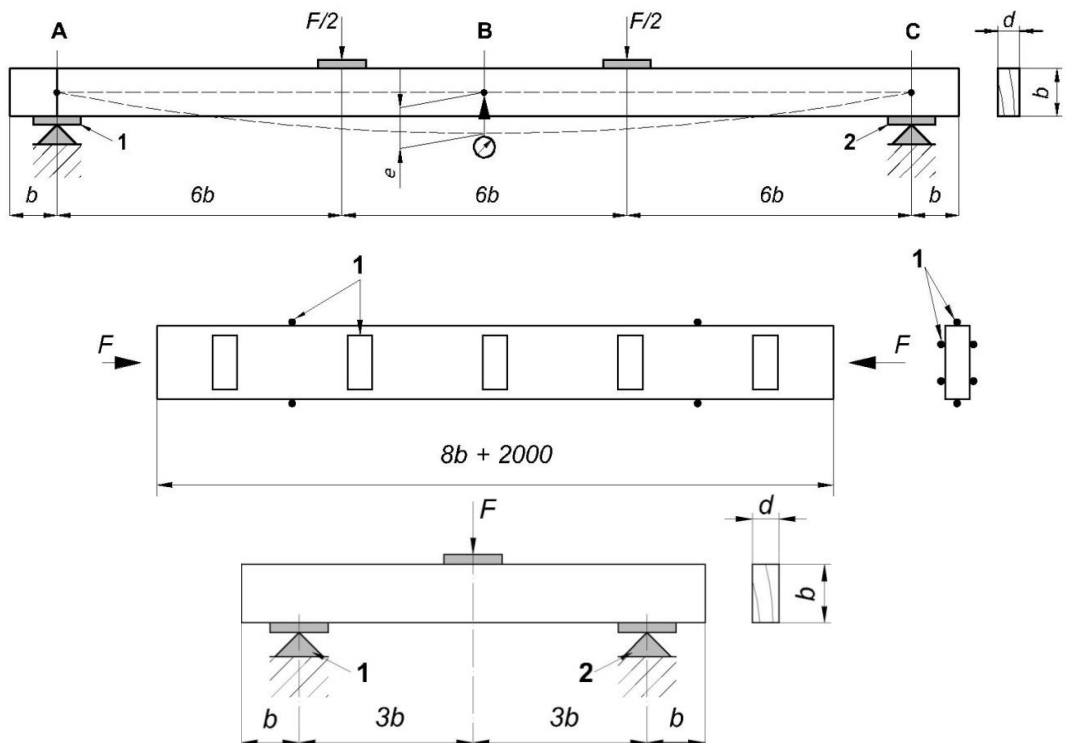


TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA DE PINO RADIATA PROVENIENTE DE LA REGIÓN DEL MAULE



TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA DE PINO RADIATA PROVENIENTE DE LA REGIÓN DEL MAULE¹

Vásquez, Luis ²; Elgueta, Patricio ³; Hernández, Gonzalo ⁴;
Campos, Raúl ⁵; Catalán, Jorge ⁶ y Reyes, Cristian ⁷

**INSTITUTO FORESTAL
2017**

¹ Investigación financiada por Convenio MINAGRI-INFOR 2017.

² Instituto Forestal, Sede Bio Bio. luis.vasquez@infor.cl

³ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. patricio.elgueta@infor.cl

⁴ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. gonzalo.hernandez@infor.cl

⁵ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. raul.campos@infor.cl

⁶ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. jorge.catalan@infor.cl

⁷ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. cristian.reyes@infor.cl



INSTITUTO FORESTAL
Sucre 2397 Ñuñoa
Santiago. Chile
Tel. 56 2 23667115
www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-138-8
Registro de Propiedad Intelectual N° A-286845

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Vásquez, Luis; Elgueta, Patricio; Hernández, Gonzalo; Campos, Raúl y Catalán, Jorge, 2017.
Tensiones Admisibles de la Madera de Pino Radiata Proveniente de la Región del Maule. Instituto Forestal. Chile. Informe Técnico N° 216. P. 26.

PRÓLOGO

El anuario forestal 2017, elaborado por INFOR, señala que al año 2016 la superficie de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.) a nivel nacional alcanzó los 1,4 millones de hectáreas y una producción anual de madera aserrada cercana a los 8 millones de metros cúbicos, que corresponde al 96% de la producción nacional.

En el caso de la región del Maule las cifras corresponden a 0,38 millones de hectáreas, con una producción de madera aserrada de aproximadamente dos millones de metros cúbicos, lo que le da una participación del 24% de la producción nacional.

En estas cifras se fundamenta la necesidad de actualizar valores de propiedades físicas y mecánicas de esta especie para el Maule y complementarlas con el resto de las regiones obteniendo las tensiones admisibles en el espectro nacional.

El presente estudio permitió caracterizar los grados visuales (GS, G1, G2) de una muestra representativa de madera aserrada de pino radiata proveniente de la región del Maule y ajustar los parámetros de una máquina que clasifica grados mecánicos C16 y C24.

Los ensayos físicos y mecánicos fueron realizados en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), laboratorio que cuenta con la acreditación de su sistema de gestión basado en la norma ISO 17025, lo que permite el reconocimiento de sus resultados a nivel nacional e internacional.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MATERIAL Y MÉTODO	1
2.1.	Madera.....	1
2.2.	Clasificación Visual	1
2.3.	Ensayos Físicos y Mecánicos	2
2.3.1.	Resistencia y Rigidez en Flexión.....	3
2.3.2.	Resistencia a la Tracción Paralela a las Fibras	4
2.3.3.	Resistencia a la Compresión Paralela a las Fibras	6
2.3.4.	Resistencia al Cizalle Paralelo a las Fibras	7
2.3.4	Resistencia a la Compresión Normal a la Fibra.....	8
2.3.5.	Densidad	10
2.4.	Determinación de los Valores Admisibles	11
2.5.	Ajuste de Parámetros para Equipo Clasificador de Grados Mecánicos C16 y 24	13
2.5.1.	Determinación del SETTING.....	15
3.	RESULTADOS	17
3.1.	Clasificación Visual Estructural.....	17
3.2.	Ensayos Físicos y Mecánicos	17
3.3.	Registro de Fallas en los Ensayos Mecánicos	20
3.4.	Valores Admisibles	23
3.5.	Valores de SETTING.....	24
3.6.	Rendimientos de Clasificación de los Grados Mecánicos C16 y C24	25
4.	CONCLUSIONES	25
5.	REFERENCIAS	26

1. INTRODUCCIÓN

La madera de plantaciones forestales es un material que evoluciona debido a la silvicultura cada vez más intensiva que se aplica en su manejo y a los programas de mejoramiento genético en desarrollo, y esto hace necesario actualizar y controlar sus propiedades físicas y mecánicas.

El diseño estructural requiere de información confiable de la resistencia de los materiales con los que se construye y por esto es preciso actualizar los valores de tensiones admisibles de la madera, dada la conveniencia de promover su uso por su carácter de recurso sustentable.

El presente trabajo busca complementar la información del catastro nacional de grados estructurales para esta especie, aportando con los datos de una muestra extraída de la región del Maule. Cabe señalar que en el año 2016 se efectuaron ensayos mecánicos que caracterizaron la madera de pino radiata de la región del Bio Bio, estudio que generó la publicación correspondiente (Hernández *et al.*, 2016).

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Madera

La madera de pino radiata (*Pinus radiata* D.DON) utilizada en el presente estudio proviene del aserradero Las Cañas, perteneciente a CMPC⁸, cerca de la ciudad de Constitución en la región del Maule. El total de la muestra fue de 1.400 piezas.

2.2. Clasificación Visual

La norma chilena NCh 1207 (INN, 2005) señala que la madera debe presentar un contenido de humedad menor o igual al 19%, estableciendo los siguientes grados de calidad:

- Grado Estructural Selecto (GS): Corresponde a piezas de gran capacidad resistente. Su aplicación usual es en elementos sometidos a grandes solicitaciones.
- Grado Estructural N°1 (G1): Corresponde a piezas adecuadas para ser utilizadas en tipologías constructivas normales. Adecuado para envigados, pisos y entramados de techumbre.
- Grado Estructural N°2 (G2): Corresponde a piezas de moderada capacidad resistente. Adecuado para entramados de muros estructurales.

Los límites admisibles para tamaño de nudos (concepto de razón área nudosa), inclinación de fibra, médula, arista faltante, bolsillos de resina y de corteza, fisuras, y alabeos; según NCh 1207 (INN, 2005), se pueden observar en el Cuadro N° 1.

⁸ Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones

Cuadro N° 1
LIMITES ADMISIBLES DE DEFECTOS DE LA MADERA SEGÚN NCh 1207

Defectos		Grados Visuales					
		GS		G1		G2	
Nudos		Sin CB	Con CB	Sin CB	Con CB	h ≤ 150 mm	h > 150 mm
RANB		≤ 50%	≥ 50%	≤ 50%	≥ 50%	Sin Restricción	Sin Restricción
RANT		≤ 33%	≤ 20%	≤ 50%	≤ 33%	≤ 66%	≤ 50%
RANI		-	-	-	-	≤ 50%	≤ 33%
RANNA		No se Acepta	No se Acepta	≤ 25%	≤ 25%	≤ 33%	≤ 33%
Inclinación de fibra		1:8		1:6		1:6	
Médula		No se Acepta		a) Longitud: Se acepta de hasta 12 mm de ancho. Se aceptará de forma puntual hasta 18 mm de ancho en tramos no superiores a 100 mm. b) Posición: La médula se debe encontrar en la mitad del ancho.		Se acepta sin restricción	
Arista faltante en todo el largo		El canto muerto no puede ser mayor a un cuarto del ancho y a un cuarto del espesor de la pieza					
Bolsillos de resina y corteza		Acepta bolsillos de hasta 20 mm de ancho y 200 mm de largo, o superficie equivalente					
Fisuras	Grietas	Se ignoran si su profundidad es menor a 10 mm					
		Acepta largos de hasta ¼ del largo de la pieza, con un tope de 600 mm		Acepta largos de hasta ¼ del largo de la pieza, con un tope de 900 mm			
	Rajaduras	Se acepta no más de una rajadura					
		Se acepta en extremos y de largo menor o igual al espesor de la pieza		Se acepta de largo menor o igual a 600 mm; o en los extremos y de largo menor o igual a 1,5 veces el espesor de la pieza			

CB: Condición de borde; h: ancho de la pieza

2.3. Ensayos Físicos y Mecánicos

Se realizaron ensayos mecánicos de madera cepillada de pino radiata bajo diferentes disposiciones de carga, como son la resistencia y rigidez en flexión, resistencia a la tracción paralela a las fibras, la resistencia a la compresión paralela a las fibras, y la resistencia al cizalle paralelo. Además se determinó la densidad y contenido de humedad de cada muestra de madera ensayada.

Todos los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), bajo las especificaciones de la norma chilena NCh 3028/1 (INN, 2006).

La determinación de la humedad se realizó mediante xilohigrómetros portátiles calibrados bajo la norma chilena NCh 2827(INN, 2003).

2.3.1. Resistencia y Rigidez en Flexión

El esquema de ensayo de resistencia y rigidez en flexión se muestra en la Figura N° 1. La luz de ensayo corresponde a 18 veces el ancho de la probeta. La carga aplicada en los extremos del tercio central equivale a $F/2$. Se debe elegir al azar un canto de la probeta como canto flexo-traccionado.

En la Figura N° 2 se observa la aplicación de un ensayo para medir la resistencia y rigidez en flexión, donde se puede apreciar la utilización de restricciones laterales para impedir el volcamiento de la pieza, apoyos móviles y un cilindro hidráulico para la aplicación de la carga.

El ensayo consiste en medir la carga aplicada, junto con medir el desplazamiento del eje neutro de la probeta en el centro de la luz.

De este ensayo se determina el módulo de elasticidad (E) y la tensión de rotura en flexión (f_m), los cuales se calculan de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

$$E = \frac{23}{108} \left(\frac{L}{b}\right)^3 \left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right) \frac{1}{d} \quad (1)$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad en flexión (MPa).
L : Luz del ensayo (mm).
d : Espesor de la pieza de madera (mm).
b : Ancho de la pieza de madera (mm).
 $\left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right)$: Pendiente de la recta, prolongada del rango elástico de la curva carga-desplazamiento, que se forma de los datos tomados entre el 10% y 40% de la carga máxima.

$$f_m = \frac{F_{m\acute{a}x}L}{bd^2} \quad (2)$$

Donde:

f_m : Resistencia en flexión (MPa).
 $F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima (N).
L : Luz del ensayo (mm).
d : Espesor de la pieza de madera (mm).
b : Ancho de la pieza de madera (mm).

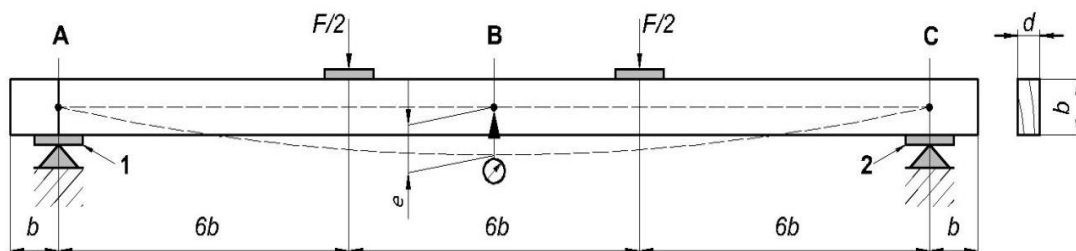


Figura N° 1
ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN SEGÚN NCh 3028/1



Figura N° 2
APLICACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN SEGÚN NCh 3028/1

2.3.2. Resistencia a la Tracción Paralela a las Fibras

El esquema de carga aplicada en el ensayo de tracción paralela a las fibras se registra en la Figura N° 3. La longitud (L) de la pieza de madera entre las mordazas, según indicaciones de la norma, fue 2.000 mm más 8 veces el ancho (b) de la probeta. La carga fue aplicada hasta la falla. En la Figura N° 4 se observa la aplicación de un ensayo de tracción paralela.

La resistencia a la tracción paralela ($f_{t,0}$) fue calculada de acuerdo a la ecuación 3.

$$f_{t,0} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{bd} \quad (3)$$

Donde:

- $f_{t,0}$: Resistencia a la tracci3n paralela a las fibras (MPa).
 $F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga m\acute{a}xima (N).
 d : Espesor de la pieza de madera (mm).
 b : Ancho de la pieza de madera (mm).

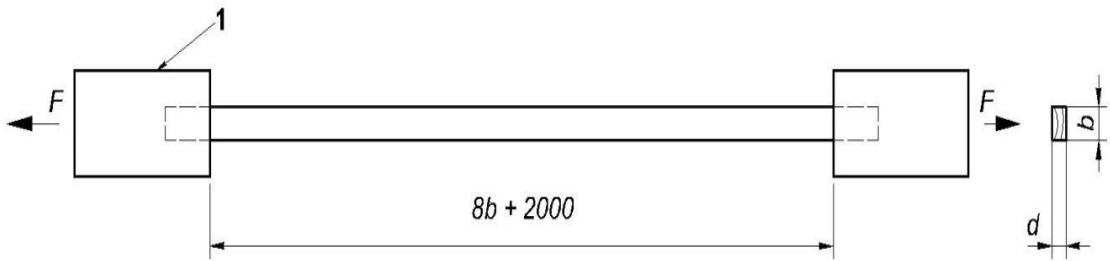


Figura N° 3
ESQUEMA ENSAYO RESISTENCIA A LA TRACCI3N PARALELA SEG3N NCh 3028/1



Figura N° 4
APLICACI3N DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCI3N PARALELA SEG3N NCh 3028/1

2.3.3. Resistencia a la Compresión Paralela a las Fibras

El esquema de carga aplicado en el ensayo de compresión paralela a las fibras se registra en la Figura N° 5.

La longitud de la pieza de madera ensayada, según indicaciones de la norma, debe tener una longitud total de 2.000 mm más 8 veces el ancho (b) de la probeta, siendo comprimida axialmente por una carga hasta alcanzar la falla.

El pandeo fue controlado con restricciones laterales distanciadas a 10 veces el ancho (b) para el pandeo respecto al eje menor, y a 10 veces el espesor (d) para el pandeo respecto al eje mayor.

En la Figura N° 6 se muestra la aplicación de un ensayo de compresión paralela. Se observan la zona de carga y los dispositivos de fijación lateral.

La resistencia a la compresión paralela ($f_{c,0}$) fue calculada de acuerdo a la ecuación 4.

$$f_{c,0} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{bd} \quad (4)$$

Donde:

- $f_{c,0}$: Resistencia a la compresión paralela a las fibras (MPa).
- $F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima (N).
- d : Espesor de la pieza de madera (mm).
- b : Ancho de la pieza de madera (mm).

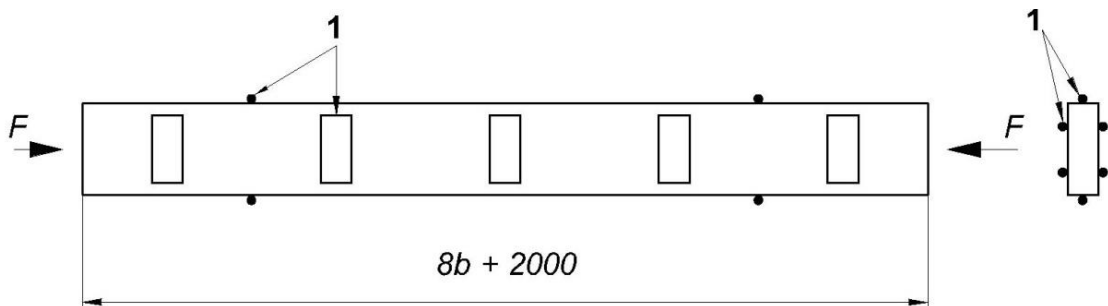


Figura N° 5
ESQUEMA ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARALELA SEGÚN NCh 3028/1



Figura N° 6
APLICACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA SEGÚN NCh 3028/1

2.3.4. Resistencia al Cizalle Paralelo a las Fibras

El esquema de carga aplicada en el ensayo de cizalle paralelo a las fibras se ilustra en la Figura N° 7.

La longitud de la pieza de madera, según indicaciones de la norma, debe ser de 8 veces el ancho (b) de la probeta y la luz de ensayo debe ser 6 veces el ancho (b); siendo sometida a una carga central puntual hasta que se produzca la falla.

En la Figura N° 8 se observa la aplicación de un ensayo de cizalle paralelo.

La resistencia a la cizalle paralelo (f_v) fue calculada de acuerdo a la ecuación 5.

$$f_v = \frac{0,75 \cdot F_{m\acute{a}x}}{bd} \quad (5)$$

Donde:

- f_v : Resistencia al cizalle paralelo a las fibras (MPa).
- $F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima (N).
- d : Espesor de la pieza de madera (mm).
- b : Ancho de la pieza de madera (mm).

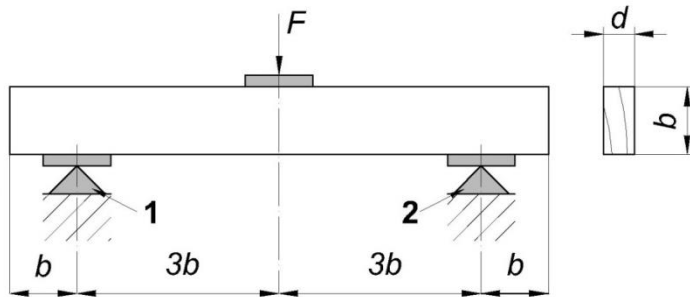


Figura N° 7
ESQUEMA ENSAYO RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO SEGÚN NCh 3028/1



Figura N° 8
APLICACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO SEGÚN NCh 3028/1

2.3.4 Resistencia a la Compresión Normal a la Fibra

El esquema general y la disposición del ensayo de compresión normal a la fibra se presentan en la Figura N° 9. El ensayo consiste en la aplicación de una fuerza en el centro de la probeta mediante placas de acero de 90 x 50 mm, registrando de manera continua el par carga-deformación durante el ensayo tal como lo ilustra la Figura N° 10.

Las mediciones de deformación por aplastamiento de las probetas se realizaron mediante un transductor de posición. La resistencia a la compresión normal se obtiene del menor valor de las ecuaciones 6 y 7.

$$F_{c,90} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{90d} \quad (6)$$

$$F_{c,90} = \frac{F_{20}}{90d} \quad (7)$$

Donde:

$F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima (N).
 F_{20} : Carga a una deformación de 20 mm (N).

La rigidez a la compresión perpendicular a la fibra $K_{c,90}$, se calcula de acuerdo a la ecuación 8.

$$K_{c,90} = \frac{\left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right)}{90d} \quad (8)$$

Donde:

$\left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right)$: Pendiente de la curva elástica carga-deformación.

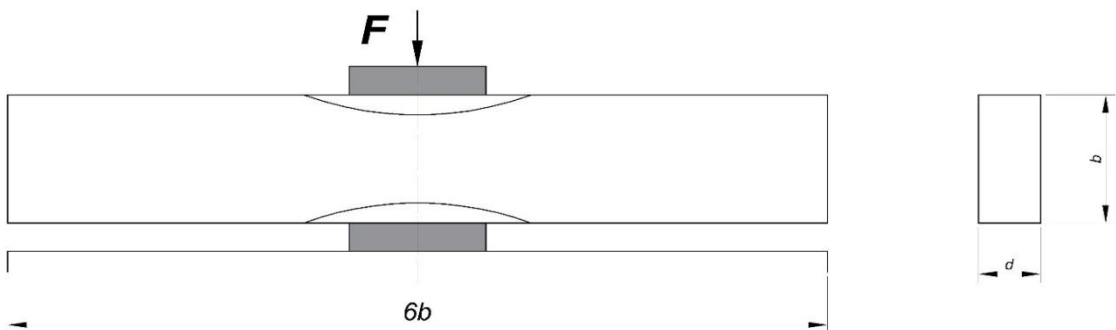


Figura N° 9
ESQUEMA GENERAL DE ENSAYO DE COMPRESIÓN NORMAL A LA FIBRA SEGÚN NCh 3028/1



Figura N° 10
APLICACIÓN DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN NORMAL A LA FIBRA SEGÚN NCh 3028/1

2.3.5. Densidad

Las probetas utilizadas para determinar la densidad de las piezas de madera ensayadas corresponden a la sección transversal completa y a una longitud mayor al ancho de la pieza (b). La masa (m) y el contenido de humedad (H) fueron medidos a cada probeta ensayada. La densidad al momento del ensayo (ρ_e) fue calculada de acuerdo a la ecuación 9.

$$\rho_e = \frac{m \cdot 10^9}{bdL} \quad (9)$$

La densidad al 12% de humedad (ρ_{12}) fue calculada de acuerdo a la ecuación 10.

$$\rho_{12} = \rho_e \left(\frac{1,12}{1+H} \right) \quad (10)$$

Donde:

- ρ_e : Densidad de ensayo (kg/m³).
- ρ_{12} : Densidad al 12% de humedad (kg/m³).
- d : Espesor de la pieza de madera (mm).
- b : Ancho de la pieza de madera (mm).
- L : Largo de la probeta de madera para densidad (mm).
- H : Humedad de la madera al momento del ensayo (%).

2.4. Determinación de los Valores Admisibles

La determinación de los valores admisibles para los grados estructurales visuales de pino radiata proveniente de la región del Maule se determinaron según el análisis estadístico y especificaciones de la norma chilena NCh 3028/2 (INN, 2006): *Madera estructural – Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia – Parte 2: Muestreo y evaluación de los valores característicos de piezas en tamaño estructural*. La norma específica los procedimientos de muestreo y evaluación de las propiedades de poblaciones específicas de madera aserrada de tamaño estructural clasificada por su resistencia. Además, permite evaluar la validez de las propiedades asignadas, como también para verificar la efectividad de los procedimientos de clasificación estructural de la madera.

Los resultados de los ensayos realizados, según la metodología de la norma chilena NCh 3028/1 (INN, 2006), deben ser ajustados a un contenido de humedad único, que generalmente es de un 12%. Las propiedades de módulo de rotura en flexión, resistencia a la tracción paralela, y resistencia a la compresión paralela, se ajustan de acuerdo a las ecuaciones 11 y 12, según sea el caso.

$$P_2 = P_1 \quad (11)$$

Para valores de módulo de rotura en flexión $\leq 16,6$ MPa; resistencia a la tracción paralela $\leq 21,7$ MPa; y resistencia a la compresión paralela $\leq 9,65$ MPa.

$$P_2 = P_1 + \left\{ \frac{(P_1 - B_1)}{(B_2 - H_1)} \right\} (H_1 - H_2) \quad (12)$$

Para valores de módulo de rotura en flexión $> 16,6$ MPa; resistencia a la tracción paralela $> 21,7$ MPa; y resistencia a la compresión paralela $> 9,65$ MPa.

Donde:

- P_1 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 1 (MPa).
- P_2 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 2 (MPa).
- H_1 : Contenido de humedad 1 (%).
- H_2 : Contenido de humedad 2 (%).
- $B_1 B_2$: Constantes según Cuadro N° 2.

El ajuste para el módulo de elasticidad en flexión y la resistencia al cizalle paralelo a la fibra se calcula de acuerdo a la ecuación 13.

$$P_2 = P_1 \frac{[B_1 - (B_2 H_2)]}{[B_1 - (B_2 H_1)]} \quad (13)$$

Donde:

- P_1 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 1 (MPa).
- P_2 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 2 (MPa).

- H_1 : Contenido de humedad 1 (%).
 H_2 : Contenido de humedad 2 (%).
 $B_1 B_2$: Constantes según Cuadro N° 2.

Cuadro N° 1
CONSTANTES PARA EL AJUSTE DE PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN CONTENIDO DE HUMEDAD

Constantes	Resistencia en Flexión	Resistencia en Tracción Paralela	Resistencia en Compresión Paralela	Elasticidad en Flexión	Resistencia al Cizalle Paralelo
B_1	16,65	21,72	9,65	1,857	1,33
B_2	40	80	34	0,0237	0,0167

(Fuente: INN, 2008)

- La validez de las fórmulas de ajuste por contenido de humedad, se restringe a un rango de 10% a 23%. Para valores inferiores o superiores a los límites, se deben considerar estos últimos en las fórmulas.
- Se debe estandarizar del módulo de elasticidad para que refleje las condiciones de uso previstas para el material (relación luz/profundidad y configuración de carga). Para determinar el módulo de elasticidad aparente, se debe aplicar la ecuación 14.

$$E_{ai2} = \frac{1+K_1 \left(\frac{h_1}{L_1} \right)^2 \left(\frac{E}{G} \right)}{1+K_2 \left(\frac{h_2}{L_2} \right)^2 \left(\frac{E}{G} \right)} E_{ai} \quad (14)$$

Donde:

- E_{ai2} : Módulo de elasticidad aparente (MPa).
 E_{ai} : Módulo de elasticidad de ensayo (MPa).
 h : Altura de la sección transversal de la viga (mm).
 L : Distancia total entre los apoyos de la viga (mm).
 E : Módulo de elasticidad libre del efecto del esfuerzo cortante (MPa).
 G : Módulo de rigidez (MPa).
 K_i : Factor de ajuste del módulo de elasticidad aparente, según Cuadro N° 3.

Cuadro N° 2
FACTORES DE AJUSTE PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD APARENTE

Carga	Lugar de Medición de la Deflexión	K_i
Concentrada en la mitad del tramo	Mitad del tramo	1,200
Concentrada en los puntos tercios	Mitad del tramo	0,939
Concentrada en los puntos tercios	Puntos de carga	1,080
Concentrada en los puntos cuartos extremos	Mitad del tramo	0,873
Concentrada en los puntos cuartos extremos	Puntos de carga	1,200
Uniformemente distribuida	Mitad del tramo	0,960

(Fuente: INN, 2008)

- Se deben ajustar los datos experimentales mediante factores de reducción, que incluyen factores de seguridad y el efecto de duración acumulada de carga de 10 años según la propiedad considerada, según Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4
FACTORES DE REDUCCIÓN

Propiedad	Factor
Módulo de elasticidad	1
Módulo de rotura en flexión	1 / 2,1
Resistencia a la tracción	1 / 2,1
Resistencia a la compresión paralela	1 / 1,9
Resistencia al cizalle	1 / 4,1
Resistencia a la compresión normal	1 / 1,67

(Fuente: INN, 2008)

El método no paramétrico establece que se debe estimar el punto porcentual no paramétrico de la muestra (EPN) mediante interpolación. El proceso se lleva a cabo ordenando los valores experimentales en forma ascendente y calculando, a partir de la menor resistencia, para cada valor la expresión: $i / (n+1)$, hasta verificar lo indicado en la ecuación 15.

$$\frac{i}{n+1} \geq \frac{k}{100} \quad (18)$$

Donde:

i : Ordinal del valor.
k : Nivel de exclusión o percentil considerado.
n : Tamaño de la muestra.

El valor correspondiente al percentil considerado se le asignará el ordinal “j”, interpolándose el estimador porcentual de punto no paramétrico mediante la ecuación 19.

$$EPN = \left[\frac{k}{100} (n + 1) - (j - 1) \right] [x_j - x_{(j-1)}] + x_{(j-1)} \quad (19)$$

Para el caso del módulo de elasticidad y compresión normal a las fibras se debe tomar el valor promedio de la muestra.

2.5. Ajuste de Parámetros para Equipo Clasificador de Grados Mecánicos C16 y C24

La norma chilena NCh1198 (INN, 2014) incluye, para el pino radiata, grados mecánicos además de los visuales previamente explicados. Entre estos destacan el C16 y C24 cuyos valores se ilustran en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 3
TENSIONES ADMISIBLES DEL PINO RADIATA CLASIFICADAS VISUAL Y MECÁNICAMENTE

Grado estructural	Tensiones Admisibles					Módulo de Elasticidad	Índice de Aplastamiento en Compresión Normal
	Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Compresión Normal	Cizalle Paralelo		
	(Ff)	(Fcp)	(Ftp)	Fcn	(Fcz)		
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)		
a) Grados Visuales							
GS	11	8,5	6	2,5	1,1	10.500	5,65
G1	7,5	7,5	5	2,5	1,1	10.000	
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10.100	
G2	5,4	6,5	4	2,5	1,1	8.900	
b) Grados Mecánicos							
C24	9,3	8	4,7	2,5	1,1	10.200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7.900	

(Fuente: INN, 2014)

En el mercado existe una extensa gama de equipos para clasificar madera aserrada en distintos grados estructurales mecánicos. Las tecnologías utilizadas varían desde los rayos x, imágenes, actuadores neumáticos, hasta la aplicación de vibraciones acústicas, entre otras. Para el último caso, la empresa holandesa Brookhuis tiene a disposición un equipo portátil llamado MTG por sus siglas en inglés (*Mechanical Timber Grader*), el cual se ilustra en la Figura N° 11.



Figura N° 11
EQUIPO MTG PARA CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL MECÁNICA GRADOS C16 Y C24

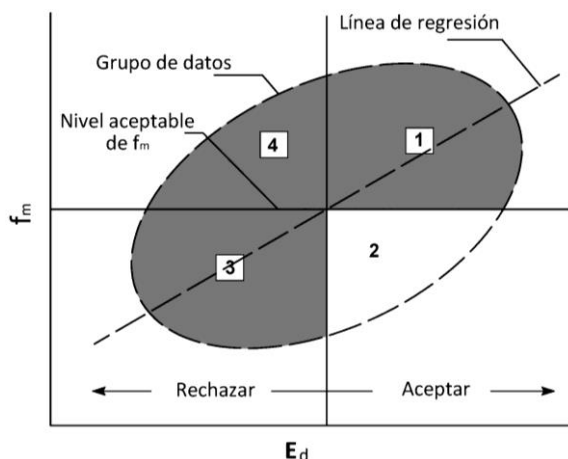
El funcionamiento del MTG se basa en la medición de la frecuencia de vibración acústica, con un micrófono luego de golpear con un martillo uno de sus extremos. La ventaja de este equipo es su bajo costo, fácil manejo y portabilidad.

La clasificación con el MTG se realiza en piezas de tamaño comercial, requiriendo parámetros de entrada como la densidad, contenido de humedad, escuadría, largo, y parámetros interpretados de ensayos mecánicos como el SETTING, correspondientes a un valor que indica los límites que separan a los grados estructurales C16 y C24 en el equipo. Estos generan los rangos de validez para la clasificación y son obtenidos a partir de la correlación con ensayos mecánicos.

2.5.1. Determinación del SETTING

El MTG muestra en pantalla un valor que el fabricante llama módulo de elasticidad dinámico. Este número es correlacionado con la resistencia en flexión.

Al representar los datos de tensión en flexión con la lectura del MTG, se obtiene una nube de puntos que puede dividirse en cuatro categorías, tal como se ilustra en la Figura N° 12.



(Fuente: Green and Kretschmann, 1999)

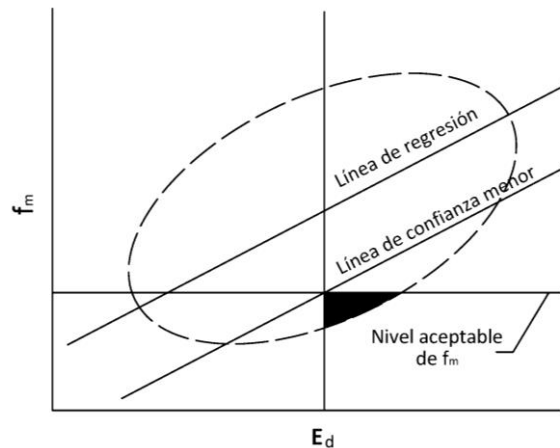
Figura N° 12
ESQUEMA CLASIFICACIÓN VISUAL LÍNEA DE REGRESIÓN COMO PREDICTOR

La descripción de cada categoría se detalla a continuación:

- Categoría 1: El material se acepta correctamente dentro de un grado, es decir, el material resiste una tensión suficiente como la especificada para el grado y tiene un módulo de elasticidad acorde a su calidad estructural.
- Categoría 2: El material se acepta dentro de un grado de manera incorrecta, es decir, no cumple con la tensión de rotura especificada para el grado, pero si cumple con el módulo de elasticidad.

- Categoría 3: El material se rechaza correctamente, ya que no cumple con la tensión de rotura y tampoco con el módulo de elasticidad esperado para el grado.
- Categoría 4: El material se rechaza correctamente, debido a que no cumple con el módulo de elasticidad requerido para el grado estructural, aunque sí lo haga para la tensión de rotura.

Por esta razón se emplea una curva de confianza que garantice con una fiabilidad del 95% la correcta aceptación o rechazo de las piezas, tal como se ilustra la Figura N° 13.



(Fuente: Green and Kretschmann, 1999)

Figura N° 13
ESQUEMA LÍNEA DE CONFIANZA MENOR COMO PREDICTOR

La curva del quinto percentil se obtiene usando la pendiente de la línea de regresión original, el módulo de rotura en flexión del percentil 5% y el valor MTG promedio.

$$M_{Rf}(5\%) = \frac{\overline{M_{Rf}} + (-t_{5\%}) \frac{s}{\sqrt{n}}}{\sqrt{n}} \quad (20)$$

Donde:

- $M_{Rf}(5\%)$: Módulo de rotura en flexión del 5 percentil (MPa).
 $\overline{M_{Rf}}$: Módulo de rotura en flexión promedio de la muestra (MPa).
 $t_{5\%}$: Valor t-student asociado a la muestra (t tiende a 1.6449 para $n > 100$).
 S : Desviación estándar muestral (MPa).
 n : Tamaño de la muestra.

3. RESULTADOS

3.1. Clasificación Visual Estructural

El detalle de la clasificación visual según NCh1207 de las 1.400 piezas de madera pino radiata proveniente de la región del Maule, cepillada a 41 x 90 x 3200mm y con un contenido de humedad bajo 19%, se entrega en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 4
DETALLE DE LA CLASIFICACIÓN

Clasificación	Cantidad	
	(N°)	(%)
GS	23	1,6
G1	201	14,4
G2	709	50,6
Rechazo	467	33,4
Total	1.400	100

3.2. Ensayos Físicos y Mecánicos

Las 1.400 piezas de pino radiata de la clasificación visual estructural se utilizaron para realizar los ensayos físicos y mecánicos según la distribución que indica el Cuadro N° 7.

Cuadro N° 5
CANTIDAD DE PIEZAS CLASIFICADAS POR TIPO DE ENSAYO

Ensayo Mecánico	Tamaño de Muestra				Total
	GS	G1	G2	Rechazo	
Flexión	4	58	165	123	350
Tracción paralela	4	49	195	102	350
Compresión paralela	9	60	150	131	350
Cizalle	6	34	199	111	350
Total	23	201	709	467	1.400

En los Cuadros N° 8 a N° 15 se registran las estadísticas descriptivas de los resultados de los ensayos físicos y mecánicos de resistencia en flexión, rigidez en flexión, resistencia a la tracción paralela, resistencia a la compresión paralela, resistencia al cizalle paralelo, resistencia a la compresión normal, índice de aplastamiento normal y densidad, por grado visual estructural.

Cuadro N° 6
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN RADIATA A UN 12% DE HUMEDAD

Descripción	MORf 12%		
	GS	G1	G2
Promedio (MPa)	55,9	42,2	38,1
Valor mínimo (MPa)	28,4	12,9	12,7
Valor máximo (MPa)	67,6	78,8	104,5
Rango (MPa)	39,2	65,9	91,8
Desviación estándar (MPa)	18,5	14,3	15,7
Coefficiente de variación (%)	33,0	33,9	41,3
Tamaño muestra	4	58	165

Cuadro N° 7
RIGIDEZ EN FLEXIÓN A UN 12% DE HUMEDAD

Descripción	MOEf 12%		
	GS	G1	G2
Promedio (MPa)	9.721	9.469	8.484
Valor mínimo (MPa)	8.692	5.688	3.892
Valor máximo (MPa)	11.219	16.168	15.125
Rango (MPa)	2.527	10.480	11.233
Desviación estándar (MPa)	1.134	2.222	1.976
Coefficiente de variación (%)	11,7	23,5	23,3
Tamaño muestra	4	58	165

Cuadro N° 8
RESISTENCIA EN TRACCIÓN PARALELA A UN 12% DE HUMEDAD

Descripción	RTP 12%		
	GS	G1	G2
Promedio (MPa)	30,5	24,0	20,0
Valor mínimo (MPa)	28,6	13,4	7,4
Valor máximo (MPa)	33,3	39,9	55,6
Rango (MPa)	4,8	26,5	48,2
Desviación estándar (MPa)	2,3	5,9	6,5
Coefficiente de variación (%)	7,4	24,6	32,4
Tamaño muestra	4	49	195

Cuadro N° 9
RESISTENCIA EN COMPRESIÓN PARALELA A UN 12% DE HUMEDAD

Descripción	RCP 12%		
	GS	G1	G2
Promedio (MPa)	29,5	24,7	20,9
Valor mínimo (MPa)	25,1	17,3	13,3
Valor máximo (MPa)	38,2	32,9	27,3
Rango (MPa)	13,1	15,7	14,0
Desviación estándar (MPa)	4,2	4,0	3,3
Coeficiente de variación (%)	14,1	16,0	15,9
Tamaño muestra	9	60	150

Cuadro N° 10
RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO A UN 12% DE HUMEDAD

Descripción	RCZ 12%		
	GS	G1	G2
Promedio (MPa)	6,5	5,3	4,3
Valor mínimo (MPa)	4,7	3,3	1,5
Valor máximo (MPa)	7,8	7,3	7,5
Rango (MPa)	3,1	4,1	6,0
Desviación estándar (MPa)	1,0	1,1	1,1
Coeficiente de variación (%)	15,4	20,2	25,4
Tamaño muestra	6	34	199

Cuadro N° 11
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NORMAL A LA FIBRA A UN 12% DE HUMEDAD

Descripción	Fcn 12%
Promedio (MPa)	7,8
Valor mínimo (MPa)	6,0
Valor máximo (MPa)	11,9
Rango (MPa)	5,9
Desviación estándar (MPa)	1,2
Coeficiente de variación (%)	15,4
Tamaño muestra	50

Cuadro N° 12
ÍNDICE DE APLASTAMIENTO

Descripción	Índice Aplastamiento
Promedio (MPa/mm)	3,18
Valor mínimo (MPa/mm)	1,94
Valor máximo (MPa/mm)	5,50
Rango (MPa/mm)	3,56
Desviación estándar (MPa/mm)	0,71
Coefficiente de variación (%)	22,2
Tamaño muestra	50

Cuadro N° 13
DENSIDAD AL 12% CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Región	DENSIDAD		
		GS	G1	G2
Promedio (Kg/m ³)	Maule	473	450	445
	Biobío	489	471	462
Valor mínimo (Kg/m ³)	Maule	379	378	352
	Biobío	337	366	347
Valor máximo (Kg/m ³)	Maule	536	565	580
	Biobío	650	622	671
Rango (Kg/m ³)	Maule	157	187	228
	Biobío	313	256	324
Desviación estándar (Kg/m ³)	Maule	42	36	38
	Biobío	52	43	50
Coefficiente de variación (%)	Maule	9	8	9
	Biobío	11	9	11
Tamaño muestra	Maule	14	140	559
	Biobío	226	382	691

3.3. Registro de Fallas en los Ensayos Mecánicos

En las Figuras N° 14 a N° 18 se ilustran las fallas obtenidas en las piezas de madera de pino radiata, de la región del Maule, para cada uno de los ensayos mecánicos.



Figura N° 14
FALLA ENSAYO DE FLEXIÓN



Figura N° 15
FALLA ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA



Figura N° 16
FALLA ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA

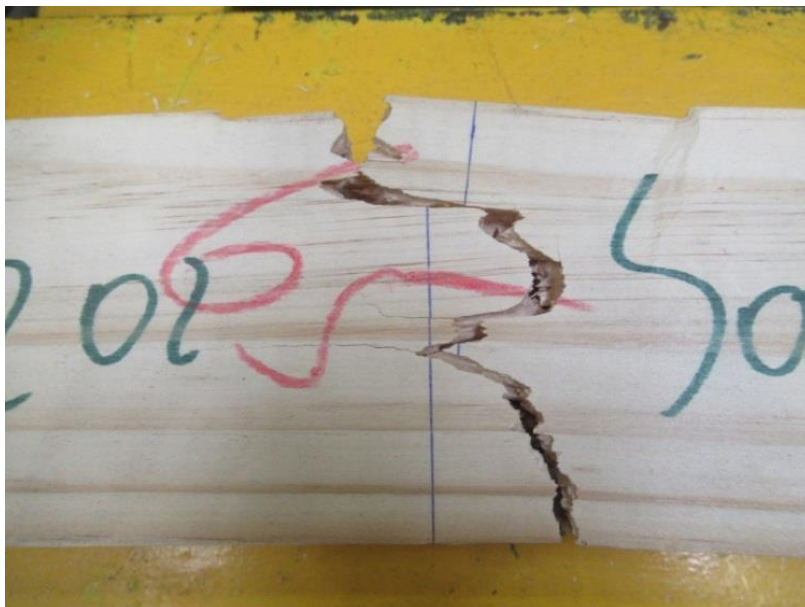


Figura N° 17
FALLA POR CIZALLE PARALELO



Figura N° 18
FALLA ENSAYOS DE COMPRESIÓN NORMAL A LA FIBRA

3.4. Valores Admisibles

Los valores admisibles de resistencia en flexión, resistencia a la tracción paralela, resistencia a la compresión paralela, resistencia al cizalle paralelo, resistencia a la compresión normal, módulo de elasticidad en flexión e índice de aplastamiento obtenidos para los grados estructurales visuales de pino radiata, según la norma chilena NCh 3028/2, se registran en el Cuadro N° 16.

En el Cuadro N° 17 se compara la muestra de madera de pino radiata proveniente de las regiones del Maule y Bio Bio, con la última actualización de los grados estructurales visuales para el pino radiata de la norma chilena NCh 1198 (INN, 2014), realizada el año 2002, a partir de una muestra nacional.

Cuadro N° 14
TENSIONES ADMISIBLES PARA GRADOS VISUALES DE PINO RADIATA DE LA REGIÓN DEL MAULE

Grado Estructural	Tensiones Admisibles de:					Módulo de Elasticidad en Flexión	Índice de Aplastamiento en Compresión Normal
	Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Compresión Normal	Cizalle		
	Ff (MPa)	Fc (MPa)	Ftp (MPa)	Fcn (MPa)	Fcz (MPa)	Ef (MPa)	Ecn, h (MPa/mm)
G1	8,9	9,7	7,3	3,7	0,8	9.469	3,18
G2	8,3	7,3	5,4	3,7	0,6	8.484	

Cuadro N° 15
COMPARACIÓN DE TENSIONES ADMISIBLES ENTRE LA REGIÓN DEL MAULE, BIOBIO Y NCh 1198

Grado Estructural	Procedencia	Tensiones Admisibles					Módulo de Elasticidad en Flexión Ef (MPa)	Índice de Aplastamiento en Compresión Normal Ecn, h (MPa/mm)
		Flexión Ff (MPa)	Compresión Paralela Fc (MPa)	Tracción Paralela Ftp (MPa)	Compresión Normal Fcn (MPa)	Cizalle Fcz (MPa)		
GS	Maule	ND	ND	ND	3,7	ND	ND	3,18
	Biobio	ND	12,3	3,1	ND	1	9.905	ND
	NCh 1198	11	8,5	6	2,5	1,1	10.500	5,65
G1	Maule	8,9	9,7	7,3	3,7	0,8	9.469	3,18
	Biobio	8,9	9,9	3,9	ND	0,8	8.976	ND
	NCh 1198	7,5	7,5	5	2,5	1,1	10.000	5,65
G2	Maule	8,3	7,3	5,4	3,7	0,6	8.484	3,18
	Biobio	7,1	7,8	3,8	ND	0,6	7.990	ND
	NCh 1198	5,4	6,5	4	2,5	1,1	8.900	5,65

3.5. Valores de SETTING

En la Figura N° 19 se ilustra la nube de puntos y la línea de correlación del quinto percentil, a la cual se asocian los grados estructurales de 16 y 24 MPa.

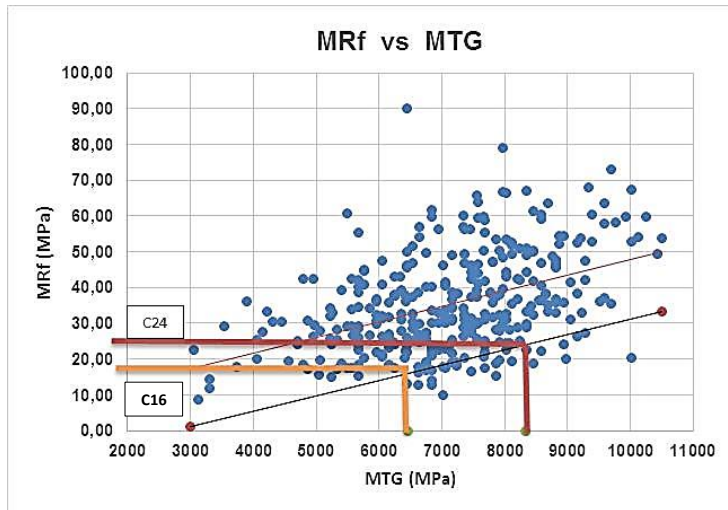


Figura N° 19
OBTENCIÓN GRAFICA DE LOS SETTINGS PARA EL EQUIPO MTG

En el Cuadro N° 18 se indican los settings obtenidos para la muestra de 350 piezas de madera proveniente de la región del Maule, ensayadas en flexión.

Cuadro N° 16
SETTING EQUIPO MTG, REGIÓN DEL MAULE

Rango (MPa)	Grado Estructural
$E_{MTG} < 6.462$	Rechazo
6.462 - 8.322	C16
$E_{MTG} > 8.322$	C24

3.6. Rendimientos de Clasificación de los Grados Mecánicos C16 y C24

En el Cuadro N° 19 se registra el rendimiento de clasificación de una muestra de 1.400 piezas de madera pino radiata, escuadría 41 x 90 mm, seleccionadas a granel en aserraderos de la región del Maule, las que se clasificaron en los grados estructurales mecánicos C16 y C24, mediante el equipo MTG.

Cuadro N° 17
RENDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN MECÁNICA CON EQUIPO MTG

Grado Estructural	Piezas Clasificadas (N°)	Proporción del Total (%)
R (sin grado)	466	33,3
C16	699	49,9
C24	235	16,8
Rendimiento	934	67
Tamaño de muestra	1400	100

4. CONCLUSIONES

El rendimiento de clasificación estructural para la madera de pino radiata de la región del Maule, tanto para el método visual (NCh 1207) como para el mecánico (MTG), fue de un 67%, correspondiente a un 5% menos que el valor obtenido para la región del Bio Bio. Es importante señalar que el rendimiento puede variar dependiendo de algunos factores, como el programa de secado utilizado, el esquema de corte empleado, el diámetro del rollizo, el porcentaje de madera central o lateral de la muestra y el largo y escuadría de la pieza de madera.

Los ensayos mecánicos evidenciaron que las propiedades de resistencia y rigidez aumentaron al mejorar la calidad estructural de la madera. Además, se observaron fallas típicas en los ensayos de flexión, tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra, cizalle paralelo a la fibra, y compresión normal a la fibra.

No fue posible obtener los valores admisibles para el grado visual estructural GS debido a la baja cantidad de piezas obtenidas después de la clasificación.

Los valores admisibles de resistencia y rigidez de los grados estructurales G1 y G2 de pino radiata proveniente de la región del Maule, comparados con los resultados obtenidos en la región del Bio Bio, son bastante similares e indican que no hay grandes diferencias entre las muestras. Cabe señalar que los resultados no son concluyentes, sin embargo servirán para caracterizar la especie a nivel nacional.

La densidad de la madera de pino radiata de ambas regiones presenta en promedio diferencias menores al 5% y esto explica que el comportamiento mecánico fuera similar para ambas procedencias.

5. REFERENCIAS

Green, D. and Kretschmann, D., 1999. Mechanical Properties of Wood. Wood Handbook – Wood as an Engineered Material, Chapter 4. Forest Products Laboratory; USDA Forest Service; Madison, Wisconsin.

Hernández, G.; González, M.; Vásquez, L.; Elgueta, P.; Catalán, J. y Campos, R., 2016. Tensiones Admisibles de la Madera Aserrada de Pino Radiata Proveniente de la Región del Bio Bio. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 209.

INN, 2003. NCh 2827. Calibración y Uso de Xilohigrómetros Portátiles. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2005. NCh 1207. Pino Radiata – Clasificación Visual para Uso Estructural – Especificaciones de los Grados de Calidad. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2006. NCh 3028/1. Madera Estructural – Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera Clasificada por su Resistencia – Parte 1: Métodos de Ensayo en Tamaño Estructural. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2006. NCh 3028/2. Madera Estructural – Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera Clasificada por su Resistencia – Parte 2: Muestreo y Evaluación de los Valores Característicos de Piezas en Tamaño Estructural. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2014. NCh 1198. Madera – Construcciones en Madera – Cálculo. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

SEDE DIAGUITAS
Juan Georgini Runi 1507, La Serena
(56-9) 6589 32 11

SEDE METROPOLITANA
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Fono: (56-2) 2366 71 20

SEDE BIO BIO
Camino a Coronel km. 7,5, San Pedro de la Paz,
Concepción
Fono / Fax: (56-41) 285 32 60

SEDE LOS RÍOS
Fundo Teja Norte s/n, Valdivia
Fono: (56-63) 233 52 00

OFICINA CHILOÉ
Oficina Chiloé
Guarategua Lepe s/n, Nercón.
(56-65) 263 36 41

SEDE PATAGONIA
Camino Coyhaique Alto Km. 4,5, Coyhaique
Fono: (56-9) 883 18 60



INFOR

www.infor.cl