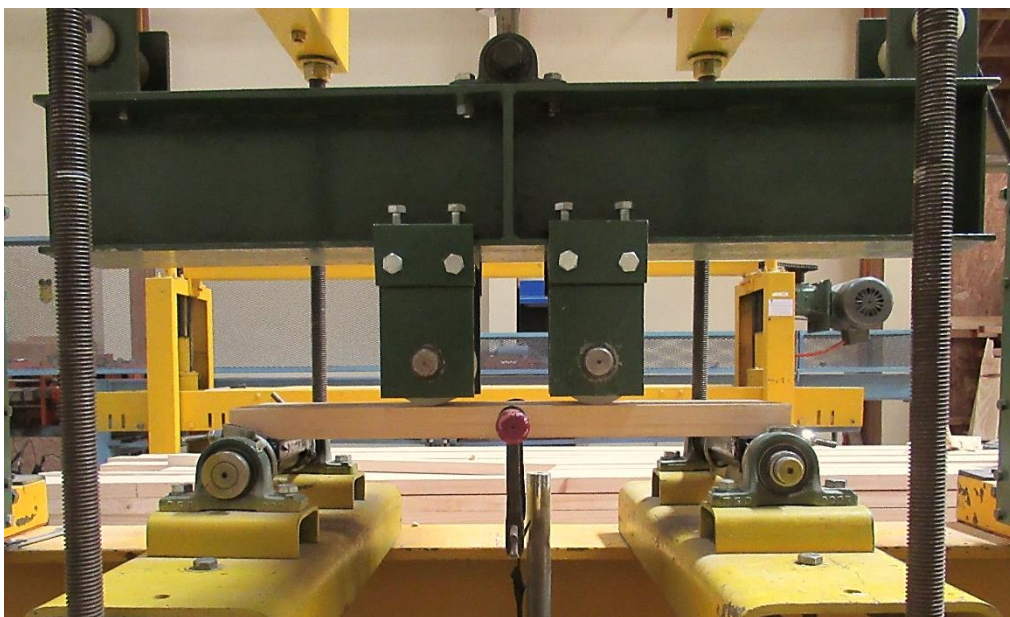


TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA PROVENIENTE DE LAS REGIONES DE LA ARAUCANÍA Y LOS RÍOS PARA USO EN ELEMENTOS LAMINADOS



**TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA
PROVENIENTE DE LAS REGIONES DE LA ARAUCANÍA Y LOS RÍOS PARA USO EN
ELEMENTOS LAMINADOS¹**

Luis Vásquez², Patricio Elgueta, Gonzalo Hernández,
Raúl Campos, Jorge Catalán y Cristian Reyes

**INSTITUTO FORESTAL
2019
Área de Tecnología y Productos de Madera**

¹ Publicación financiada por recursos de Convenio de Transferencia MINAGRI-INFOR 2018.

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



INFOR

INSTITUTO FORESTAL

Sucre 2397 Ñuñoa

Santiago. Chile

Tel. 56 2 23667115

www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-156-2

Registro de Propiedad Intelectual N° 2020-A-739

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, 2019. Tensiones Admisibles de la Madera Aserrada de Pino Radiata Proveniente de las Regiones de La Araucanía y Los Ríos para uso en Elementos Laminados. Instituto Forestal. Chile. Informe Técnico N° 227. P.23

PRÓLOGO

En los años 80 del siglo pasado, el Instituto Forestal (INFOR) desarrolló en el país la tecnología para la producción de vigas de madera laminadas encoladas de pino radiata para uso estructural, aplicables a construcciones de madera de distintos tipos.

Estos trabajos se realizaron en la Planta Piloto de Vigas Laminadas que INFOR mantuvo en la época en la ciudad de Santiago para la producción de estos elementos de ingeniería en madera. Se trabajó con diferentes tipos de vigas; rectas y curvas, con uniones *finger joint* en la longitud de las láminas para eliminar defectos, con diferentes adhesivos para uso en interiores o exteriores y con variadas dimensiones en cuanto a escuadrías y largos de las vigas.

Una vez desarrollada esta tecnología fue transferida al sector privado y hoy diferentes empresas producen estos elementos de construcción que son empleados en viviendas y, principalmente, en grandes estructuras, como iglesias, galpones, gimnasios, centros comerciales y otras, reemplazando ventajosamente a estructuras de acero o concreto.

Las investigaciones de INFOR en aplicaciones constructivas de la madera dan origen a normas chilenas emitidas por el Instituto Nacional de Normalización (INN). Es así como las tensiones admisibles de las láminas tipo A y B utilizadas para fabricar vigas laminadas encoladas con madera aserrada de pino radiata están contenidas en la norma chilena NCh 2165 "Tensiones Admisibles para la Madera Laminada Encolada Estructural de Pino Radiata" (INN, 1991), sin embargo, estas no han sido actualizadas en los últimos 20 años.

El presente informe entrega la determinación de las tensiones admisibles de los grados visuales de las láminas A y B, para una muestra de madera aserrada proveniente de las regiones de La Araucanía y Los Ríos. Todos los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Madera Estructural de INFOR en la ciudad de Concepción, que cuenta con un sistema de gestión acreditado bajo la norma NCh-ISO 17025.

La información generada tiene por objeto proporcionar la base que permita la actualización de la norma chilena NCh 2165 Of 91, mejorar de este modo la producción de estos elementos constructivos y contribuir así al incremento del uso de madera en la construcción en el país.



Fernando Raga Castellanos
Director Ejecutivo
Instituto Forestal

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	METODOLOGÍA	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	5
2.3.3.	Resistencia a la Compresión Paralela a las fibras	7
2.3.4.	Resistencia al Cizalle Paralelo a las Fibras.....	8
2.3.5.	Densidad	10
2.4.	Determinación de los Valores Admisibles	11
3.	RESULTADOS.....	14
3.1.	Rendimiento de la Clasificación Visual	14
3.2.	Ensayos Físicos y Mecánicos.....	14
3.3.	Registro de Falla de Ensayos Mecánicos.....	19
3.4.	Tensiones Admisibles	21
4.	CONCLUSIONES	22
	REFERENCIAS	23

1. INTRODUCCIÓN

La clasificación estructural visual de la madera, 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 la forma de determinar las tensiones admisibles a partir de los resultados de los ensayos está ilustrado en la NCh 3028/2 (INN, 2008).

La clasificación estructural visual tipo A y B es efectuada según la norma chilena NCh 2150. Esta norma delimita los rangos permitidos de los defectos de la madera.

La metodología empleada para los ensayos mecánicos se encuentra dada en la norma NCh 3028/1 y el procedimiento para las tensiones admisibles a partir de los resultados de los ensayos está ilustrado en la norma NCh 3028/2.

En el presente informe se incluyen los resultados de la clasificación visual según norma chilena NCh 2150, en grados A y B, de una muestra de maderas extraídas de las regiones de La Araucanía y Los Ríos.

Además, se incluyen los resultados de la determinación de las tensiones admisibles para cada grado visual según la metodología señalada por la norma chilena NCh 3028/2, aplicando los esquemas de ensayos mencionados en la norma chilena NCh 3028/1.

Finalmente, se hace una comparación con los resultados de rendimientos en la clasificación visual y con los valores de las tensiones admisibles de cada propiedad mecánica.

2. METODOLOGÍA

2.1. Madera

La madera de pino radiata utilizada en el presente estudio proviene de las regiones de La Araucanía y Los Ríos.

La escuadría utilizada corresponde a 33 x 138 mm, cepillada, según norma chilena NCh 2824 (INN, 2003a).

2.2. Clasificación Visual

La norma chilena NCh 2150 establece las especificaciones que deben cumplir los grados estructurales visuales A y B de la madera aserrada de pino radiata a utilizar en la fabricación de elementos laminados.

En el Cuadro N° se indican los límites permitidos para cada grado estructural visual.

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

Característica o Defecto	Especificaciones para Grado		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:		a = Ancho de la cara
	35% del ancho de la cara: (0,35a)	50% del ancho de la cara: (0,50a)	
Alabeos	Ver tabla N° 1 de 4.1.3 de NCh 2150		Ver llamado 2) al pie de la tabla 1 de 4.1.3 de 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 N° 1 de 4.1.3 de NCh 2150		
Pudrición y perforación	No se aceptan		
Resina	Ver tabla N° 1 de 4.1.3 de 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 bajo diferentes disposiciones de carga; resistencia y rigidez en flexión, resistencia a la tracción paralela a las fibras, resistencia a la compresión paralela a las fibras, y 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: 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 del ensayo de resistencia y rigidez en flexión se ilustra en la Figura N° 1. La luz de ensayo corresponde a 18 veces el ancho de la probeta. La carga se aplica en los tercios de la luz, y equivale a $F/2$. Se debe elegir al azar un canto de la probeta como zona flexo-traccionada.

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 utilizan 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 en conjunto con 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.

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

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)

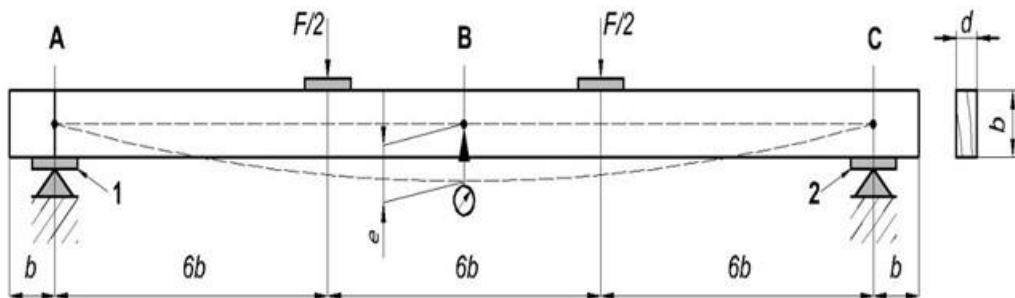


Figura N° 1
ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN
NCh 3028/1



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



Figura N° 3
APLICACIÓN ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN POSICIÓN DE CARA
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° 4. La longitud (L) de la pieza de madera entre las mordazas, según indicaciones de la norma, fue 2.000 milímetros más 8 veces el ancho (b) de la probeta.

La carga fue aplicada hasta la falla. En la Figura N° 5 se puede observar 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)

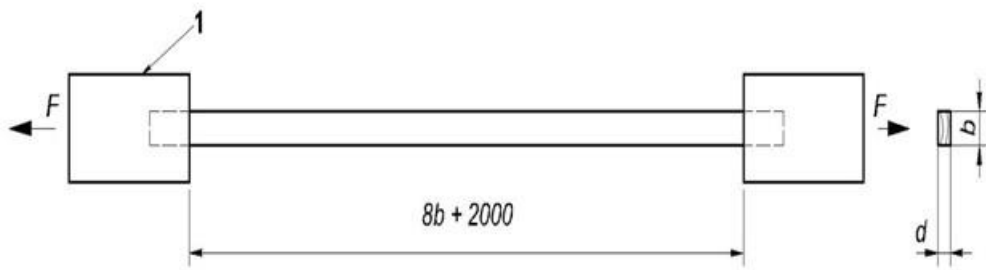


Figura N° 4
ESQUEMA ENSAYO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA
NCh 3028/1



Figura N° 5
APLICACIÓN ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA
NCh 3028/1

2.3.3. Resistencia a la Compresión Paralela a las Fibras

El esquema del ensayo de compresión paralela a las fibras se ilustra en la Figura N° 6.

La longitud (L) es de 2.000 mm más 8 veces el ancho (b) de la probeta.

La carga se aplica de forma axial hasta alcanzar la falla.

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

En la Figura N° 7 se observa la aplicación de un ensayo de compresión paralela, identificando la zona de carga y los dispositivos de restricción 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)

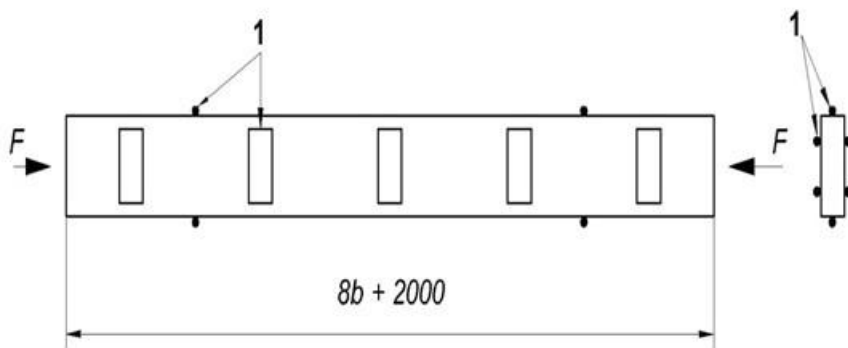


Figura N° 6
ESQUEMA ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARALELA
NCh 3028/1



Figura N° 7
APLICACIÓN ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA
NCh 3028/1

2.3.4. Resistencia al Cizalle Paralelo a las Fibras

El esquema del ensayo de cizalle paralelo a las fibras se ilustra en la Figura N° 8.

La longitud (L) y luz de ensayo es de 8 y 6 veces el ancho (b) de la probeta, respectivamente. La carga se aplica de forma central 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 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)

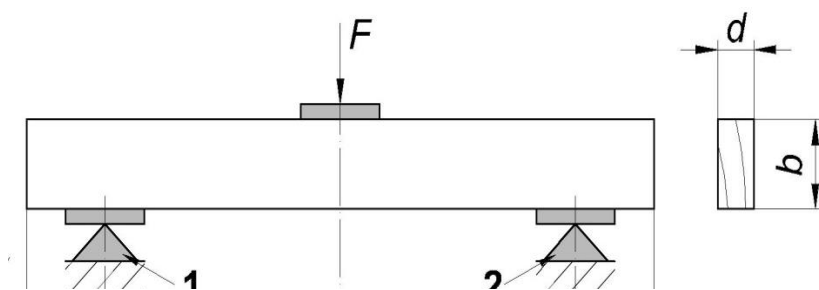


Figura N° 8
ESQUEMA ENSAYO RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO
NCh 3028/1



Figura N° 9
APLICACIÓN ENSAYO RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO POSICIÓN DE CANTO
NCh 3028/1



Figura N° 10
APLICACIÓN ENSAYO RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO POSICIÓN DE CARA
NCh 3028/1

2.3.5. Densidad

Las probetas utilizadas para determinar la densidad fueron obtenidas de cada una de las piezas ensayadas, con un largo igual al ancho de la pieza (b). La masa (m) y el contenido de humedad (H) fueron medidos para cada probeta ensayada. La densidad al momento del ensayo (ρ_e) fue calculada de acuerdo a la ecuación 6. La densidad al 12% de humedad (ρ_{12}) fue calculada de acuerdo a la ecuación 7.

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

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

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

Los valores admisibles para los grados estructurales visuales A y B clasificados según NCh 2150 de la madera aserrada de pino radiata, proveniente de las regiones de La Araucanía y Los Ríos, se determinaron según el análisis estadístico y especificaciones de la norma chilena 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.

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, 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 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 11.

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

Dónde:

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

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

3. RESULTADOS

3.1. Rendimiento de la Clasificación Visual

El detalle de la clasificación visual estructural de las piezas de madera aserrada de pino radiata provenientes de las regiones de La Araucanía y Los Ríos se registra en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5
DETALLE DE LA CLASIFICACIÓN VISUAL ESTRUCTURAL
REGIONES DE LA ARAUCANÍA Y LOS RÍOS

Región	Total Revisado (piezas)	Grados Estructurales (Piezas)		Total en Grado (piezas)	Rechazo (piezas)	Rendimiento (%)
		A	B			
Araucanía	1.000	360	360	720	280	72,0
Los Ríos	1.730	270	360	630	1.100	36,4

3.2. Ensayos Físicos y Mecánicos

La distribución para los ensayos de laboratorio de las piezas de madera aserrada de pino radiata provenientes de las regiones de La Araucanía y Los Ríos y clasificadas visualmente en los grados A y B, se describe en los Cuadros N° 6 y N° 7.

Cuadro N° 6
CANTIDAD DE PIEZAS CLASIFICADAS POR TIPO DE ENSAYO
REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

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

Cuadro N° 7
CANTIDAD DE PIEZAS CLASIFICADAS POR TIPO DE ENSAYO
REGIÓN DE LOS RÍOS

Ensayos	Laminación Horizontal		Laminación Vertical		Total
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B	
Flexión	60	60	30	60	210
Cizalle	60	60	60	60	240
Tracción paralela	--	--	30	60	90
Compresión paralela	--	---	30	60	90
Total	120	120	150	240	630

Los Cuadros N° 8 a N° 17 muestran la estadística descriptiva de los resultados de los ensayos mecánicos de resistencia en flexión (MORf), rigidez en flexión (MOE), resistencia a la tracción paralela (RTp), resistencia a la compresión paralela (RCp) y resistencia al cizalle paralelo (RCz), por grado visual estructural (A y B), y por región de procedencia, a un 12% de contenido de humedad. Los Cuadros N° 18 y N° 19 indican la estadística descriptiva de los resultados de la densidad a un 12% de contenido de humedad.

Cuadro N° 8
RESISTENCIA EN FLEXIÓN (MORf) REGIÓN LA ARAUCANÍA

Descripción	Laminación Vertical		Laminación Horizontal	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	53,5	36,1	70,2	55,4
Valor mínimo [MPa]	23,1	11,8	30,4	11,1
Valor máximo [MPa]	107,5	64,4	115,5	100,6
Rango [MPa]	84,4	52,6	85,1	89,5
Desviación estándar [MPa]	17,0	12,1	18,7	16,5
Coefficiente de variación (%)	31,8	33,4	26,7	29,8
Tamaño muestra	60	60	60	60

Cuadro N° 9
RESISTENCIA EN FLEXIÓN (MORf) REGIÓN LOS RÍOS

Descripción	Laminación Vertical		Laminación Horizontal	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	62,8	40,4	55,0	46,7
Valor mínimo [MPa]	24,1	17,2	33,4	21,2
Valor máximo [MPa]	174,3	87,4	70,5	76,6
Rango [MPa]	150,2	70,2	37,1	55,5
Desviación estándar [MPa]	43,0	16,2	8,9	13,6
Coefficiente de variación (%)	68,4	40,1	16,1	29,1
Tamaño muestra	30	60	60	60

Cuadro N° 10
RIGIDEZ EN FLEXIÓN (MOE) REGIÓN LA ARAUCANÍA

Descripción	Laminación Vertical		Laminación Horizontal	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	10.206	8.043	9.125	7.990
Valor mínimo [MPa]	4.605	4.547	4.421	4.501
Valor máximo [MPa]	17.071	11.839	14.850	12.106
Rango [MPa]	12.466	7.291	10.430	7.605
Desviación estándar [MPa]	2.230	1.712	2.315	1.848
Coefficiente de variación (%)	21,9	21,3	25,4	23,1
Tamaño muestra	60	60	60	60

Cuadro N° 11
RIGIDEZ EN FLEXIÓN (MOE) REGIÓN LOS RÍOS

Descripción	Laminación Vertical		Laminación Horizontal	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	7.449	9.142	8.002	7.745
Valor mínimo [MPa]	5.050	5.381	4.175	4.071
Valor máximo [MPa]	10.534	15.475	11.675	12.097
Rango [MPa]	5.484	10.093	7.500	8.026
Desviación estándar [MPa]	1.517	1.813	1.736	1.552
Coefficiente de variación (%)	20,4	19,8	21,7	20,0
Tamaño muestra	30	60	60	60

Cuadro N° 12
RESISTENCIA EN TRACCIÓN PARALELA (RTp) REGIÓN LA ARAUCANÍA

Descripción	Grado Estructural Visual	
	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	37,5	26,9
Valor mínimo [MPa]	3,6	7,5
Valor máximo [MPa]	63,2	71,2
Rango [MPa]	59,5	63,7
Desviación estándar [MPa]	12,4	14,9
Coefficiente de variación (%)	33,0	55,2
Tamaño muestra	60	60

Cuadro N° 13
RESISTENCIA EN TRACCIÓN PARALELA (RTp) REGIÓN LOS RÍOS

Descripción	Grado Estructural Visual	
	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	30,7	25,2
Valor mínimo [MPa]	14,6	0,2
Valor máximo [MPa]	56,0	70,5
Rango [MPa]	41,4	70,3
Desviación estándar [MPa]	11,0	26,4
Coefficiente de variación (%)	35,8	104,6
Tamaño muestra	30	14

Cuadro N° 14
RESISTENCIA EN COMPRESIÓN PARALELA (RCp) REGIÓN LA ARAUCANÍA

Descripción	Grado Estructural Visual	
	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	29,7	21,8
Valor mínimo [MPa]	21,6	12,4
Valor máximo [MPa]	43,2	38,2
Rango [MPa]	21,5	25,8
Desviación estándar [MPa]	5,4	5,2
Coefficiente de variación (%)	18,0	23,8
Tamaño muestra	60	60

Cuadro N° 15
RESISTENCIA EN COMPRESIÓN PARALELA (RCp) REGIÓN LOS RÍOS

Descripción	Grado Estructural Visual	
	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	28,1	18,6
Valor mínimo [MPa]	15,1	12,4
Valor máximo [MPa]	38,8	29,4
Rango [MPa]	23,7	16,9
Desviación estándar [MPa]	5,4	3,7
Coefficiente de variación (%)	19,3	19,8
Tamaño muestra	30	60

Cuadro N° 16
RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO (RCz) REGIÓN LA ARAUCANÍA

Descripción	Laminación Vertical		Laminación Horizontal	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	6,1	4,5	7,8	6,4
Valor mínimo [MPa]	3,4	1,0	5,1	2,6
Valor máximo [MPa]	8,1	7,2	9,9	9,5
Rango [MPa]	4,8	6,3	4,9	6,9
Desviación estándar [MPa]	0,9	1,4	1,1	1,8
Coeficiente de variación (%)	14,7	29,9	14,1	27,7
Tamaño muestra	60	60	60	60

Cuadro N° 17
RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO (RCz) REGIÓN LOS RÍOS

Descripción	Laminación Vertical		Laminación Horizontal	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Promedio [MPa]	4,8	4,0	6,8	6,0
Valor mínimo [MPa]	2,3	1,2	4,2	3,0
Valor máximo [MPa]	7,5	6,5	10,0	9,9
Rango [MPa]	5,2	5,3	5,8	6,9
Desviación estándar [MPa]	1,0	1,2	1,2	1,4
Coeficiente de variación (%)	20,7	31,1	17,6	23,2
Tamaño muestra	60	60	60	60

Cuadro N° 18
DENSIDAD AL 12% C.H. REGIÓN LA ARAUCANÍA

Descripción	Grado A	Grado B
Promedio [Kg/m³]	492,4	460,5
Valor mínimo [Kg/m³]	384,5	359,5
Valor máximo [Kg/m³]	599,9	667,4
Rango [Kg/m³]	215,5	307,8
Desviación estándar [Kg/m³]	39,9	43,1
Coeficiente de variación (%)	8,1	9,4
Tamaño muestra	240	240
Percentil 5 [Kg/m³]	434,1	392,9

Cuadro N° 19
DENSIDAD AL 12% C.H. REGIÓN LOS RÍOS

Descripción	Grado A	Grado B
Promedio [Kg/m ³]	439,5	444,3
Valor mínimo [Kg/m ³]	345,5	362,5
Valor máximo [Kg/m ³]	687,1	610,7
Rango [Kg/m ³]	341,7	248,3
Desviación estándar [Kg/m ³]	45,2	46,2
Coeficiente de variación (%)	10,3	10,4
Tamaño muestra	150	180
Percentil 5 [Kg/m ³]	379,5	378,5

3.3. Registro de Falla de Ensayos Mecánicos

En las Figuras N° 11 a N° 16 se ilustran las fallas para cada uno de los ensayos mecánicos realizados bajo el esquema de la norma NCh3028/1.



Figura N° 11
FALLA ENSAYO FLEXIÓN POSICIÓN DE CANTO PARA LAMINACIÓN VERTICAL



Figura N° 12
FALLA ENSAYO FLEXIÓN POSICIÓN DE CARA PARA LAMINACIÓN HORIZONTAL



Figura N° 13
FALLA ENSAYO TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA



Figura N° 14
FALLA ENSAYO COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS



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



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

3.4. Tensiones Admisibles

Las tensiones admisibles de resistencia en flexión y cizalle para laminación vertical y horizontal, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción paralela y módulo de elasticidad en flexión, para los grados estructurales visuales A y B de pino radiata de las regiones de La Araucanía y Los Ríos según norma chilena NCh 3028/2, se registran en los Cuadros N° 20 y N° 21. En el Cuadro N° 22 se comparan las tensiones admisibles de los grados A y B obtenidas experimentalmente para la muestra de la región de La Araucanía y la región de Los Ríos, con las tensiones admisibles obtenidas por INFOR para las regiones del Maule y Bio Bio.

Cuadro N° 20
TENSIONES ADMISIBLES GRADOS VISUALES DE PINO RADIATA REGIÓN LA ARAUCANÍA

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	19,0	1,5	12,6	1,1	11,0	5,4	9.125
B	13,3	0,9	7,5	0,5	8,1	4,7	7.990

Cuadro N° 21
TENSIONES ADMISIBLES GRADOS VISUALES DE PINO RADIATA REGIÓN LOS RÍOS

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	18,3	1,1	12,2	0,8	9,2	7,0	8.002
B	10,4	0,8	8,8	0,4	7,3	3,6	7.449

Cuadro N° 22
COMPARACIÓN TENSIONES ADMISIBLES
REGIONES MAULE, BIO BIO, LA ARAUCANÍA Y LOS RÍOS

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	9.900
	Araucanía	19,0	1,3	12,6	1,1	11,5	8,0	9.125
	Los Ríos	18,3	1,1	12,2	0,8	9,2	7,0	8.002
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
	Araucanía	13,3	0,9	7,5	0,5	8,1	4,7	7.990
	Los Ríos	10,4	0,8	8,8	0,4	7,3	3,6	7.449

En el Cuadro N° 23 se comparan los valores del percentil 5% de las densidades, para ambos grados visuales, por región de origen a un 12% de contenido de humedad.

Cuadro N° 23
COMPARACIÓN PERCENTIL 5% DENSIDAD
REGIONES MAULE, BIO BIO, LA ARAUCANÍA Y LOS RÍOS

Región	Grado A (Kg/m ³)	Grado B (Kg/m ³)
Maule	433	412
Bio Bio	389	361
La Araucanía	434	393
Los Ríos	380	379

4. CONCLUSIONES

Los resultados de tensiones admisibles y módulo de elasticidad de la muestra obtenida de la región de La Araucanía y Los Ríos muestran una clara separación entre los grados visuales A y B de la norma NCh 2150, manteniendo la hipótesis de a mejor grado visual, mayor resistencia y rigidez.

Se observaron fallas típicas en los ensayos de flexión, tracción paralela a la fibra, compresión paralela a la fibra, y cizalle paralelo a la fibra.

Al comparar el rendimiento de madera estructural clasificada de las muestras provenientes de la región de La Araucanía (72% estructural y 28% rechazo) con las muestras provenientes de la región de Los Ríos (36% estructural y 64% rechazo) se demuestra la importancia de la clasificación estructural en el aserradero. Esto implicaría menos pérdidas en la fabricación de elementos laminados y mayor valor agregado para el aserradero proveedor.

REFERENCIAS

INN, 1989. NCh 2150 Mod. 1991. 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.



INFOR

www.infor.cl