

TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA PROVENIENTE DE LA REGIÓN DEL MAULE PARA USO EN ELEMENTOS LAMINADOS



TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA PROVENIENTE DE LA REGIÓN DEL MAULE PARA USO EN ELEMENTOS LAMINADOS¹

Vásquez, Luis²; Elgueta, Patricio³; Hernández, Gonzalo⁴;
Campos, Raúl⁵; Catalán, Jorge⁶ y Reyes, Cristian⁷

**INSTITUTO FORESTAL
2017**

¹ Publicación 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



INFOR

INSTITUTO FORESTAL

Sucre 2397 Ñuñoa

Santiago. Chile

Tel. 56 2 23667115

www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-139-5

Registro de Propiedad Intelectual N° A-286846

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 Aserrada de Pino Radiata Proveniente de la Región del Maule para Uso en Elementos Laminados. Instituto Forestal. Chile. Informe Técnico N° 217 P.19

PRÓLOGO

Las tensiones admisibles de las láminas tipo A y B utilizadas para fabricar vigas laminadas encoladas con madera aserrada de pino radiata están tabuladas en la norma chilena NCh 2165 (INN, 1991) “Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata”, las cuales no han sido actualizadas desde hace 25 años.

La clasificación estructural visual tipo A y B es efectuada según la norma chilena NCh 2150 (INN, 1989). Esta norma delimita los rangos permitidos de los defectos de la madera. La metodología empleada para los ensayos mecánicos se encuentra dada en la NCh 3028/1 (INN, 2006) y el cómo determinar las tensiones admisibles a partir de los resultados de los ensayos está definido en la norma NCh 3028/2 (INN, 2008).

Este trabajo determina, a partir de una muestra de madera extraída de aserraderos de la región del Maule, las tensiones admisibles de los grados visuales de las láminas A y B.

Todos los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), que cuenta con un sistema de gestión acreditado bajo la norma ISO 17025.

La información que se entrega tiene por objetivo generar información técnica que permita la actualización de la norma NCh 2165 (INN, 1991).

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.....	2
2.3.2.	Resistencia a la Tracción Paralela a las Fibras	4
2.3.3.	Resistencia a la Compresión Paralela a las Fibras	5
2.3.4.	Resistencia al Cizalle Paralelo a las Fibras.....	7
2.3.5.	Densidad	8
2.4.	Determinación de los Valores Admisibles.....	8
3.	RESULTADOS.....	11
3.1.	Rendimiento de la Clasificación Visual.....	11
3.2.	Ensayos Físicos y Mecánicos.....	12
3.3.	Tensiones Admisibles Grados A y B.....	15
3.4.	Registro de Falla de Ensayos Mecánicos.....	15
3.5.	Comparación Tensiones Admisibles y Densidad de Láminas Regiones del Maule y Bio Bio.....	17
4.	CONCLUSIONES.....	18
5.	REFERENCIAS.....	18

1. INTRODUCCIÓN

Se entregan los resultados de la clasificación visual según norma chilena NCh 2150 (INN, 1989) en grados A y B de muestra extraída de la región del Maule. Se incluyen las tablas con las tensiones admisibles para cada grado según la metodología dada por la norma chilena 3028/2 (INN, 2008) aplicando los esquemas de ensayos mencionados en la norma chilena 3028/1 (INN, 2006). Finalmente, se comparan los resultados de rendimientos en la clasificación visual y los valores de las tensiones admisibles obtenidas para cada propiedad mecánica.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Madera

La madera de pino radiata utilizada en el presente estudio proviene de la región del Maule. La escuadría utilizada corresponde a 33 x 138 mm.

2.2. Clasificación Visual

La norma chilena NCh 2150 (INN, 1989) establece las especificaciones que deben cumplir los grados estructurales visuales A y B de la madera aserrada la especie para elementos laminados. En el Cuadro N° 1 aparecen los límites permitidos por grado estructural visual.

Cuadro N° 1
LÍMITES PERMITIDOS PARA LOS GRADOS ESTRUCTURALES VISUALES DEL PINO RADIATA

Característica o Defecto	Especificaciones		Observación
	Grado A	Grado B	
Agujeros - Nudos sueltos - Nudos firmes	La suma de las magnitudes de todos los nudos contenidos en cada longitud de 300 mm, tomada en intervalos de 60 mm no debe exceder: 35% del ancho de la cara: (0,35a) de 1/2 del ancho de la cara: (0,50a)		a = ancho de la cara
Alabeos	Ver tabla 1 de 4.1.3 en NCh 2150		Ver llamado 2) al pie de la tabla 1 en NCh 2150
Arista faltante (canto muerto)	Se acepta en un canto a lo largo de la pieza, si la magnitud máxima del defecto es 4 mm, la cual debe desaparecer cuando el elemento laminado sea cepillado		
Bolsillos	Se aceptan bolsillos "secos", con un ancho máximo de 3 mm y con una longitud igual al ancho de la pieza siempre que ellos aparezcan ocasionalmente		
Contenido de humedad	No mayor que 16%		
Desviación de la fibra	Menor que 1:10	Menor que 1:8	
Grietas y rajaduras	Las piezas deben estar "sin" grietas, rajaduras o acebolladuras que formen un ángulo menor o igual a 45° con la cara de la pieza		
Manchas	Ver tabla 1 de 4.1.3 en NCh 2150		
Pudrición y perforación	No se aceptan		
Resina	Ver tabla 1 de 4.1.3 en NCh 2150		
Velocidad de crecimiento	Más de 0,8 anillo por cada cm	Más de 0,7 anillo por cada cm	

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): *Madera estructural – Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia – Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural*. La determinación de la humedad se realizó mediante xilohigrómetros portátiles calibrados bajo la norma chilena NCh 2827 (INN, 2003b).

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 las Figuras N° 2 y N° 3 se observa la aplicación de un ensayo para medir la resistencia y rigidez en flexión en posición de canto y cara, respectivamente, 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), variables que 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.

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

Donde:

- f_m : Resistencia en flexión (MPa).
 $F_{\text{máx}}$: 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).

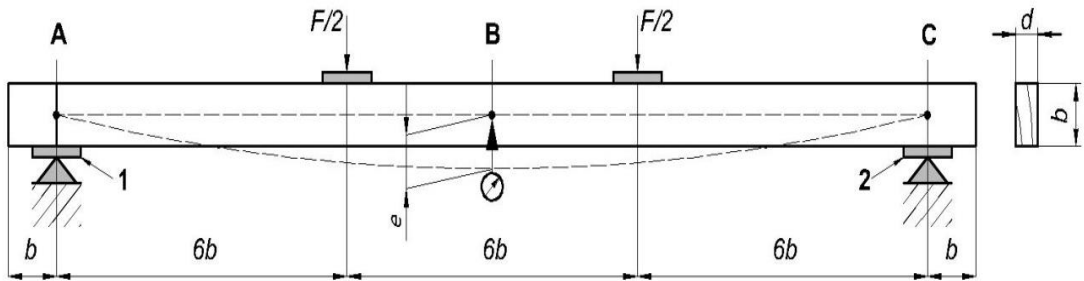


Figura N° 1
ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN SEGÚN NCh 3028/1

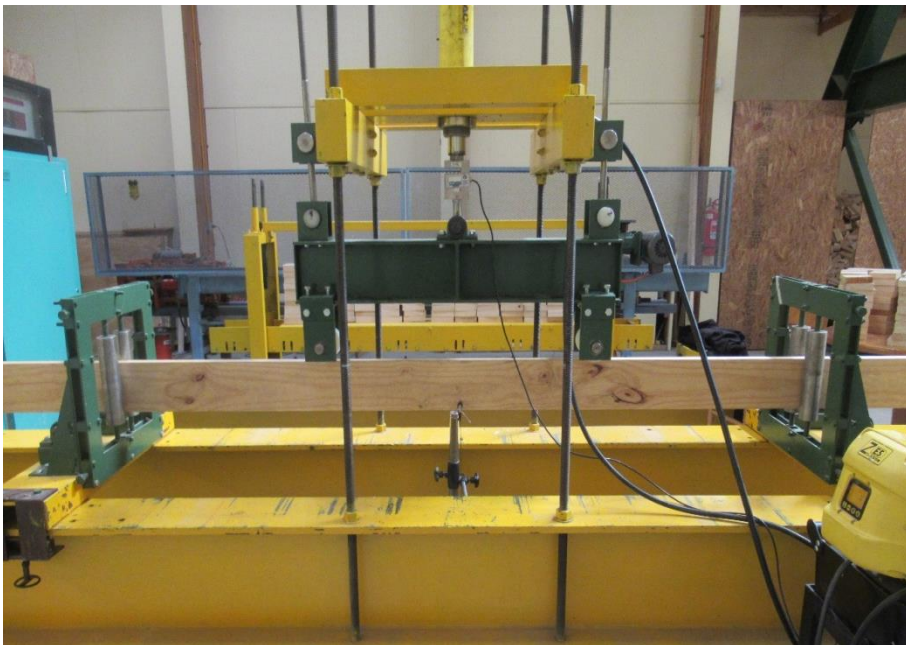


Figura N° 2
APLICACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN EN POSICIÓN DE CANTO



Figura N° 3
APLICACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN POSICIÓN DE CARA

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° 4. 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° 5 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 tracción 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).

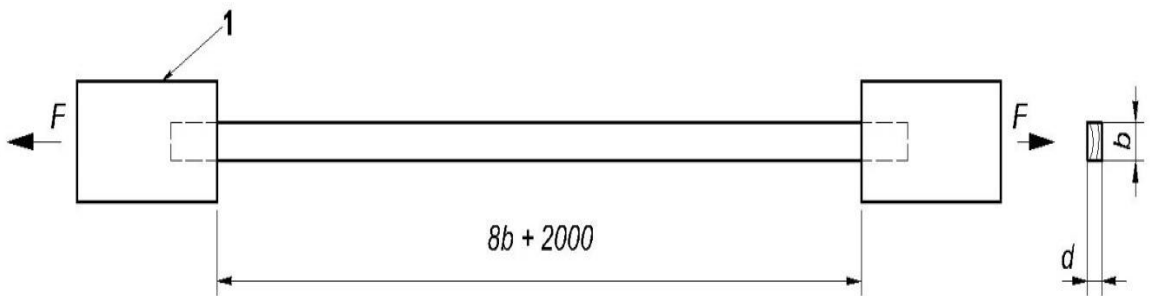


Figura N° 4
ESQUEMA ENSAYO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA SEGÚN NCh 3028/1



Figura N° 5
APLICACIÓN DE UN ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

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 muestra en la Figura N° 6. 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° 7 se registra 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).

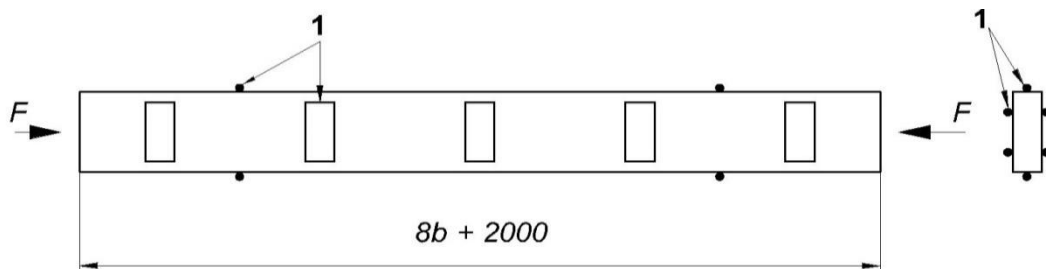


Figura N° 6
ESQUEMA ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARALELA SEGÚN NCh 3028/1



Figura N° 7
APLICACIÓN DE UN ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA

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° 8. 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 las Figuras N° 9 y N° 10 se observa la aplicación de un ensayo de cizalle paralelo en posición de canto y cara, respectivamente. La resistencia al 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).

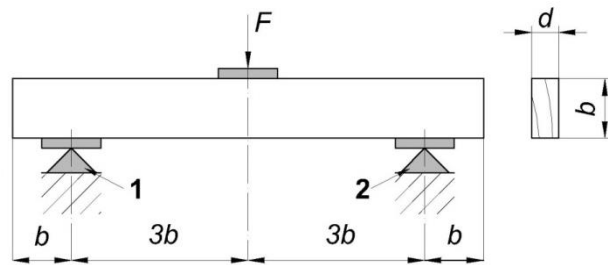


Figura N° 8
ESQUEMA ENSAYO RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO SEGÚN NCh 3028/1



Figura N° 9
APLICACIÓN DE UN ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO POSICIÓN DE CANTO



Figura N° 10
APLICACIÓN DE UN ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO POSICIÓN DE CARA

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 6.

$$\rho_e = \frac{m \cdot 10^9}{bdL} \quad (6)$$

La densidad al 12% de humedad (ρ_{12}) fue calculada de acuerdo a la ecuación 7.

$$\rho_{12} = \rho_e \left(\frac{1,12}{1+H} \right) \quad (7)$$

Donde:

- ρ_e : Densidad de ensayo (kg/m^3).
- ρ_{12} : Densidad al 12% de humedad (kg/m^3).
- 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

Los valores admisibles para los grados estructurales visuales A y B, clasificados según NCh 2150 (INN, 1989), de la madera aserrada 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, 2008): *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 especifica 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 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 8 y 9, según sea el caso.

$$P_2 = P_1 \quad (8)$$

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.

$$P_2 = P_1 + \left\{ \frac{(P_1 - B_1)}{(B_2 - H_1)} \right\} (H_1 - H_2) \quad (9)$$

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 10.

$$P_2 = P_1 \frac{[B_1 - (B_2 H_2)]}{[B_1 - (B_2 H_1)]} \quad (10)$$

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° 2
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 el 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 11.

$$E_{ai2} = \frac{1+K_1 \left(\frac{h_1}{L_1} \right)^2 (E/G)}{1+K_2 \left(\frac{h_2}{L_2} \right)^2 (E/G)} E_{ai} \quad (11)$$

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° 3
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 12.

$$\frac{i}{n+1} \geq \frac{k}{100} \quad (12)$$

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 13.

$$EPN = \left[\frac{k}{100} (n + 1) - (j - 1) \right] [x_j - x_{(j-1)}] + x_{(j-1)} \quad (13)$$

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

3. RESULTADOS

3.1. Rendimiento de la Clasificación Visual

De un total de 1.050 piezas clasificadas visualmente con la norma NCh 2150, con escuadría de 33 x 138 mm (1,5” x 6”) en 3,20 m de largo y un contenido de humeado bajo el 16%, 360 fueron clasificadas en el grado A y 360 en el grado B. Esto implica que el 68% de la

muestra fue clasificada en algún grado visual y 330 piezas, equivalentes al 28% restante, fueron rechazadas por los motivos ilustrados en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5
DETALLE DEL RECHAZO DE LAS PIEZAS INSPECCIONADAS

Defecto	Cantidad
Arista faltante	43
Alabeos	62
Bolsillo de resina	41
Velocidad de crecimiento	118
Tolerancia dimensional	66
Total	330

3.2. Ensayos Físicos y Mecánicos

Las 720 piezas de madera aserrada clasificadas en los grados visuales A y B se utilizaron para realizar los ensayos físicos y mecánicos según la distribución señalada en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6
CANTIDAD DE POR TIPO DE ENSAYO

Ensayos	Laminación Horizontal		Laminación Vertical		Total
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B	
Flexión	60	60	60	60	240
Cizalle	60	60	60	60	240
Tracción paralela	--	--	60	60	120
Compresión paralela	--	---	60	60	120
Total	120	120	240	240	720

En los Cuadros N° 7 a N° 12 se registra la estadística descriptiva de los resultados de la densidad de la madera, ensayos de resistencia en flexión, rigidez en flexión, resistencia a la tracción paralela, resistencia a la compresión paralela y resistencia al cizalle paralelo de las piezas con grado visual A y B.

Se observa que existe una diferencia notoria en los niveles de resistencia de ambos grados antes mencionados, lo que a su vez indica una correcta clasificación visual de las láminas.

Con respecto a la densidad, no se observan variaciones importantes referentes a los valores normativos de densidad para el pino radiata.

Cuadro N° 7
DENSIDAD DE LA MADERA ENSAYADA AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Grado A	Grado B
Promedio (Kg/m ³)	502	469,1
Valor mínimo (Kg/m ³)	403	372,5
Valor máximo (Kg/m ³)	689	602,6
Rango (Kg/m ³)	285	230,1
Desviación estándar (Kg/m ³)	47	44,1
Coeficiente variación (%)	9	9
Tamaño muestra	240	239
Valor percentil 5% (Kg/m ³)	433	412

Cuadro N° 8
MÓDULO DE RIGIDEZ EN FLEXIÓN AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Laminación Horizontal		Laminación Vertical	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio (MPa)	10.681	9.511	13.346	10.665
Valor mínimo (MPa)	5.683	5.320	7.769	6.510
Valor Máximo (MPa)	16.442	16.825	19.450	19.354
Rango (MPa)	10.759	11.505	11.681	12.844
Desviación estándar (MPa)	2.420	2.283	2.513	2.472
Coeficiente variación (%)	43	43	32	38
Tamaño muestra	59	60	60	60

Cuadro N° 9
MÓDULO DE ROTURA EN FLEXIÓN AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Laminación Horizontal		Laminación Vertical	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio (MPa)	71,3	60,3	53,4	37,7
Valor mínimo (MPa)	28,3	22,5	11,4	10,0
Valor Máximo (MPa)	111,0	108,1	104,4	77,6
Rango (MPa)	82,7	85,6	93,1	67,6
Desviación estándar (MPa)	18,4	17,8	18,2	17,1
Coeficiente variación (%)	26	29	34	45
Tamaño muestra	60	60	60	60
Valor percentil 5% (MPa)	38,6	39,4	23,3	12,7

Cuadro N° 10
MÓDULO DE ROTURA EN TRACCIÓN PARALELA AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Grado A	Grado B
Promedio (MPa)	27,2	18,0
Valor mínimo (MPa)	12,4	6,6
Valor Máximo (MPa)	60,1	35,0
Rango (MPa)	47,7	28,4
Desviación estándar (MPa)	10,6	6,2
Coeficiente variación (%)	39	35
Tamaño muestra	60	60
Valor percentil 5% (MPa)	13,9	8,4

Cuadro N° 11
MÓDULO DE ROTURA EN COMPRESIÓN PARALELA AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Grado A	Grado B
Promedio (MPa)	31,3	25,3
Valor mínimo (MPa)	18,5	16,6
Valor Máximo (MPa)	47,1	43,1
Rango (MPa)	28,6	26,5
Desviación estándar (MPa)	6,6	4,8
Coeficiente variación (%)	21	19
Tamaño muestra	60	60
Valor percentil 5% (MPa)	20,7	18,2

Cuadro N° 12
MÓDULO DE ROTURA EN CIZALLE PARALELO AL 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Laminación Horizontal		Laminación Vertical	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio (MPa)	9,0	7,3	5,6	4,7
Valor mínimo (MPa)	5,1	4,4	1,8	1,3
Valor Máximo (MPa)	13,3	10,3	7,9	7,6
Rango (MPa)	8,2	5,9	6,1	6,3
Desviación estándar (MPa)	1,7	1,3	1,3	1,2
Coeficiente variación (%)	18	17	24	26
Tamaño muestra	60	60	60	60
Valor percentil 5% (MPa)	6,0	5,2	2,9	2,6

3.3. Tensiones Admisibles Grados A y B

Las tensiones admisibles de la muestra de madera extraída de la región del Maule, para la resistencia en flexión y cizalle, laminación vertical y horizontal, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción paralela, y módulo de elasticidad en flexión, para los grados visuales estructurales A y B, se registran en el Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13
TENSIONES ADMISIBLES AL 12% CONTENIDO DE HUMEDAD

Grado	Laminación Horizontal		Laminación Vertical		Tensión Axial		Módulo de Elasticidad (MPa)
	Flexión (MPa)	Cizalle (MPa)	Flexión (MPa)	Cizalle (MPa)	Compresión Paralela (MPa)	Tracción Paralela (MPa)	
A	18,4	1,5	11,1	0,7	10,9	6,1	10564
B	18,8	1,2	6,0	0,6	9,6	4,0	9511

3.4. Registro de Falla de Ensayos Mecánicos

En las Figuras N° 11 a N° 16 se ilustran las fallas típicas de cada uno de los ensayos mecánicos realizados bajo el esquema normativo de la NCh 3028/1.



Figura N° 11
FALLA TIPO ENSAYOS DE FLEXIÓN EN POSICIÓN DE CANTO PARA LAMINACIÓN VERTICAL



Figura N° 12
FALLA TIPO ENSAYOS DE FLEXIÓN EN POSICIÓN DE CARA PARA LAMINACIÓN HORIZONTAL



Figura 13
FALLA TIPO ENSAYO DE TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA



FIGURA N° 14
FALLA TIPO ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS



Figura N° 15
FALLA TÍPICA ENSAYO DE CIZALLE PARALELO EN POSICIÓN DE CANTO PARA LAMINACIÓN VERTICAL



Figura N° 16
FALLA TÍPICA ENSAYO DE CIZALLE PARALELO EN POSICIÓN DE CARA PARA LAMINACIÓN HORIZONTAL

3.5. Comparación Tensiones Admisibles y Densidad de Láminas Regiones del Maule y Bio Bio

En el Cuadro N° 14 se registra las tensiones admisibles de los grados A y B obtenidas experimentalmente para la muestra de la región del Maule en comparación con aquellas obtenidas para la región del Bio Bio.

Cuadro N° 14
COMPARACIÓN DE TENSIONES ADMISIBLES ENTRE REGIONES DEL MAULE Y BIO BÍO

Grado	Región	Laminación Horizontal		Laminación Vertical		Tensión Axial		Módulo de Elasticidad (MPa)
		Flexión (MPa)	Cizalle (MPa)	Flexión (MPa)	Cizalle (MPa)	Compresión Paralela (MPa)	Tracción Paralela (MPa)	
A	Maule	18,4	1,5	11,1	0,7	10,9	6,1	10.564
	Bio Bio	21,7	1,1	9,3	0,8	10,9	8,0	9.900
B	Maule	18,8	1,2	6,0	0,6	9,6	4,0	9.511
	Bio Bio	14,5	1,0	7,0	0,6	7,8	3,6	8.400

En el Cuadro N° 15 se muestra la comparación de valores del percentil 5% de las densidades para ambos grados visuales y por región de origen.

Cuadro N° 15
COMPARACIÓN PERCENTIL 5% DENSIDAD 12% CONTENIDO HUMEDAD
ENTRE REGIÓN DEL MAULE Y BIO BÍO

Descripción	Región	Grado A	Grado B
Densidad (kg/m³)	Maule	433	412
	Bio Bio	389	361

4. CONCLUSIONES

Del rendimiento para la clasificación visual realizada a la muestra de madera extruida de la región del Maule de acuerdo a la norma chilena NCh 2150 se puede concluir que el 68% pertenece a al menos un grado visual en contraste con el 32% rechazado. Este dato toma relevancia cuando un aserradero quiere decidir qué grado estructural pretende producir.

En los resultados de tensiones admisibles y módulo de elasticidad se observa que hay una diferencia marcada entre los grados A y B. Con excepción de la flexión para laminación horizontal donde los valores son similares. Esto se debe a que la probeta ensayada es de un tamaño reducido y no necesariamente recoge los defectos que separan ambos grados.

Los valores admisibles de resistencia y rigidez de los grados estructurales A y B de pino radiata proveniente de la región del Maule comparados con los resultados obtenidos en la región del Bio Bio son similares, por separado no son concluyentes ya que forman parte de la caracterización de estos grados a nivel nacional.

La densidad evaluada en el percentil 5% difiere en un 10% para el grado A y en un 12% para el grado B. Si bien estos valores son diferentes, no son concluyentes dado que serán incluidos en valores de densidad a nivel nacional.

5. REFERENCIAS

INN, 1989 Mod. 1991. NCh 2150: Madera Laminada Encolada – Clasificación Mecánica y Visual de Madera Aserrada de Pino Radiata. Instituto de Normalización Nacional, Chile.

INN, 1991. NCh 2165. Tensiones Admisibles para la Madera Laminada Encolada Estructural de Pino Radiata. Instituto de Normalización Nacional, Chile.

INN, 2003a. NCh 2824: Maderas – Pino Radiata – Unidades, Dimensiones y Tolerancias. Instituto de Normalización Nacional, Chile.

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

INN, 2008. 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 de Normalización Nacional, 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