase 2 (10 - 15mm)	23	26	49
Descarte (> 15mm)	18	18	36

Si bien para el uso estructural de la madera se limitan otros parámetros de detección visual que los mencionados anteriormente, en este apartado fueron descriptos aquellos que a través de los estudios de correlación probaron ejercer una importante influencia sobre el comportamiento estructural del material. A modo de ejemplo, la desviación de las fibras, que en general es considerada una característica que disminuye la capacidad portante y la rigidez, prácticamente no fue detectada en las piezas involucradas en el presente estudio. Por otra parte, parámetros más ligados al aspecto que al comportamiento estructural, como las deformaciones, directamente no fueron presentadas por no inscribirse dentro de los objetivos del trabajo.

4.2 Resultados obtenidos para las propiedades mecánicas y la densidad.

A los fines prácticos relacionados al uso estructural de la madera es necesario conocer tanto las medidas de tendencia central como las de dispersión para la resistencia, el módulo de elasticidad y la densidad. La Tabla Nº 8 exhibe los valores de las propiedades mencionadas anteriormente sin ajustar a las condiciones de referencia consideradas en la norma IRAM 9664 (25). Es necesario destacar que para determinar las propiedades mecánicas y la densidad de cada tabla de la muestra 1 se obtuvieron dos probetas -una de las cuales representaba la peor calidad de la misma-, por lo cual se cuenta con un total de 200 determinaciones. Para el caso de la muestra 2, se extrajo una segunda probeta

solamente de 14 piezas de *Pinus taeda*, y en el resto de los casos se eligió una probeta que contenía el peor defecto de cada pieza.

Tabla N° 8: Valores de las propiedades mecánicas y la densidad sin ajustar a los valores de referencia para las distintas muestras.

Valores sin ajustar a las condiciones de referencia		Muestra 1 (100 x 25 mm)			Muestra 2 (50 x 100 mm)			Muestra 3 (50 x 150 mm)		
		<i>Pinus elliottii</i> (n=100)	<i>Pinus taeda</i> (n=100)	Total (n=200)	<i>Pinus elliottii</i> (n=25)	<i>Pinus taeda</i> (n=39)	Total (n=64)	<i>Pinus elliottii</i> (n=25)	<i>Pinus taeda</i> (n=25)	Total (n=50)
Tensión de rotura en flexión (N/mm ²)	Mínimo	18,9	17,3	17,3	12,6	8,8	8,8	10,1	11,9	10,1
	Máximo	95,2	95,0	95,2	62,3	82,3	82,3	87,9	53,3	87,9
	Media	41,0	40,3	40,6	41,9	40,9	41,3	37,0	26,3	31,6
	s	15,2	13,3	14,2	10,5	18,7	15,9	17,0	11,7	15,4
	COV	0,37	0,33	0,35	0,25	0,46	0,39	0,46	0,45	0,49
Módulo de elasticidad (N/mm ²)	Mínimo	3024	2717	2717	4211	4287	4211	5883	5210	5210
	Máximo	16203	14938	16203	14050	14090	14090	14596	11627	14596
	Media	6533	7005	6769	8349	9717	9183	9850	8199	9024
	s	2643	2303	2484	2281	2384	2422	2529	1700	2289
	COV	0,40	0,33	0,37	0,27	0,25	0,26	0,26	0,21	0,25
Densidad (kg/m ³)	Mínimo	354	335	335	419	415	415	444	390	390
	Máximo	708	583	708	623	732	732	726	600	726
	Media	479	448	463	510	558	539	559	480	520
	s	74	52	66	50	82	75	73	50	74
	COV	0,15	0,12	0,14	0,10	0,15	0,14	0,13	0,10	0,14

Nota: s: Desviación estándar.
COV: Coeficiente de variación.
n: Cantidad de cuerpos de prueba.

Dado que la resistencia a flexión varía con la altura de la pieza y que tanto el módulo de elasticidad como la densidad son influenciados por el contenido de humedad, los valores obtenidos empíricamente para las tres propiedades son ahora ajustados a las condiciones de referencia (ver Tabla N° 9). La resistencia se ajustó a una altura de referencia de 150 mm y tanto el módulo de elasticidad como la densidad a un contenido de humedad de referencia del 12%, en todos los casos se siguieron los procedimientos descriptos en el Capítulo 3.

Tabla Nº 9: Valores de las propiedades mecánicas y la densidad ajustados a los valores de referencia para las distintas muestras.

Valores ajustados a las condiciones de referencia		Muestra 1 (100 x 25 mm)			Muestra 2 (50 x 100 mm)			Muestra 3 (50 x 150 mm)		
		<i>Pinus elliottii</i> (n=100)	<i>Pinus taeda</i> (n=100)	Total (n=200)	<i>Pinus elliottii</i> (n=25)	<i>Pinus taeda</i> (n=39)	Total (n=64)	<i>Pinus elliottii</i> (n=25)	<i>Pinus taeda</i> (n=25)	Total (n=50)
Tensión de Rotura en Flexión (N/mm ²)	Mínimo	13,1	12,0	12,0	11,6	8,1	8,1	10,1	11,9	10,1
	Máximo	66,4	66,4	66,4	57,5	75,9	75,9	87,9	53,3	87,9
	Media	28,5	28,0	28,3	38,6	37,7	38,1	37,0	24,7	31,6
	s	10,6	9,2	9,9	9,7	17,2	14,7	17,0	11,7	15,4
	COV	0,37	0,33	0,35	0,25	0,46	0,39	0,46	0,47	0,49
Módulo de Elasticidad (N/mm ²)	Mínimo	3031	2747	2747	4241	5291	5291	5894	5291	5291
	Máximo	16003	14876	16003	14059	11858	14665	14665	11858	14665
	Media	6470	7021	6746	8402	8423	9143	9937	8423	9143
	s	2611	2311	2475	2300	1738	2301	2544	1738	2301
	COV	0,40	0,33	0,37	0,27	0,21	0,25	0,26	0,21	0,25
Densidad (kg/m ³)	Mínimo	356	333	333	417	415	415	441	386	386
	Máximo	711	584	711	620	730	730	724	594	724
	Media	481	448	464	508	557	538	557	469	516
	s	75	52	66	50	82	75	73	49	74
	COV	0,16	0,12	0,14	0,10	0,15	0,14	0,13	0,10	0,14

Nota: s: Desviación estándar.
COV: Coeficiente de variación.
n: Cantidad de cuerpos de prueba.

Es de destacar que la muestra 1 es la que presenta una mayor cantidad de cuerpos de prueba, por ello resulta de mayor importancia su análisis a nivel estadístico. Por esta razón se presentan a continuación los histogramas de frecuencia para la tensión de rotura, la densidad y el módulo de elasticidad para dicha muestra separados por especie. Presentando los primeros una distribución similar a la normal (ver Figura Nº 36 y Nº 37), mientras que el histograma para el módulo de elasticidad no tiene esta característica (ver Figura Nº 38).

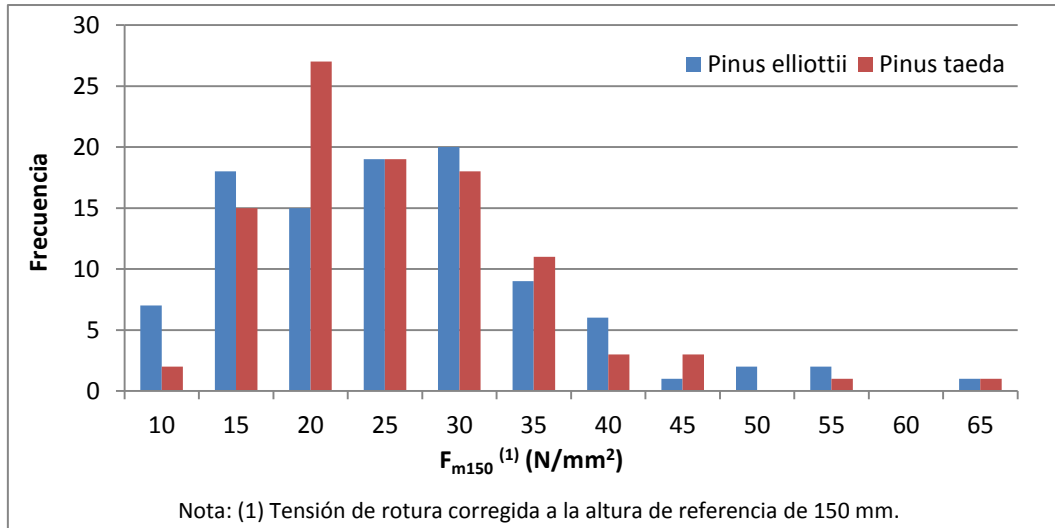


Figura Nº 36: Histograma de frecuencia de la tensión de rotura en las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.

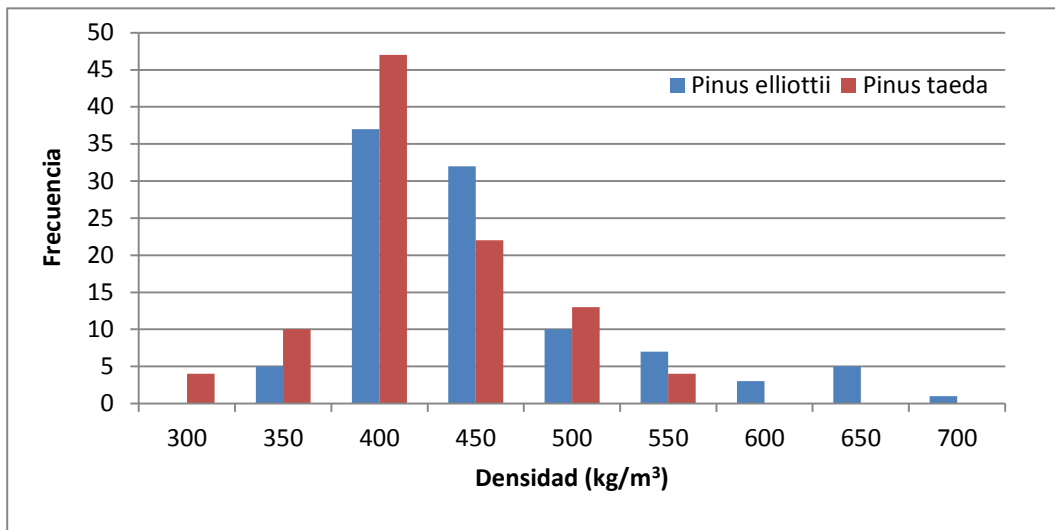


Figura Nº 37: Histograma de frecuencia de la densidad en las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.

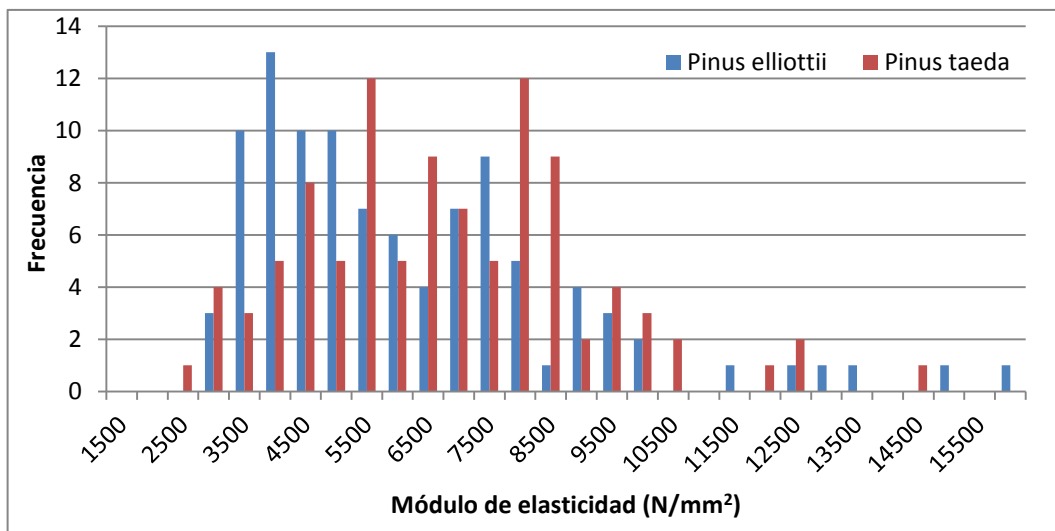


Figura Nº 38: Histograma de frecuencia del módulo de elasticidad en las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.

4.3 Influencia de los principales parámetros visuales sobre las propiedades mecánicas.

Los principales parámetros visuales que se estudiaron en esta investigación debido a su influencia sobre las propiedades mecánicas fueron la presencia de médula, la nudosidad y el espesor de los anillos de crecimiento. Como se mencionó en el apartado 4.1, existe un porcentaje importante de piezas con médula, lo que motiva el análisis de forma más detallada de la variación de las propiedades mecánicas con respecto a dicho parámetro. En la Tabla N° 10 se puede observar el comportamiento de la tensión de rotura y el módulo de elasticidad para las tres muestras con respecto a la presencia o no de esta anomalía. En aquellos cuerpos de prueba que presentan médula, las dos propiedades muestran una disminución de sus valores. Asimismo, el coeficiente de variación generalmente es menor en las piezas con médula, lo cual se traduce en una menor dispersión de valores con respecto al valor medio.

Tabla N° 10: Valores de las propiedades mecánicas ajustados a los valores de referencia para las distintas muestras según presenten o no médula.

		Muestra 1 (100 x 25 mm)			Muestra 2 (50 x 100 mm)			Muestra 3 (50 x 150 mm)		
		Con Médula (n=53)	Sin Médula (n=147)	Total (n=200)	Con Médula (n=33)	Sin Médula (n=31)	Total (n=64)	Con Médula (n=23)	Sin Médula (n=27)	Total (n=50)
Tensión de Rotura en Flexión (N/mm²)	Mínimo	12,0	12,1	12,0	8,1	15,4	8,1	12,3	10,1	10,1
	Máximo	44,6	66,4	66,4	75,9	68,9	75,9	53,3	87,9	87,9
	Media	23,2	30,1	28,3	37,1	39,4	38,1	29,2	33,7	31,6
	s	7,0	10,2	9,9	15,0	15,2	14,7	11,1	18,3	15,4
	COV	0,30	0,34	0,35	0,40	0,39	0,39	0,38	0,54	0,49
Módulo de Elasticidad (N/mm²)	Mínimo	3031	2747	2747	4241	5783	4241	5894	5291	5291
	Máximo	9782	16003	16003	14059	14079	14079	11304	14665	14665
	Media	5046	7358	6746	8208	10244	9212	8237	9915	9143
	s	1446	2485	2475	2257	2188	2422	1330	2671	2301
	COV	0,29	0,34	0,37	0,28	0,21	0,26	0,16	0,27	0,25

Nota: s: Desviación estándar.
COV: Coeficiente de variación.
n: Cantidad de cuerpos de prueba.

En la Figura N° 39 se relaciona la resistencia con la nudosidad para cada especie de la muestra 1. Ambas rectas de regresión lineal muestran una correlación negativa entre las variables, es decir que, como es lógico, un aumento de la nudosidad implica una disminución en la resistencia. El coeficiente de determinación (R^2) indica que la nudosidad

explica aproximadamente el 29% de la variabilidad de la resistencia en las tablas de ambas especies.

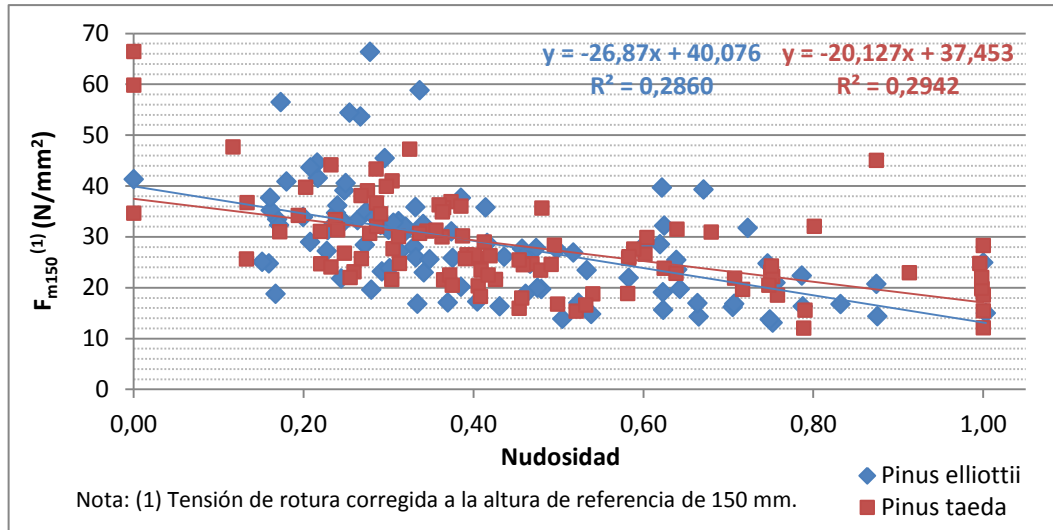


Figura Nº 39: Relación entre la nudosidad y la tensión de rotura de las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.

La Figura Nº 40 exhibe la relación entre la nudosidad y el módulo de elasticidad. En este caso puede apreciarse una menor correlación entre ambas variables que en el caso anterior. Como queda expresado a través del coeficiente de correlación (R^2), en ninguna de las especies analizadas la nudosidad alcanza a explicar el 15% de la variabilidad del módulo de elasticidad.

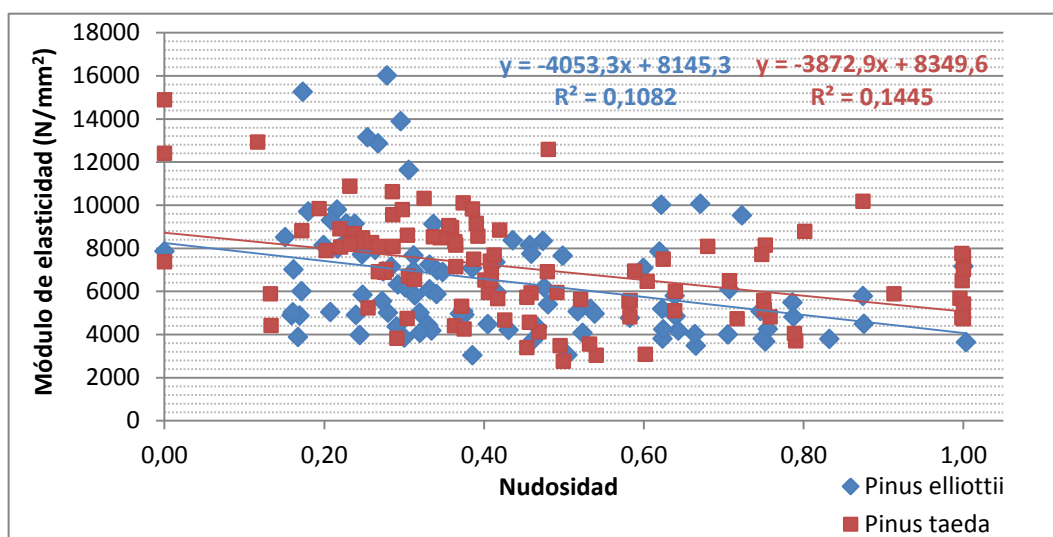


Figura Nº 40: Relación entre la nudosidad y el módulo de elasticidad de las especies Pinus elliottii y Pinus taeda para la muestra 1.

En las siguientes figuras (ver Figura N° 41 y N° 42) se puede observar la relación existente para ambas especies entre el espesor de los anillos de crecimiento y la tensión de rotura, y entre el espesor de los anillos de crecimiento y el módulo de elasticidad. En ambas figuras se observa que la especie *Pinus elliottii* es la que presenta una disminución más pronunciada de la tensión de rotura y el módulo de elasticidad en función del incremento del espesor de los anillos de crecimiento.

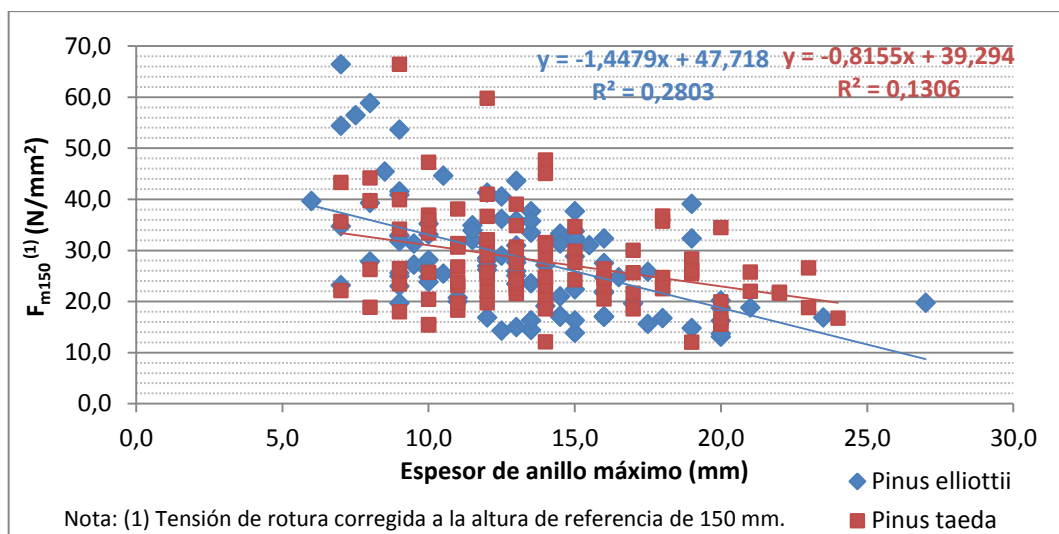


Figura N° 41: Relación entre el espesor de los anillos de crecimiento y la tensión de rotura de las especies *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* para la muestra 1.

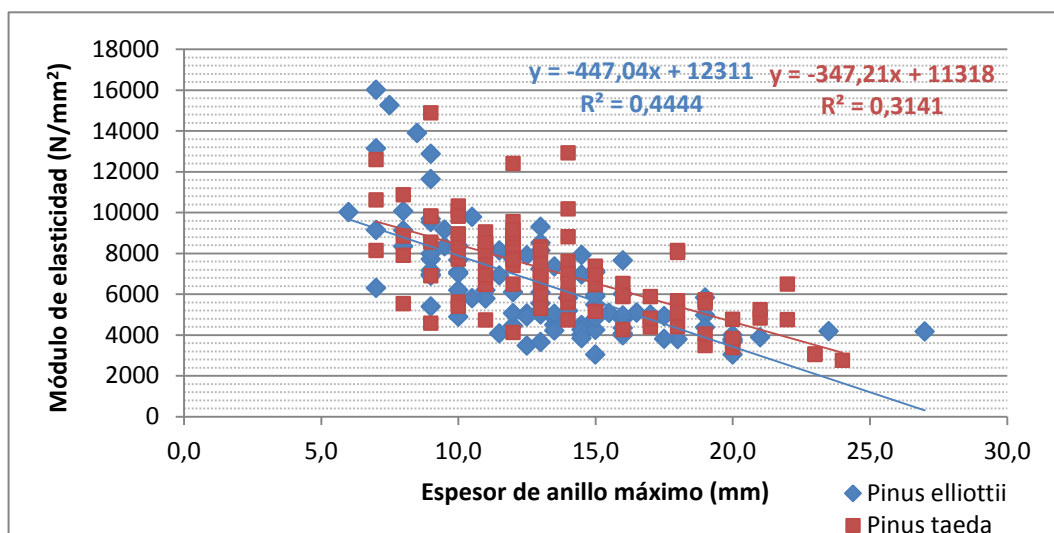


Figura N° 42: Relación entre el espesor de los anillos de crecimiento y el módulo de elasticidad de las especies *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* para la muestra 1.

Como se expresó anteriormente, un incremento en el espesor de los anillos implica una disminución en la densidad y, consecuentemente, también una disminución

de las propiedades mecánicas del material. Los resultados exhibidos en las Figuras N° 41 y N° 42 son congruentes con esta relación y en ambos casos se puede apreciar una correlación negativa entre las variables analizadas.

No obstante, y en contradicción con los resultados encontrados para la relación entre la nudosidad y las propiedades mecánicas, en este caso el espesor de los anillos (e indirectamente la densidad del material) demostró ejercer una mayor influencia sobre el módulo de elasticidad que sobre la resistencia, lo cual se evidencia por los valores exhibidos en las Figuras N° 41 y N° 42 para el coeficiente de determinación (R^2).

Como se señaló anteriormente, fueron analizados otros parámetros que no demostraron ejercer una influencia significativa sobre las propiedades estudiadas y por este motivo no fueron tenidos en cuenta dentro de este capítulo. Dentro de ellos se pueden mencionar la desviación de las fibras, fisuras, alabeos, arista faltante y depósitos de resina.

4.4 Análisis de los resultados en relación a los objetivos planteados.

Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados en la Introducción de este Proyecto Final se analizan a continuación los resultados obtenidos y presentados previamente, pero sometidos a un estudio orientado a lograr el fin perseguido. Para los objetivos 1 y 2 se emplearán los valores determinados sobre la muestra 1, debido a que presenta mayor respaldo estadístico, mientras que para el objetivo 3 es utilizada la totalidad de las muestras pues este objetivo está vinculado al comportamiento resistente de piezas con distinta altura en su sección transversal.

Un paso inicial indispensable para proceder al análisis planteado consiste en clasificar por resistencia las muestras ensayadas y obtener para cada clase resistente los valores característicos de sus propiedades más importantes. Para la clasificación visual de tablas -muestra 1- y vigas -muestra 2 y 3- se emplearon las normas IRAM 9662-3 (3) y la IRAM 9670 (1), respectivamente. En la tabla a continuación (ver Tabla N° 11) se exhiben las medidas de tendencia central y la dispersión de las propiedades mecánicas y la densidad para cada clase resistente, así como para el descarte. En todos los casos se puede apreciar claramente que una clase resistente superior da como resultado valores

más elevados para las propiedades analizadas. La densidad es la propiedad que presenta menor dispersión de valores y la tensión de rotura es la que muestra la mayor variación de los mismos. En línea con el criterio adoptado en la normativa empleada, los valores que se presentan están ajustados a las condiciones de referencia, es decir que la resistencia a flexión está ajustada a una sección de 150 mm de altura y tanto el módulo de elasticidad como la densidad se refieren a un contenido de humedad del 12%.

Tabla Nº 11: Valores de las propiedades mecánicas y densidad correspondientes a la clasificación visual para las distintas muestras.

		Muestra 1 (100 x 25 mm)			Muestra 2 (50 x 100 mm)			Muestra 3 (50 x 150 mm)		
		Clase 1 (n=22)	Clase 2 (n=96)	Descarte (n=81)	Grado 1 (n=7)	Grado 2 (n=34)	Descarte (n=23)	Grado 1 (n=7)	Grado 2 (n=11)	Descarte (n=32)
Tensión de Rotura en Flexión (N/mm ²)	Mínimo	23,2	14,3	12,0	32,8	20,5	8,1	25,9	14,3	10,1
	Máximo	66,4	59,8	39,1	68,9	75,9	54,7	87,9	59,2	53,3
	Media	41,9	29,1	23,6	55,0	41,1	28,4	45,6	36,6	26,9
	s	11,4	8,6	6,8	11,4	12,1	12,5	20,7	15,3	11,9
	COV	0,27	0,30	0,29	0,21	0,29	0,44	0,45	0,42	0,44
	5% percentil	27,6	16,9	13,9	33,0	18,8	10,9	33,0	18,8	10,9
Módulo de Elasticidad (N/mm ²)	Mínimo	6303	3476	2747	9114	4241	4319	8741	5363	5291
	Máximo	16003	12916	9522	14079	14059	12671	14665	14414	11715
	Media	10799	7156	5178	11168	9701	7895	11427	10618	8136
	s	2662	1864	1409	1743	2359	2055	2221	2503	1548
	COV	0,25	0,26	0,27	0,16	0,24	0,26	0,19	0,24	0,19
	5% percentil	6420	4089	2860	8300	5821	4514	7774	6500	5590
Densidad (kg/m ³)	Mínimo	434	333	336	460	415	415	449	426	386
	Máximo	711	639	692	645	730	655	724	639	589
	Media	541	464	445	594	540	519	596	540	491
	s	87	57	56	61	75	73	94	75	53
	COV	0,16	0,12	0,13	0,10	0,14	0,14	0,16	0,14	0,11
	5% percentil	443	391	378	509	422	430	478	448	416

Nota: s: Desviación estándar.
COV: Coeficiente de variación.
n: Cantidad de cuerpos de prueba.

4.4.1 Análisis referido al objetivo 1.

Para comprobar los valores de diseño de referencia provistos en la Tabla S.1.1.3-1 del Suplemento 1 del Reglamento CIRSOC 601 (4) para cada clase resistente del pino

resinoso cultivado en el noreste de Argentina, se emplean los valores característicos de la resistencia y el módulo de elasticidad determinados para la muestra 1.

Teniendo en cuenta la cantidad y tamaño de las muestras ensayadas para las clases 1 y 2 (ver la tabla anterior número N° 11) se procedió a aplicarles a los valores del percentil 5% de la resistencia una penalización estadística, la cual, conforme al criterio adoptado por la norma IRAM 9664 (25) es de 0,75. En consecuencia, los valores característicos de la resistencia correspondientes a las clases 1 y 2 alcanzan $20,7 \text{ N/mm}^2$ ($0,75 \times 27,6 \text{ N/mm}^2$) y $12,7 \text{ N/mm}^2$ ($0,75 \times 16,9 \text{ N/mm}^2$), respectivamente. En el suplemento nombrado anteriormente, los valores de diseño de referencia para la resistencia se obtienen dividiendo los característicos por un coeficiente igual a 2 que es el que provee la seguridad. A su vez, como el mencionado reglamento nacional considera que un escenario “normal” de cargas de diseño debe considerarse con una duración de 10 años durante la vida útil de la estructura (tales como la carga permanente más una sobrecarga de uso), los valores característicos obtenidos en los ensayos están divididos por un factor igual a 1,6. Este último factor expresa una característica propia de la madera como material estructural, que es la disminución de su resistencia en función de un aumento en la duración de la carga. El valor de 1,6 expresa la diferencia en la resistencia entre una pieza que es cargada durante 5/10 minutos -como en el ensayo estático- y una de igual calidad que es cargada durante 10 años. Como consecuencia de lo expuesto, los valores de diseño de referencia de la resistencia a flexión para las clases 1 y 2 obtenidos a partir del programa empírico alcanzan $6,5 \text{ N/mm}^2$ ($20,7 \text{ N/mm}^2 / (2 \times 1,6)$) y $4,0 \text{ N/mm}^2$ ($12,7 \text{ N/mm}^2 / (2 \times 1,6)$) respectivamente, los cuales se exhiben en la Tabla N° 11.

Por su parte, los valores de diseño de referencia para el módulo de elasticidad se obtienen corrigiendo el valor medio determinado a un contenido de humedad del 12% hasta el valor medio correspondiente a un contenido de humedad del 19%. Esta conversión se debe a que el criterio de diseño del Reglamento CIRSOC 601 (4) ha adoptado como “condición de servicio en clima interior” aquella combinación de temperatura y humedad relativa ambiente que determinan un contenido de humedad máximo del 19% en las piezas estructurales de madera. En consecuencia, y teniendo en cuenta que el Reglamento empleado considera que por cada 1% de incremento en el

valor del contenido de humedad disminuye un 2% el valor del módulo de elasticidad, los valores medios obtenidos en los ensayos deben disminuirse en un 14%, lo que conduce para las clases 1 y 2 a 9287 N/mm^2 ($0,86 \times 10799 \text{ N/mm}^2$) y 6154 N/mm^2 ($0,86 \times 7156 \text{ N/mm}^2$) respectivamente.

La aplicación de los criterios expuestos en los dos párrafos anteriores conduce a los valores de diseño de referencia de la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión obtenidos a partir del programa empírico, los que son presentados a continuación en la Tabla Nº 12 con los provistos para la especie analizada en la Tabla S.1.1.3-1 del Suplemento 1 del Reglamento CIRSOC 601 (4). Puede apreciarse que los valores obtenidos a partir del programa experimental correspondientes a la resistencia tanto para la clase 1 como para la clase 2 son 16% y 18% superior a los adoptados por el Reglamento. Con referencia al módulo de elasticidad, el valor derivado empíricamente representa el 90% del adoptado por el Reglamento para la clase 1 mientras que lo supera levemente (3%) para la clase 2.

Tabla Nº 12: Valores característicos de las propiedades mecánicas correspondientes a la clasificación visual para la muestra 1.

Muestra 1 (100 x 25 mm)	Clase 1		Clase 2	
	Valores de diseño de referencia obtenidos en este trabajo	Valores de diseño de referencia provistos en el CIRSOC 601 ⁽¹⁾	Valores de diseño de referencia obtenidos en este trabajo	Valores de diseño de referencia provistos en el CIRSOC 601 ⁽¹⁾
Resistencia a flexión (N/mm^2) ⁽²⁾	6,5	5,6	4,0	3,4
Módulo de elasticidad a flexión (N/mm^2) ⁽³⁾	9287	10300	6154	6000
Nota: (1) Valores de diseño de referencia provistos en la Tabla S.1.1.3-1 del Suplemento 1 del Reglamento CIRSOC 601. (2) Valor característico (5%) calculado para una altura de referencia de 150 mm. (3) Valor característico medio calculado para un contenido de humedad de referencia de 19%.				

Para comprobar los valores de la densidad provistos en la Tabla S.1.1.3-2 del Suplemento 1 del Reglamento CIRSOC 601 (4) para cada clase resistente del pino resinoso cultivado en el noreste de Argentina, se emplean los valores característicos de la densidad

determinados para la muestra 1, los cuales se observan en la Tabla N° 13. Se puede apreciar que la densidad presenta menor variación que las propiedades mecánicas ya mencionadas, en el caso de la clase 1 el valor determinado en este trabajo es un 5,5% superior al provisto por el Reglamento CIRSOC 601 (4), en cambio para la clase 2 el obtenido es muy similar (solo un 0,3% superior) al exhibido en el Reglamento citado anteriormente.

Tabla N° 13: Valores característicos de la densidad correspondientes a la clasificación visual para la muestra 1.

Muestra 1 (100 x 25 mm)	Clase 1		Clase 2	
	Valores de diseño de referencia obtenidos en este trabajo	Valores de diseño de referencia provistos en el CIRSOC 601 ⁽¹⁾	Valores de diseño de referencia obtenidos en este trabajo	Valores de diseño de referencia provistos en el CIRSOC 601 ⁽¹⁾
Densidad (kg/m ³) ⁽²⁾	443	420	391	390
Nota: (1) Valores de diseño de referencia provistos en la Tabla S.1.1.3-1 del Suplemento 1 del Reglamento CIRSOC 601. (2) Valor característico (5 %) calculado para un contenido de humedad de referencia de 12%.				

Teniendo en cuenta lo reducido de la base estadística tomada para este trabajo, los valores obtenidos no presentan diferencias importantes con los adoptados por el Reglamento CIRSOC 601 (4) para propósitos vinculados al diseño estructural. Consecuentemente, alientan la realización de nuevos estudios que permitan formular conclusiones sobre una base más amplia de determinaciones empíricas.

4.4.2 Análisis referido al objetivo 2.

Con el propósito de determinar si existe una diferencia significativa entre las propiedades mecánicas y la densidad de ambas especies estudiadas, se analizan los resultados obtenidos para la muestra 1 que ya fueron presentados en la Tabla N° 8 y que se transcriben a continuación en la Tabla N° 14 para su mejor apreciación. Para efectuar la comparación con un criterio estadístico aceptado internacionalmente, se plantea en principio la hipótesis de que los resultados, a través de su valor medio, no difieren significativamente para ambas especies. El rechazo de esta hipótesis se efectúa cuando la probabilidad de cometer un error es igual o menor al 5%, es decir que el rechazo se

produce con un nivel de significación del 5%. Como herramienta estadística se adopta la prueba “t” de Student para cuya ejecución se utiliza un software apropiado.

Tabla Nº 14: Valores de las propiedades mecánicas y de la densidad sin ajustar a los valores de referencia para la muestra 1.

Valores sin ajustar a las condiciones de referencia		Muestra 1 (100 x 25 mm)		
		<i>Pinus elliottii</i> (n=100)	<i>Pinus taeda</i> (n=100)	Total (n=200)
Tensión de rotura en flexión (N/mm ²)	Mínimo	18,9	17,3	17,3
	Máximo	95,2	95,0	95,2
	Media	41,0	40,3	40,6
	s	15,2	13,3	14,2
	COV	0,37	0,33	0,35
Módulo de elasticidad (N/mm ²)	Mínimo	3024	2717	2717
	Máximo	16203	14938	16203
	Media	6533	7005	6769
	s	2643	2303	2484
	COV	0,40	0,33	0,37
Densidad (kg/m ³)	Mínimo	354	335	335
	Máximo	708	583	708
	Media	479	448	463
	s	74	52	66
	COV	0,15	0,12	0,14
Nota: s: Desviación estándar. COV: Coeficiente de variación. n: Cantidad de cuerpos de prueba.				

Los resultados obtenidos de la prueba estadística aplicada a los valores de la resistencia prueban que no puede rechazarse la igualdad entre la resistencia de las especies analizadas, pues la probabilidad de tomar equivocadamente esa decisión alcanza un 70%. Consecuentemente, desde un punto de vista estadístico debe aceptarse que el material obtenido de *Pinus taeda* posee una resistencia a flexión comparable a la exhibida por el *Pinus elliottii*. Estos resultados confirman que es razonable la práctica existente actualmente en el país -y en numerosos otros- de emplear ambas especies como un conjunto ante la dificultad de diferenciar visualmente la madera de ambas luego de aserradas. Por otra parte, la simple observación de la similitud encontrada para los valores medios (41,0 N/mm² y 40,3 N/mm²) y la desviación estándar (15,2 N/mm² y 13,3

N/mm²) de ambas muestras en la Tabla N° 14 permite apreciar en forma simple la coherencia del resultado encontrado a través de la prueba “t”.

Con referencia a la comparación de los valores obtenidos para el módulo de elasticidad en ambas especies, la prueba estadística indicó que tampoco en este caso puede rechazarse la hipótesis de que ambas especies presentan rigidez similar. El rechazo de la hipótesis de esa igualdad de comportamiento lleva implícita una probabilidad del 72% de cometer un error. También para esta propiedad, la simple observación de los valores medios obtenidos para ambas muestras (6533 N/mm² y 7005 N/mm²) así como de la desviación estándar (2643 N/mm² y 2303 N/mm²), que en ambos casos son muy similares, también conducen a apreciar la coherencia del resultado producido por el análisis estadístico ya mencionado.

En cuanto a la tercera propiedad analizada, la densidad aparente, el estudio arrojó un resultado muy diferente a los presentados para la resistencia y el módulo de elasticidad. En este caso debe rechazarse la hipótesis de la igualdad entre ambas densidades pues la posibilidad de cometer un error en esa decisión es inferior al 0,5%. Desde el punto de vista del cálculo estructural, esta diferencia significativa debería conducir a que los valores de diseño de referencia provistos para aplicar las reglas estén penalizados por la influencia de una menor densidad en la madera de *Pinus taeda*. No obstante, y como ya se expresó anteriormente, estos resultados también alientan la realización de nuevos estudios que provean una mayor base estadística que la actualmente disponible.

4.4.3 Análisis referido al objetivo 3.

El Reglamento CIRSOC 601 (4) provee los valores de diseño de referencia para la resistencia a flexión referidos a una altura de 150 mm y proporciona la expresión $CF = (150/d)^{0,2}$, la cual permite ajustarlos cuando la pieza estructural tiene una altura diferente de la adoptada como referencia. Con el propósito de verificar este criterio para la madera aserrada de pino resinoso se analizan los valores sobre el total de las muestras (muestra 1, 2 y 3), las cuales resultan representativas de los tamaños estructurales usuales.

En la figura siguiente (ver Figura N° 43) se muestran los resultados de la relación encontrada entre la tensión de rotura a flexión y la altura para todos los cuerpos de prueba ensayados. En ésta se puede apreciar una relación entre ambas variables que muestra como tendencia general que un aumento de la altura de la sección se corresponde con una disminución de la tensión de rotura a flexión, lo cual coincide con el criterio adoptado por el CIRSOC 601 (4) y por la norma IRAM 9664 (24).

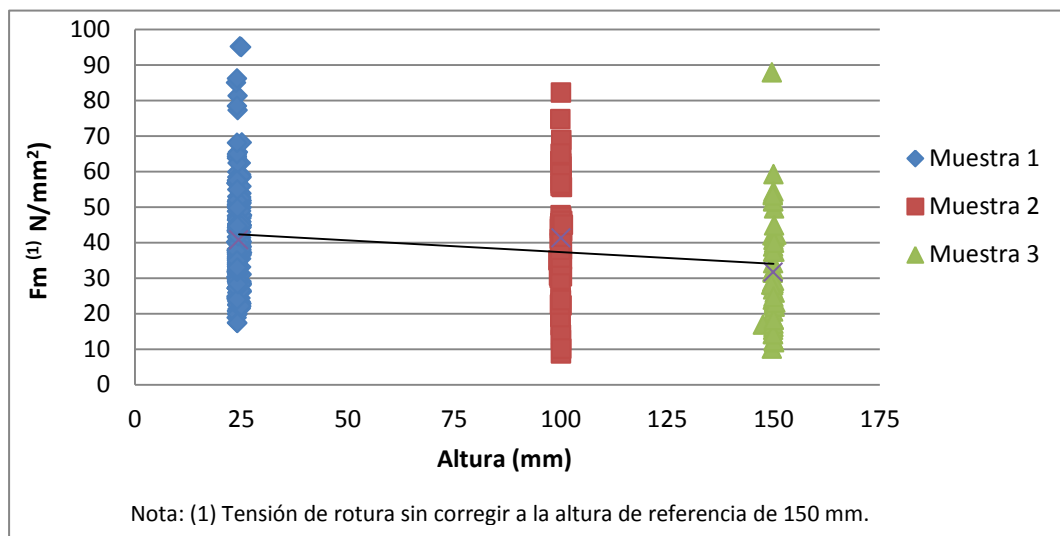


Figura N° 43: Relación entre la altura del cuerpo de prueba y la tensión de rotura para las tres muestras.

A continuación se presenta una tabla resumen (ver Tabla N° 15) con los valores medios obtenidos de los ensayos ($F_{m,med}$), aquellos ajustados a la altura de referencia de 150 mm ($F_{m,med150}$) y la densidad (ρ_{med}) para las tres muestras analizadas según tengan o no médula. En esta tabla se observa que en todos los casos, la muestra 2 presentó los mayores valores de $F_{m,med150}$ y la muestra 1 exhibió los menores.

Tabla N° 15: Valor medio de la tensión de rotura y de la densidad de cada una de las muestras y según presenten o no médula.

		Muestra 1 (25 mm)	Muestra 2 (100 mm)	Muestra 3 (150 mm)
Total	F _{m,med} (N/mm ²)	40,6	41,3	31,6
	F _{m,med150} (N/mm ²)	28,3	38,1	31,6
	COV	0,35	0,39	0,49
	ρ _{med} (kg/m ³)	464	538	516
	COV	0,14	0,14	0,14
	n	200	64	50
Sin Médula	F _{m,med} (N/mm ²)	43,3	42,6	33,7
	F _{m,med150} (N/mm ²)	30,1	39,4	33,7
	COV	0,34	0,39	0,54
	ρ _{med} (kg/m ³)	469	565	539
	COV	0,15	0,14	0,15
	n	147	31	27
Con Médula	F _{m,med} (N/mm ²)	33,4	40,2	29,2
	F _{m,med150} (N/mm ²)	23,2	37,1	29,2
	COV	0,30	0,40	0,38
	ρ _{med} (kg/m ³)	451	524	489
	COV	0,12	0,12	0,12
	n	53	33	23
Nota: F _{m,med} : Valor medio de la tensión de rotura. F _{m,med150} : Valor medio de la tensión de rotura ajustada a la altura de referencia. COV: Coeficiente de variación. ρ _{med} : Densidad media. n: Cantidad de cuerpos de prueba.				

Con el propósito de visualizar claramente la variabilidad entre las distintas muestras, se presentan en la tabla siguiente (ver Tabla N° 16) los valores de la tensión de rotura a flexión ajustada a la altura de referencia de 150 mm (F_{m,med150}) calculados para cada muestra junto a la diferencia existente entre éste y el valor F_{m,med150} promedio de las tres muestras. Los resultados muestran que sólo el grupo que presenta médula de las muestras 1 y 2 excedió el límite de máxima variabilidad de la resistencia entre muestras que la norma IRAM 9664 (25) establece en un 20%. Este límite está orientado a detectar posibles errores de muestreo en el material estructural proveniente de una misma población. Considerando lo expuesto y la relativamente reducida base estadística empleada, se puede concluir que los resultados obtenidos no invalidan el criterio adoptado por la norma IRAM 9664 (25) y el Reglamento CIRSOC 601 (4) para considerar

la influencia de la altura de la sección transversal sobre la resistencia a flexión en el material estudiado.

Tabla Nº 16: Valor medio de la tensión de rotura y de la densidad de cada una de las muestras.

	$F_{m,med150}$ (N/mm ²)						
	Muestra Promedio	Muestra 1 (%)		Muestra 2 (%)		Muestra 3 (%)	
Total	32,7	28,3	13%	38,1	17%	31,6	3%
Sin médula	34,4	30,1	13%	39,4	15%	33,7	2%
Con médula	29,8	23,2	22%	37,1	24%	29,2	2%

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las principales conclusiones del trabajo antes desarrollado. Teniendo en cuenta que para el proyecto se plantearon tres objetivos, cada conclusión se presenta en primer lugar identificando claramente el objetivo al que se relaciona. Por otra parte, y habida cuenta que durante el desarrollo de las tareas se encontraron otros resultados de interés para el uso estructural de las especies investigadas, al final de este capítulo se presentan también las conclusiones adicionales a que se arribó analizando los resultados mencionados.

5.1. Conclusiones referidas al objetivo 1. -Comprobar los valores de diseño de referencia provistos en el Suplemento 1 del Reglamento CIRSOC 601 (4) para cada clase resistente del pino resinoso cultivado en el noreste de Argentina-

Fue posible a partir de los valores característicos de la resistencia y el módulo de elasticidad -determinados empíricamente sobre las tablas de la muestra 1- derivar los valores de diseño de referencia correspondientes a la resistencia y al módulo de elasticidad. Los valores de diseño de referencia de la resistencia obtenidos a partir del programa experimental son 16% y 18% mayores que los provistos por el Reglamento

CIRSOC 601 (4) para las clases resistentes 1 y 2, respectivamente, del material estudiado. Con referencia al módulo de elasticidad, el valor derivado empíricamente representa el 90% del adoptado por el Reglamento para la clase 1 mientras que lo supera levemente (3%) para la clase 2.

Con referencia a la densidad, el valor determinado en este trabajo para la clase 1 es un 5,5% superior al provisto por el Reglamento CIRSOC 601 (4), en cambio para la clase 2 el obtenido es muy similar (solo un 0,3% superior) al exhibido en el Reglamento citado anteriormente.

Los resultados de este trabajo confirman que los valores de diseño de referencia adoptados por el Reglamento CIRSOC 601 (4) para las principales propiedades estructurales del material estudiado son adecuados para propósitos prácticos relacionados al cálculo estructural. Teniendo en cuenta a su vez la relativamente reducida cantidad de cuerpos de prueba analizados, los resultados alientan la preparación de nuevos proyectos orientados a ampliar la base estadística y de esa manera continuar avanzando en el conocimiento del comportamiento físico-mecánico de este material.

5.2. Conclusiones referidas al objetivo 2. -Determinar el nivel de significación de la diferencia entre las propiedades mecánicas más importantes para el diseño estructural (resistencia y módulo de elasticidad en flexión) y de la densidad, para la madera aserrada del *Pinus taeda* y de *Pinus elliottii*-

Los resultados del análisis estadístico, aplicados a los valores de la resistencia y del módulo de elasticidad, prueban que no puede rechazarse la igualdad entre el comportamiento mecánico de las especies analizadas pues la probabilidad de tomar equivocadamente esa decisión supera el 70%. Consecuentemente (desde un punto de vista estadístico) debe aceptarse que el material obtenido de *Pinus taeda* posee un comportamiento mecánico comparable al exhibido por el *Pinus elliottii*. Estos resultados confirman que es razonable la práctica existente actualmente en el país -y en numerosos otros- de emplear ambas especies como un conjunto ante la dificultad de diferenciar visualmente la madera de ambas luego de aserradas.

Sin embargo, en cuanto a la densidad aparente debe rechazarse la hipótesis de la igualdad entre ambas densidades pues el análisis estadístico indicó que la posibilidad de cometer un error en esa decisión es inferior al 0,5%. En consecuencia, y en particular para este caso, surge como conveniente la ejecución de un nuevo proyecto orientado a confirmar estos resultados, que indicaron en este caso que la madera aserrada de *Pinus taeda* posee una densidad menor que la de *Pinus elliottii*, lo cual puede tener importancia en el diseño de determinadas partes estructurales donde la densidad desarrolla un rol preponderante (como el de las uniones, entre otras).

5.3. Conclusiones referidas al objetivo 3. -Analizar si la ecuación adoptada por el Reglamento CIRSOC 601 (4) para expresar la relación entre la resistencia a flexión y la altura de la viga a través del factor de tamaño ($C_F = (150/d)^{0,2}$) refleja adecuadamente el comportamiento de la madera aserrada de *Pinus taeda* y de *Pinus elliottii*, ambos cultivados en el noreste de Argentina-

Fue posible determinar la tensión de rotura en flexión de las tres muestras conteniendo cuerpos de prueba con diferente altura. Los valores determinados empíricamente -y luego ajustados a la altura de referencia de 150 mm ($F_{m,med150}$) conforme al criterio del Reglamento CIRSOC 601 (1)- mostraron que solamente un grupo de los tres analizados excedió el límite de máxima variabilidad de la resistencia entre muestras que la norma IRAM 9664 (25) establece en un 20%. En consecuencia, y teniendo en cuenta la relativamente reducida base estadística empleada, se puede concluir que los resultados obtenidos no invalidan el criterio adoptado por la norma IRAM 9664 (25) y el Reglamento CIRSOC 601 (4) para considerar la influencia de la altura de la sección transversal sobre la resistencia a flexión en el material estudiado.

5.4. Otras conclusiones.

a) Conclusiones referidas a la presencia de los principales parámetros visuales para una clasificación por resistencia y a su influencia sobre las propiedades mecánicas del material.

➤ Presencia de médula.

Los porcentajes de piezas con presencia de médula fueron importantes y, consecuentemente, es de esperar una disminución de las propiedades mecánicas en una cantidad significativa de piezas de este material estructural. Esta particularidad, que está vinculada a la disminución en la edad de corte de los árboles, se registra actualmente en el ámbito nacional pero también en el internacional y está ocasionada por razones económicas. En consecuencia, es necesario tener en cuenta que la influencia negativa de esta característica es muy probable que continúe en el futuro.

En las tres muestras estudiadas, los resultados mostraron que la presencia de médula estuvo acompañada de una disminución de la tensión de rotura y del módulo de elasticidad. Por su parte, el coeficiente de variación mostró en general menores valores en las piezas con médula, lo cual se traduce en una menor dispersión de valores con respecto al valor medio y, consecuentemente, se atenúa el efecto negativo de este parámetro sobre los valores característicos de las propiedades mecánicas.

➤ Nudosidad.

Este parámetro, de gran influencia sobre las propiedades mecánicas en las especies de coníferas tales como las estudiadas en este trabajo, mostró valores medios y de dispersión similares para ambas especies (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*). Se destaca que aproximadamente el 21% de las tablas investigadas presentó una nudosidad menor a 0,33 (límite superior de la clase 1), en tanto que un 50% exhibió valores comprendidos entre 0,33 y 0,66 (límite superior de la clase 2) y aproximadamente un 29% superó este último límite, las que por lo tanto deberían enviarse a descarte para fines relacionados a la fabricación de madera laminada encolada estructural.

Por su parte, el estudio confirmó que la presencia de este defecto es significativamente mayor que en otras especies forestadas en el país. En particular, para tablas de álamo cultivado en el delta del río Paraná (*Populus deltoides* Australiano 129/60' y `Stoneville 67'), Guillaumet et al. (35) publicaron que el 55% de las tablas presentaron nudosidad menor a 0,33, en tanto que el 42% exhibieron nudosidad

comprendida entre 0,33 y 0,66 y solamente el 3% superó ese valor y consecuentemente se debía considerar como descarte.

Se encontró una correlación negativa entre este parámetro y las propiedades mecánicas de las tablas estudiadas (un incremento de la nudosidad implica una disminución de las propiedades mecánicas), pero con una mayor influencia de este defecto sobre la resistencia que sobre la rigidez. El coeficiente de determinación (R^2) encontrado indica que la nudosidad explica aproximadamente el 29% de la variabilidad de la resistencia en las tablas de ambas especies. A su vez, los resultados del análisis de regresión lineal mostraron que en ninguna de las especies analizadas la nudosidad alcanza a explicar el 15% de la variabilidad del módulo de elasticidad.

➤ **Anillos de crecimiento.**

Esta característica, que en forma indirecta permite valorar la densidad del material, mostró resultados que mayoritariamente -tanto para el *Pinus taeda* como para el *Pinus elliottii*- se ubican dentro de los valores admitidos para la clase 2 (10 y 12,5 mm).

De igual manera que para el caso anterior, se encontró una relación negativa para ambas especies entre el espesor de los anillos de crecimiento y las propiedades mecánicas (un incremento del espesor de los anillos implica una disminución de la densidad y consecuentemente de las propiedades mecánicas). El *Pinus elliottii* presentó una disminución más pronunciada de la tensión de rotura ($R^2 = 0,28$) y del módulo de elasticidad ($R^2 = 0,44$) en función del incremento del espesor de los anillos de crecimiento. Para el *Pinus taeda*, por su parte, los correspondientes valores fueron $R^2 = 0,13$ y $R^2 = 0,31$.

b) Conclusiones referidas a la experiencia que significó la realización del proyecto final.

Queremos destacar la importancia que tuvo para nosotras participar de un proyecto de investigación que nos permitió conocer en profundidad la importancia que tiene la búsqueda de nuevos conocimientos -en este caso referidos al comportamiento estructural de dos especies de madera- que luego son transferidos en forma directa para su aplicación por parte de los proyectistas estructurales. La rigurosidad que fue necesario

mantener en las determinaciones experimentales, el marco conceptual que fue necesario analizar, el análisis de los resultados y la vinculación entre las etapas del proyecto nos hizo comprender la importancia del aporte de la universidad en temáticas que no pueden ser abordadas por los profesionales pero que en definitiva favorecen el ejercicio de la profesión pues aportan confiabilidad al diseño estructural con este material.

Por último resta agregar que otro de los aspectos de fundamental importancia que se pudo comprobar son los beneficios del trabajo en equipo, valorando el aporte de cada integrante, lo cual genera mejores ideas, multiplicando los resultados y dividiendo el esfuerzo.

BIBLIOGRAFÍA

(1) IRAM 9670 (2002) 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. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

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

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

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

(5) Bosques de cultivo. Asociación Forestal Argentina (AFOA), Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://afoa.org.ar/bosques_en_argentina_detalle.php?p=41>. Acceso el 01/04/2014.

(6) Técnica Regional de la Dirección de Producción Forestal del MAGyP para Misiones, Ing. Marina D'Angelo. NEA Misiones Forestal. Disponible en <<http://neamisionesforestal.blogspot.com.ar/2013/12/las-areas-sig-y-promocion-de-la.html>>. Acceso el 08/02/2014.

(7) Hugo E. Fassola. El cultivo de pino taeda en Misiones y NE de Corrientes, Argentina. Disponible en <<http://www.docstoc.com/docs/44581313/El-cultivo-de-pino-taeda-en-Misiones-y-NEde>>. Acceso el 06/02/2014.

- (8) Miguel Hanono (2001). Construcción en madera. Bariloche, Río Negro, Argentina.
- (9) Silvia Monteoliva (2010). La madera como material: estructura anatómica y propiedades. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. Disponible en <<http://www.cavila.unlp.edu.ar/>>. Acceso el 30/05/2014.
- (10) Estructura de la madera a la observación macroscópica. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales-Universidad Nacional de Misiones. Disponible en <<http://www.aulavirtualexactas.dyndns.org/claroline/backends/download.php?url=L01hZGVyYV9wdWxwYV95X3BhcGVsL01hY3Jvc2Nvc01hLnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=INDEPa643>>. Acceso el 29/01/2014.
- (11) Dendrología- Anatomía de la madera. Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay. Disponible en <http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp//materiales/2010/01Quimicay_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera.pdf>. Acceso el 28/01/2014.
- (12) IRAM 9502 (1977) Madera. Definiciones. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.
- (13) Madera Generalidades. AITIM- Asociación de investigación técnica de las industrias de la madera, Madrid, España. Disponible en <http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_2_Maderageneral.pdf>. Acceso el 28/01/2014.
- (14) Dr. Carlos A. Gracia, Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. Disponible en <http://www.ub.edu/ecologia/Carlos.Gracia/PublicacionesPDF/La_madera.pdf>. Acceso el 29/01/2014.
- (15) Juan C. Piter (2003). Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el Eucalyptus grandis de Argentina.

Disponible en < <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1344/2 - Clasificaci%C3%B3n por resistencia y caracter%C3%ADsticas del E. grandis.pdf?sequence=4>>.

Acceso el 05/02/2014.

(16) Diccionario de tipos de madera. Disponible en <<http://www.portobellostreet.es/secciones/maderas.asp>>. Acceso el 05/02/2014.

(17) Félix Martinuzzi. Fichas técnicas de maderas. Pino taeda/ Pino elliotti. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Disponible en <<http://www.inti.gob.ar/maderaymueblespdf/caracterizacionmaderas/PINOTAEDA.pdf>>; <<http://www.inti.gob.ar/maderaymueblespdf/caracterizacionmaderas/PINOELLIOTTI.pdf>>. Acceso el 16/07/2014.

(18) Eduardo O. Coronel (Diciembre 1994). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, 1era parte: Fundamento de las propiedades físicas de las maderas. Santiago del Estero, Argentina.

(19) Juan C. Piter, Raúl L. Zerbino (Abril 2001). La madera como material estructural. Argentina.

(20) EN 1995-1-1 (2005) Eurocódigo 5: Diseño de Estructuras de Madera. Comité Europeo de Estandarización. Bruselas, Bélgica.

(21) NBR 7190 (1997) Projeto de estruturas de madeira. ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil.

(22) NDS (2005) National Design Specification for Wood Construction. American Forest & Paper Association Inc.

(23) IRAM 9663-1 (2011) Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

(24) EN 408 (1995) Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. CEN Comité Europeo de Normalización.

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

(26) EN 384 (1995) Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. CEN Comité Europeo de Normalización.

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

(28) Eduardo O. Coronel (Octubre 1995). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, 2da parte: Fundamento de las propiedades mecánicas de la madera. Santiago del Estero, Argentina.

(29) Chan Martín M. A., Araujo Molina A., Azueta García M. (2002) Los defectos naturales en la madera aserrada. Art. de divulgación. Revista académica Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán. México.

(30) IRAM 9560 (1981) Piezas de madera. Criterios de evaluación de defectos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

(31) Botto, Eduardo N., Andorno Andrea V., Cuello Eliana M., y Carmen, M.

Hernández. Invasiones biológicas y plagas forestales: Análisis de su situación actual en la argentina. Disponible en <http://www.congresoforestal.org.ar/ponencias/presentaciones_orales/450.pdf>. Acceso el 08/02/2014.

(32) Estudio Agroforestal. Ingenieros Agrónomos. Disponible en <[http://www. Estudioagroforestal.com.ar/bichario/descortezador.html](http://www.Estudioagroforestal.com.ar/bichario/descortezador.html)>. Acceso 09/02/2014.

(33) Fotofaunacieza. Disponible en <<http://fotofaunacieza.blogspot.com.ar/>>. Acceso el 09/02/2014.

(34) IRAM 9532 (1963) Maderas. Método de determinación del contenido de humedad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.

(35) Guillaumet A.; Acuña Rello L.; Piter J. (2014) Evaluación del rendimiento de las tablas de *Populus deltoides* `Australiano 129/60` y `Stoneville 67` para la fabricación de vigas laminadas encoladas. IV Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina-Jornadas de Salicáceas 2014, organizado por la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, la Comisión Nacional del Álamo y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La Plata, 19 al 21 de marzo de 2014. Publicado completo en CD ROM en 8 pág. pdf.

(36) IRAM 9662 (2006). Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 1: Tablas de Pino Paraná (*Araucaria angustifolia*). Parte 2: Tablas de eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*). Parte 3: Tablas de Pino taeda y elliotti (*Pinus taeda* y *elliottii*). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.



ANEXO.

Anexo N° 2

2.A. Clase 1 – Muestra 1 (sección 100 x 25 mm).

Identificación de la Tabla	MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
6E 02 f(1)	66,4	16003	654
6E 08 f(1)	34,7	9134	459
6E 16 f(1)	27,2	9146	466
6E 22 f(1)	23,2	6303	488
6E 24 f(1)	62,5	15253	711
6E 26 f(1)	32,9	7711	456
6E 27 f(1)	39,3	10052	582
6E 30 f(1)	41,5	7975	506
6E 39 f(1)	45,4	13887	593
6E 12 f(2)	31,3	8340	457
6E 16 f(2)	40,8	9689	489
6E 29 f(2)	53,6	12863	632
6E 30 f(2)	39,7	10008	492
6E 39 f(2)	32,7	11626	673
6E 49 f(2)	54,4	13134	694
1T 09 f(1)	35,6	12580	553
1T 11 f(1)	34,2	9830	434
1T 21 f(1)	44,1	10864	514
1T 45 f(1)	43,3	10614	529
1T 09 f(2)	66,4	14876	584
1T 19 f(2)	39,7	6360	441
1T 39 f(2)	39,9	9791	490
Mínimo	23,19	6303	434
Máximo	66,42	16003	711
Media	42,22	10729	541
s	11,86	2760	87
COV	0,28	0,26	0,16
n	22	22	22

2.B Clase 2 - Muestra 1 (sección 100 x 25 mm).

Identificación de la Tabla	MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
6E 01 f(1)	35,8	7233	446
6E 05 f(1)	27,1	5805	416
6E 06 f(1)	33,1	7665	468
6E 07 f(1)	41,3	7860	445
6E 09 f(1)	31,0	4997	485
6E 10 f(1)	28,4	5535	409
6E 11 f(1)	19,7	5393	458
6E 12 f(1)	19,9	6178	436
6E 13 f(1)	33,4	4872	476
6E 14 f(1)	33,2	5984	514
6E 15 f(1)	24,8	4881	443
6E 17 f(1)	32,8	6955	440
6E 19 f(1)	28,9	5037	442
6E 23 f(1)	25,1	8510	484
6E 25 f(1)	14,3	3476	415
6E 28 f(1)	28,0	4437	512
6E 33 f(1)	17,2	4468	403
6E 35 f(1)	25,9	3050	436
6E 36 f(1)	17,3	4001	416
6E 37 f(1)	35,2	7005	576
6E 40 f(1)	23,6	4841	449
6E 42 f(1)	27,8	8328	639
6E 43 f(1)	23,4	5180	506
6E 46 f(1)	44,6	9782	571
6E 48 f(1)	23,8	6180	438
6E 49 f(1)	24,9	7155	512
6E 01 f(2)	43,6	9297	493
6E 04 f(2)	16,3	4206	409
6E 05 f(2)	37,7	5022	446
6E 06 f(2)	34,9	6912	444
6E 08 f(2)	27,6	8135	453
6E 10 f(2)	15,0	3642	440
6E 11 f(2)	32,0	4072	496
6E 13 f(2)	25,5	5788	446
6E 15 f(2)	26,9	5058	439
6E 17 f(2)	35,7	7347	455
6E 18 f(2)	26,0	8352	561
6E 19 f(2)	36,2	4898	456
6E 20 f(2)	33,9	8137	472

2.B Clase 2 - Muestra 1 (sección 100 x 25 mm). (Continuación)

Identificación de la Tabla	MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
6E 22 f(2)	23,0	6970	452
6E 27 f(2)	16,8	6094	574
6E 37 f(2)	31,3	3839	503
6E 40 f(2)	28,5	7843	514
6E 42 f(2)	58,8	9123	630
6E 43 f(2)	40,5	7894	496
6E 46 f(2)	26,2	7734	567
6E 48 f(2)	25,6	6886	450
1T 02 f(1)	23,1	8261	484
1T 03 f(1)	41,0	8602	471
1T 04 f(1)	33,4	8667	449
1T 06 f(1)	20,3	5940	443
1T 07 f(1)	25,7	7397	494
1T 12 f(1)	28,2	7601	425
1T 13 f(1)	36,9	10097	505
1T 14 f(1)	31,1	8887	405
1T 15 f(1)	32,0	8771	412
1T 16 f(1)	26,7	8472	443
1T 19 f(1)	24,7	4111	442
1T 20 f(1)	59,8	12375	534
1T 26 f(1)	22,1	8137	425
1T 28 f(1)	26,4	8546	538
1T 29 f(1)	18,0	2328	333
1T 31 f(1)	31,1	8480	514
1T 32 f(1)	27,6	5293	420
1T 33 f(1)	23,8	5112	481
1T 39 f(1)	21,5	4895	471
1T 41 f(1)	30,6	7004	411
1T 42 f(1)	30,1	5004	461
1T 43 f(1)	31,4	8291	433
1T 46 f(1)	22,5	3570	350
1T 49 f(1)	23,4	4564	361
1T 03 f(2)	18,3	6469	424
1T 04 f(2)	19,7	6486	418
1T 06 f(2)	47,7	12916	525
1T 07 f(2)	36,2	8952	485
1T 10 f(2)	36,6	9543	474
1T 11 f(2)	15,4	3047	443
1T 12 f(2)	18,5	7006	422
1T 14 f(2)	30,9	8076	400

2.B Clase 2 - Muestra 1 (sección 100 x 25 mm). (Continuación)

Identificación de la Tabla	MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
1T 16 f(2)	32,1	8077	433
1T 17 f(2)	31,3	9039	494
1T 20 f(2)	25,7	9143	548
1T 21 f(2)	23,4	4591	511
1T 22 f(2)	24,7	6541	346
1T 24 f(2)	45,0	10175	477
1T 26 f(2)	18,8	5528	401
1T 27 f(2)	34,9	6207	427
1T 31 f(2)	29,8	5423	445
1T 32 f(2)	22,0	5179	391
1T 33 f(2)	47,2	8596	550
1T 34 f(2)	36,0	7369	542
1T 41 f(2)	29,0	7678	405
1T 42 f(2)	24,0	8181	432
1T 43 f(2)	30,6	8518	485
1T 49 f(2)	31,0	8812	389
1T 50 f(2)	38,1	6903	496
Mínimo	14,28	2328	333
Máximo	59,78	12916	639
Media	29,17	6780	464
s	8,64	2036	57
COV	0,30	0,30	0,12
n	96	96	96

2.C Descarte - Muestra 1 (sección 100 x 25 mm).

Identificación de la Tabla	MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
6E 03 f(1)	17,0	4072,7	446,9
6E 04 f(1)	19,6	5000,9	356,5
6E 18 f(1)	28,1	7080,7	661,5
6E 20 f(1)	27,5	7643,3	467,9
6E 21 f(1)	14,4	4485,3	411,2
6E 29 f(1)	20,7	5773,2	496,4
6E 31 f(1)	32,3	6004,7	432,4
6E 32 f(1)	20,1	3031,3	421,0
6E 34 f(1)	24,7	4334,0	435,3
6E 38 f(1)	16,8	4174,5	418,2
6E 41 f(1)	16,2	3990,8	381,6
6E 44 f(1)	21,9	4765,6	454,4
6E 45 f(1)	32,5	5865,1	471,5
6E 47 f(1)	31,0	5073,5	506,7
6E 50 f(1)	21,0	4253,0	477,7
6E 02 f(2)	31,7	9521,6	692,1
6E 03 f(2)	19,7	4164,9	434,8
6E 07 f(2)	37,6	7070,4	463,3
6E 09 f(2)	21,8	3967,2	519,0
6E 14 f(2)	25,8	4921,5	383,3
6E 21 f(2)	33,8	7140,1	449,5
6E 23 f(2)	24,9	5472,3	410,1
6E 24 f(2)	39,1	5832,0	533,9
6E 25 f(2)	16,7	3779,3	397,3
6E 26 f(2)	17,1	4952,5	408,1
6E 28 f(2)	24,8	5083,0	451,8
6E 31 f(2)	16,1	4956,7	415,5
6E 32 f(2)	13,8	3039,5	410,4
6E 33 f(2)	13,1	3659,7	374,4
6E 34 f(2)	15,6	3807,5	458,4
6E 35 f(2)	19,1	5182,9	439,4
6E 36 f(2)	32,3	4369,0	493,6
6E 38 f(2)	13,7	3793,9	474,5
6E 41 f(2)	18,7	3736,3	420,1
6E 44 f(2)	28,8	5954,7	478,5
6E 45 f(2)	32,1	4237,0	494,6
6E 47 f(2)	16,3	4670,7	431,4
6E 50 f(2)	18,8	3880,5	427,3

2.C Descarte - Muestra 1 (sección 100 x 25 mm). (Continuación)

Identificación de la Tabla	MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
6E 03 f(1)	17,0	4073	447
6E 04 f(1)	19,6	5001	356
6E 18 f(1)	28,1	7081	662
6E 20 f(1)	27,5	7643	468
6E 21 f(1)	14,4	4485	411
6E 29 f(1)	20,7	5773	496
6E 31 f(1)	32,3	6005	432
6E 32 f(1)	20,1	3031	421
6E 34 f(1)	24,7	4334	435
6E 38 f(1)	16,8	4175	418
6E 41 f(1)	16,2	3991	382
6E 44 f(1)	21,9	4766	454
6E 45 f(1)	32,5	5865	472
6E 47 f(1)	31,0	5073	507
6E 50 f(1)	21,0	4253	478
6E 02 f(2)	31,7	9522	692
6E 03 f(2)	19,7	4165	435
6E 07 f(2)	37,6	7070	463
6E 09 f(2)	21,8	3967	519
6E 14 f(2)	25,8	4922	383
6E 21 f(2)	33,8	7140	450
6E 23 f(2)	24,9	5472	410
6E 24 f(2)	39,1	5832	534
6E 25 f(2)	16,7	3779	397
6E 26 f(2)	17,1	4953	408
6E 28 f(2)	24,8	5083	452
6E 31 f(2)	16,1	4957	416
6E 32 f(2)	13,8	3039	410
6E 33 f(2)	13,1	3660	374
6E 34 f(2)	15,6	3807	458
6E 35 f(2)	19,1	5183	439
6E 36 f(2)	32,3	4369	494
6E 38 f(2)	13,7	3794	475
6E 41 f(2)	18,7	3736	420
6E 44 f(2)	28,8	5955	478
6E 45 f(2)	32,1	4237	495
6E 47 f(2)	16,3	4671	431
6E 50 f(2)	18,8	3881	427
1T 01 f(1)	16,0	3382	508
1T 05 f(1)	25,6	5879	436
1T 08 f(1)	21,6	4655	406

2.C Descarte - Muestra 1 (sección 100 x 25 mm). (Continuación)

Identificación de la Tabla	MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
1T 10 f(1)	26,3	8831	447
1T 17 f(1)	28,3	3472	411
1T 18 f(1)	35,7	8129	563
1T 22 f(1)	29,8	6455	380
1T 23 f(1)	16,6	4728	431
1T 24 f(1)	23,1	5573	443
1T 25 f(1)	16,7	2747	445
1T 27 f(1)	21,8	6481	400
1T 30 f(1)	24,7	5678	436
1T 34 f(1)	26,4	6515	439
1T 35 f(1)	21,6	3044	410
1T 36 f(1)	15,5	1859	409
1T 37 f(1)	24,7	8042	408
1T 38 f(1)	22,9	3933	409
1T 40 f(1)	24,5	5928	411
1T 44 f(1)	25,7	4814	401
1T 47 f(1)	30,0	6591	425
1T 48 f(1)	34,7	5518	453
1T 50 f(1)	36,7	4403	475
1T 01 f(2)	26,5	2009	450
1T 02 f(2)	30,0	4389	492
1T 05 f(2)	18,5	4812	520
1T 08 f(2)	39,0	5480	440
1T 13 f(2)	15,4	2783	441
1T 15 f(2)	31,5	6001	374
1T 18 f(2)	25,4	5723	488
1T 23 f(2)	19,9	4764	425
1T 25 f(2)	18,8	3031	446
1T 28 f(2)	20,5	4251	378
1T 29 f(2)	20,4	7711	454
1T 30 f(2)	27,6	4624	468
1T 35 f(2)	12,0	4037	410
1T 36 f(2)	16,6	3552	482
1T 37 f(2)	19,6	4720	407
1T 38 f(2)	24,6	5938	424
1T 40 f(2)	26,1	5563	393
1T 44 f(2)	22,0	5229	399
1T 45 f(2)	34,5	3822	509

2.C Descarte - Muestra 1 (sección 100 x 25 mm). (Continuación)

Identificación de la Tabla	MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
1T 46 f(2)	22,5	5664	336
1T 47 f(2)	24,2	5150	452
1T 48 f(2)	22,8	5097	430
Mínimo	12,01	1859	336
Máximo	39,09	9522	692
Media	23,69	4997	445
s	6,68	1464	56
COV	0,28	0,29	0,13
n	81	81	81

Anexo Nº 3

3.A Grado 1 – Muestra 2 (sección 50 x 100 mm) y Muestra 3 (sección 50 x 150 mm).

Identificación de la Viga		MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
Muestra 2	7E 06 f	53,3	9114	460
	7E 19 f	56,8	9631	620
	2T 04 f(2)	61,8	11566	645
	2T 07 f	51,5	12292	600
	2T 13 f(1)	32,8	9908	612
	2T 13 f(2)	68,9	11532	616
	2T 18 f	60,0	14079	605
	Mínimo	32,8	9114	460
	Máximo	68,9	14079	645
	Media	55,0	11160	594
	s	11,36	1741	61
	COV	0,21	0	0
	n	7	7	7
Muestra 3	8E 08 f	87,9	13621	724
	8E 16 f	42,0	12181	582
	8E 17 f	51,6	14665	693
	8E 19 f	41,6	8741	624
	8E 21 f	27,9	10362	532
	3T 02 f	25,9	8968	449
	3T 04 f	42,0	11304	567
	Mínimo	25,9	8741	449
	Máximo	87,9	14665	724
	Media	45,6	11406	596
	s	20,69	2246	94
	COV	0,45	0,20	0,16
	n	7	7	7

3.B.1 Grado 2 – Muestra 2 (sección 50 x 100 mm).

Identificación de la Viga		MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
Muestra 2	7E 02 f	35,1	7600	476
	7E 03 f	57,5	10996	514
	7E 08 f	28,3	4241	417
	7E 09 f	44,0	10065	537
	7E 10 f	39,9	10057	534
	7E 13 f	42,5	10625	525
	7E 14 f	35,0	9871	523
	7E 15 f	42,0	5018	534
	7E 16 f	37,8	12099	501
	7E 17 f	36,8	7548	425
	7E 18 f	43,5	12826	557
	7E 20 f	51,4	7614	584
	7E 22 f	40,5	7202	514
	7E 23 f	32,6	6951	469
	7E 24 f	36,7	9624	517
	7E 25 f	36,2	6978	560
	2T 01 f	32,2	10258	560
	2T 02 f	41,1	11111	505
	2T 06 f(2)	35,2	10528	472
	2T 08 f(1)	63,5	11992	582
	2T 08 f(2)	75,9	10906	693
	2T 09 f(1)	52,6	10374	592
	2T 10 f(1)	40,9	4319	619
	2T 10 f(2)	58,0	8675	480
	2T 11 f(1)	37,8	5961	510
	2T 12 f	21,1	11812	483
	2T 14 f(1)	57,0	9181	663
	2T 16 f(1)	26,2	8250	415
	2T 19 f(1)	20,5	9914	570
	2T 21 f	52,2	12463	568
	2T 23 f	22,0	10263	503
	2T 24 f(1)	42,5	12843	730
	2T 24 f(2)	38,5	13172	688
	2T 25 f	41,5	12166	531
Mínimo	20,5	4241	415	
Máximo	75,9	13172	730	
Media	41,1	9515	540	
s	12,09	2465	75	
COV	0,29	0,26	0,14	
n	34	34	34	

3.B.2 Grado 2 – Muestra 3 (sección 50 x 150 mm).

Identificación de la Viga		MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
Muestra 3	8E 06 f	53,7	12729	639
	8E 10 f	31,5	11346	489
	8E 11 f	59,2	12592	638
	8E 12 f	14,3	9010	533
	8E 15 f	54,4	14414	631
	3T 03 f	37,4	5363	514
	3T 11 f	29,2	10499	482
	3T 13 f	37,4	11114	467
	3T 15 f	17,1	9858	525
	3T 21 f	23,1	8013	426
	3T 25 f	44,8	11858	594
	Mínimo	14,3	5363	426
	Máximo	59,2	14414	639
	Media	36,6	10618	540
	s	15,26	2503	75
COV	0,42	0,24	0,14	
n	11	11	11	

3.C.1 Descarte – Muestra 2 (sección 50 x 100 mm).

Identificación de la Viga		MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
Muestra 2	7E 01 f	31,7	5172	453
	7E 04 f	38,9	8118	494
	7E 05 f	32,4	7672	476
	7E 07 f	36,1	6009	490
	7E 11 f	34,8	4704	437
	7E 12 f	11,6	5868	560
	7E 21 f	29,6	7387	535
	2T 03 f	28,3	8961	544
	2T 04 f(1)	52,8	12101	655
	2T 05 f	28,1	7352	457
	2T 06 f(1)	15,4	8047	462
	2T 09 f(2)	8,1	4319	609
	2T 11 f(2)	27,7	7410	415

3.C.1 Descarte – Muestra 2 (sección 50 x 100 mm). (Continuación)

Identificación de la Viga		MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
Muestra 2	2T 14 f(2)	13,0	5176	583
	2T 15 f	29,1	8578	434
	2T 16 f(2)	41,9	8772	473
	2T 17 f(1)	54,7	7608	608
	2T 17 f(2)	33,1	7087	566
	2T 19 f(2)	9,3	7615	555
	2T 20 f(1)	17,6	11174	575
	2T 20 f(2)	35,0	12671	647
	2T 22 f(1)	22,5	6945	429
	2T 22 f(2)	20,8	6682	469
	Mínimo	8,1	4319	415
	Máximo	54,7	12671	655
	Media	28,4	7627	519
	s	12,52	2148	73
	COV	0,44	0,28	0,14
n	23	23	23	

3.C.2 Descarte – Muestra 3 (sección 50 x 150 mm).

Identificación de la Viga		MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
Muestra 3	8E 01 f	49,6	7309	539
	8E 02 f	28,5	6420	581
	8E 03 f	18,3	6029	514
	8E 04 f	38,9	9050	506
	8E 05 f	51,6	10742	441
	8E 07 f	23,9	10394	505
	8E 09 f	20,5	6591	499
	8E 13 f	32,3	7572	463
	8E 14 f	28,5	8718	588
	8E 18 f	23,2	5894	448
	8E 20 f	31,7	11715	588
	8E 22 f	10,1	10429	589
	8E 23 f	40,8	10191	528
	8E 24 f	28,9	8616	507
	8E 25 f	34,2	8649	541

3.C.2 Descarte – Muestra 3 (sección 50 x 150 mm). (Continuación)

Identificación de la Viga		MOR corregido	MOEG corregido	Densidad corregida
Muestra 3	3T 01 f	22,3	8439	474
	3T 05 f	15,5	10290	473
	3T 06 f	12,3	8426	472
	3T 07 f	16,8	8672	445
	3T 08 f	16,2	6567	486
	3T 09 f	11,9	7236	516
	3T 10 f	22,7	8762	456
	3T 12 f	42,3	8875	447
	3T 14 f	53,3	7414	533
	3T 16 f	21,9	6896	436
	3T 17 f	12,3	7695	396
	3T 18 f	14,2	6892	386
	3T 19 f	26,8	8062	430
	3T 20 f	18,3	7590	468
	3T 22 f	28,1	6586	469
	3T 23 f	40,0	10593	522
	3T 24 f	24,8	8100	458
	Mínimo	10,1	5894	386
	Máximo	53,3	11715	589
	Media	26,9	8294	491
s	11,91	1531	53	
COV	0,44	0,18	0,11	
n	32	32	32	