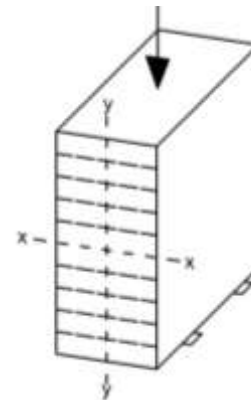
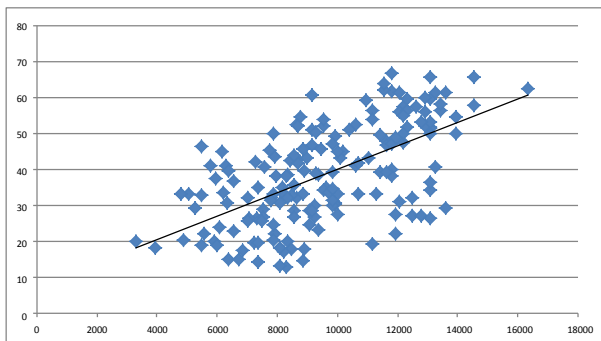


TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA PROVENIENTE DE LA REGIÓN DEL BÍO BÍO PARA USO EN ELEMENTOS LAMINADOS



**INSTITUTO FORESTAL
2016**

INSTITUTO FORESTAL
ÁREA TECNOLOGÍA Y PRODUCTOS DE LA MADERA

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

Autores

Luis Vásquez V.¹
Gonzalo Hernández C.²
Raúl Campos P.³
Patricio Elgueta M.⁴
Marcelo González R.⁵
Jorge Catalán L.⁶

¹ Instituto Forestal. luis.vasquez@infor.cl

² Instituto Forestal. gonzalo.hernandez@infor.cl

³ Instituto Forestal. raul.campos@infor.cl

⁴ Instituto Forestal. patricio.elgueta@infor.cl

⁵ Instituto Forestal. marcelo.gonzalez@infor.cl

⁶ Instituto Forestal. jorge.catalan@infor.cl



INFOR

INSTITUTO FORESTAL - Chile 2016

Tensiones admisibles de la madera aserrada de Pino radiata proveniente de la región del Bío Bío para uso en elementos laminados.

Informe Técnico N° 211

Área Tecnología y Productos de la Madera, INFOR, Sede Bio Bio.

Estudio financiado por el Contrato de Desempeño INFOR-MINAGRI 2016.

www.infor.cl

www.construccionenmadera.cl

PRÓLOGO

Las tensiones básicas (características) de la madera aserrada de Pino radiata utilizada en la fabricación de elementos laminados están incorporadas en la NCh 2165. Of91 “tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata”, las cuales no han sido actualizadas desde hace 25 años.

En este informe se exponen los resultados de los ensayos mecánicos de laboratorio aplicados a madera aserrada de Pino radiata proveniente de la VIII región del país, previamente clasificada en los grados visuales A y B, que son utilizadas en la fabricación de elementos laminados. Las tensiones básicas (características) obtenidas en los ensayos de laboratorio se contrastan con las tensiones señaladas en la NCh 2165. Of91.

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 NCh-ISO 17025.

Los antecedentes entregados en el informe técnico tienen por objetivo sustentar una futura actualización de la NCh 2165 Of91.

La presente publicación “Tensiones admisibles de la madera aserrada de Pino radiata proveniente de la región del Bío Bío para uso en elementos laminados”, fue financiada con recursos provenientes del Convenio 2016, suscrito entre Ministerio de Agricultura (MINAGRI) y el Instituto Forestal (INFOR).

Participaron en este estudio los profesionales y técnicos del Área de Tecnología y Productos de la Madera del INFOR señores Luí Vázquez Valenzuela, Gonzalo Hernández Careaga, Patricio Elgueta Muñoz, Raúl Campos Pous, Marcelo González Retamal, y Jorge Catalán Linco.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA.....	2
2.1 Madera	2
2.2 Clasificación visual.....	2
2.3 Ensayos físicos y mecánicos	3
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	6
2.3.4 Resistencia al cizalle paralelo a las fibras.....	8
2.3.4 Densidad.....	10
2.4 Determinación de los valores admisibles.....	10
3. RESULTADOS	14
3.1 Clasificación visual estructural	14
3.2 Ensayos físicos y mecánicos	14
3.3 Tensiones básicas (características).....	17
3.4. Comparación de las Tensiones admisibles actuales con las registradas en NCh 2165	17
4. CONCLUSIONES.....	18
5. BIBLIOGRAFÍA.....	19

1. INTRODUCCIÓN

La clasificación estructural de madera es una técnica mediante la cual las piezas de madera se agrupan según su capacidad para resistir cargas o esfuerzos. Este agrupamiento proporciona al usuario la confianza de esperar un valor mínimo de resistencia para las piezas de un determinado grupo o grado estructural, cualquiera sea el origen del material. Cada grado se asocia con un conjunto de tensiones admisibles que permiten diseñar estructuras de madera en forma segura y confiable.

Existen dos métodos de clasificación estructural de madera: la clasificación mecánica y la clasificación visual. La primera consiste en someter a las piezas a un ensayo no destructivo por medio del cual se determina la rigidez y se asocia a una clase estructural. Por otro lado, la clasificación visual consiste en examinar y cuantificar una serie de características de la madera, tales como nudos, inclinación de la fibra, grietas, alabeos, etc. La clasificación visual debe ser realizada por clasificadores profesionales, que corresponde a personal entrenado para realizar esta labor en los aserraderos. Un clasificador requiere de un entrenamiento y formación adecuados, por medio de cursos que sean realizados por entidades técnicamente competentes, y reconocidas por el mercado y la autoridad reguladora.

En este informe se exponen los resultados de los ensayos mecánicos aplicados a madera aserrada de Pino radiata proveniente de la VIII región del país, previamente clasificada en los grados visuales A y B, que es utilizada en la fabricación de elementos laminados. Las tensiones básicas (características) obtenidas en los ensayos de laboratorio se contrastan con las tensiones señaladas en la NCH 2165. Of91.

La metodología empleada, para la clasificación visual, los ensayos mecánicos y el análisis de los datos están de acuerdo a la normativa chilena vigente.

2. METODOLOGÍA

2.1 Madera

La madera de Pino radiata utilizada en este estudio proviene de la VIII región del país. La muestra de madera cepillada seca fue adquirida en un aserradero trabajando en la Provincia del Biobío. La escuadría utilizada corresponde a 33x138 mm.

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 (tabla 2.1).

Tabla 2.1: Límites admisibles 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:		a = ancho de la cara
	35% del ancho de la cara: (0,35a)	de 1/2 del ancho de la cara: (0,50a)	
Alabeos	Ver tabla 1 de 4.1.3		Ver llamado 2) al pie de la tabla 1
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		
Pudrición y perforación	No se aceptan		
Resina	Ver tabla 1 de 4.1.3		
Velocidad de crecimiento	Más de 0,8 anillo por cada cm	Más de 0,7 anillo por cada cm	

Fuente: NCh 2150

2.3 Ensayos físicos y mecánicos

Se realizaron distintos ensayos mecánicos a la madera aserrada cepillada de Pino radiata. Ellos corresponden a la resistencia y rigidez en flexión (laminación horizontal, laminación vertical), cizalle ((laminación horizontal, laminación vertical), resistencia a la tracción paralela a las fibras, y la resistencia a la compresión paralela a las fibras. 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 xilohrómetros portátiles calibrados bajo la norma chilena NCh2827

2.3.1 Resistencia y rigidez en flexión

El esquema de ensayo de resistencia y rigidez en flexión se registra en la figura 2.1. A una pieza de madera aserrada de luz $18 d$ se le aplicó una carga en dos puntos, ubicadas a igual distancia entre los apoyos de los extremos, considerando una carga igual a $F/2$. Se eligió al azar el canto de la probeta flexo-traccionado. En la figura 2.2 se observa el ensayo que permite cuantificar la resistencia y rigidez en flexión, implementado con restricciones laterales que impiden el volcamiento de la pieza, el uso de apoyos móviles y un cilindro hidráulico para la aplicación de la carga.

El ensayo consistió en medir la carga aplicada en los tercios de la luz de ensayo y el desplazamiento del eje neutro de la probeta en el centro de la luz. La información entregada por el ensayo permitió determinar el módulo de elasticidad (E) y la tensión de rotura en flexión (f_m), calculadas con las expresiones siguientes:

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

Donde,

- E : Módulo de elasticidad en flexión
- L : Luz de la pieza de madera entre apoyos
- d : Espesor de la pieza de madera
- b : Ancho de la pieza de madera
- $\left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right)$: 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.

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

Dónde,

f_m : Resistencia en flexión

$F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima

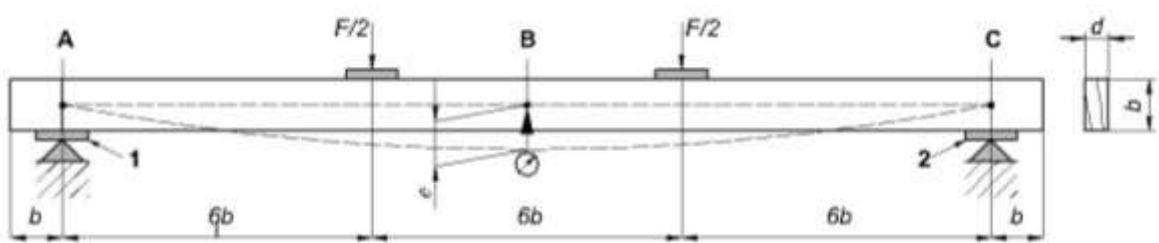
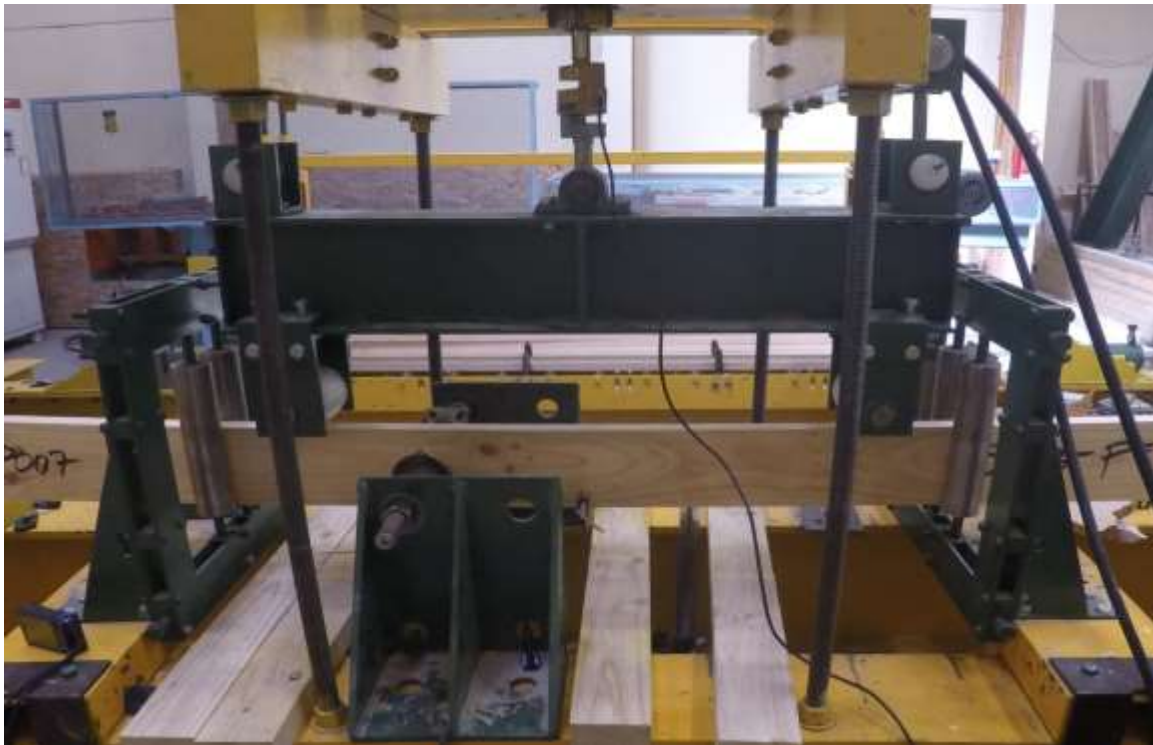


Figura 2.1: Esquema de ensayo de resistencia y rigidez en flexión. Fuente: NCh 3028/1



(a)



(b)

Figura 2.2: Aplicación del ensayo de resistencia y rigidez en flexión según NCh 3028/1.
(a) Laminación vertical; (b) Laminación horizontal.

Fuente: LME-INFOR.

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 2.3. La longitud (L) de la pieza de madera entre las mordazas, según indicaciones de la norma, debe tener una longitud de 2.000 milímetros más 8 veces el ancho (b) de la probeta. La carga fue aplicada hasta la falla de la probeta. En la figura 2.4 se observa la aplicación de carga en un ensayo de tracción paralela.

La resistencia a la tracción paralela ($f_{t,0}$) fue calculada con la siguiente expresión:

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

Donde,

- $f_{t,0}$: Resistencia a la tracción paralela a las fibras
- $F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima
- d : Espesor de la pieza de madera
- b : Ancho de la pieza de madera

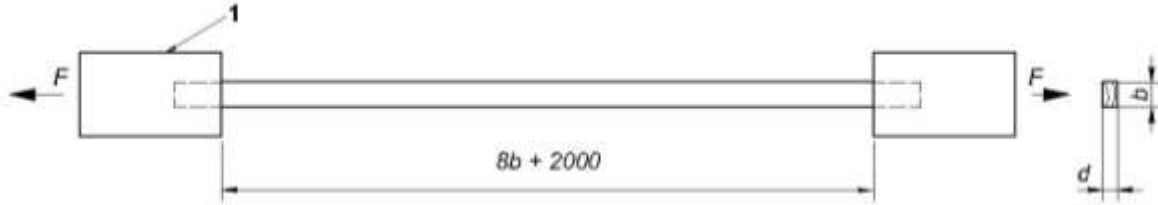


Figura 2.3: Esquema ensayo resistencia a la tracción paralela a las fibras.
Fuente: NCh 3028/1



Figura 2.4: Aplicación de un ensayo de resistencia a la tracción paralela a las fibras.
Fuente: LME-INFOR.

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 2.5. La longitud de la pieza de madera ensayada, según indicaciones de la norma, debe tener una longitud de 2.000 milímetros 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 de 10 veces el espesor (d) para el pandeo respecto al eje mayor. En la figura 2.6 se observa la aplicación de carga en un ensayo de compresión paralela.

La resistencia a la compresión paralela ($f_{c,0}$) fue calculada con la siguiente expresión:

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

Dónde,

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

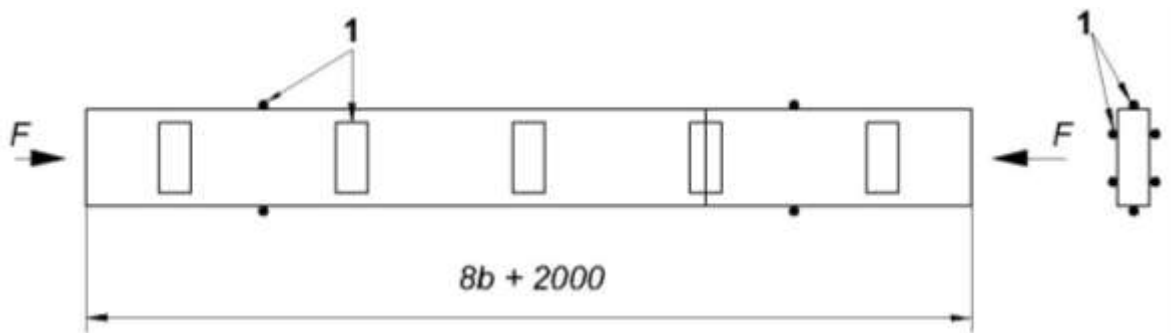


Figura 2.5: Esquema ensayo resistencia a compresión paralela a las fibras.
Fuente: NCh 3028/1



Figura 2.6: Aplicación de un ensayo de resistencia a la compresión paralela a las fibras.
Fuente: LME-INFOR.

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 2.7. La longitud de la pieza de madera, según indicaciones de la norma, debe tener una longitud de 8 veces el ancho (b) de la probeta, y la luz de ensayo debe ser 6 veces (b); siendo sometida a una carga central puntual hasta que se produzca la falla. En la figura 2.8 se observa la aplicación de carga en un ensayo de cizalle paralelo.

La resistencia a la cizalle paralelo (f_v) fue calculada con la expresión siguiente:

$$f_v = \frac{0,75 * F_{m\acute{a}x}}{bd}$$

Dónde,

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

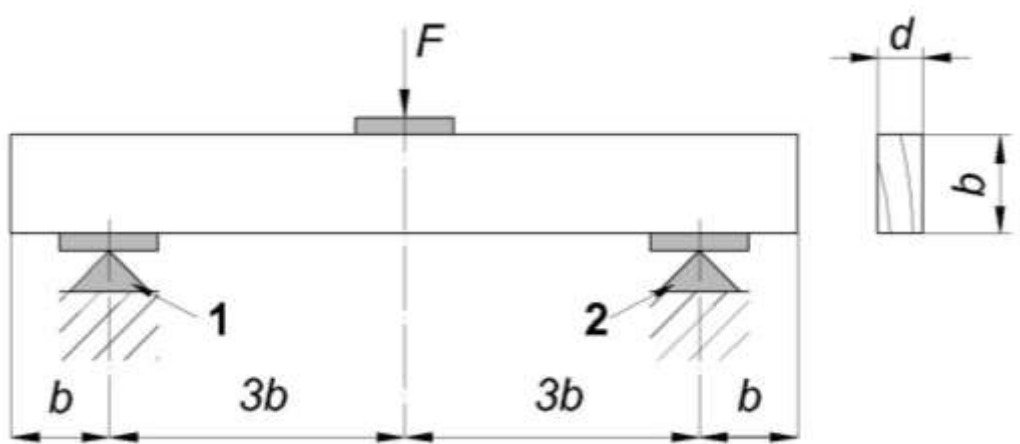


Figura 2.7: Esquema ensayo resistencia al cizalle paralelo a las fibras. Fuente: NCh 3028/1



(a)



(b)

Figura 2.8: Aplicación de un ensayo de resistencia al cizalle paralelo a las fibras. (a) Laminación vertical; (b) Laminación horizontal.

Fuente: LME-INFOR.

2.3.4 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 con la siguiente expresión:

$$\rho_e = \frac{m}{bdL}$$

La densidad al 12% de humedad (ρ_{12}) fue calculada como se indica:

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

Dónde,

ρ_e	: Densidad de ensayo
ρ_{12}	: Densidad al 12% de humedad
d	: Espesor de la pieza de madera
b	: Ancho de la pieza de madera
L	: Largo de la probeta de madera para densidad
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 A y B de la madera aserrada de Pino radiata se determinó 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.

Los resultados de los ensayos realizados de acuerdo a la metodología establecida en NCh 3028/1 fueron ajustados a las siguientes condiciones:

Contenido de humedad único (12%). Las fórmulas de ajuste para el módulo de rotura en flexión, la resistencia a la tracción paralela y la resistencia a la compresión paralela son las siguientes:

$$P_2 = P_1$$

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.

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

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.

Dónde,

- P_1 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 1
 P_2 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 2
 H_1 : Contenido de humedad 1, expresado en [%]
 H_2 : Contenido de humedad 2, expresado en [%]
 B_1, B_2 : Constantes según tabla 2.3

Tabla 2.3: Constantes para el ajuste de contenido de humedad para resistencia en flexión, tracción paralela y compresión paralela

Constantes	Resistencia en flexión	Resistencia en tracción paralela	Resistencia en compresión paralela
B_1	16,65	21,72	9,65
B_2	40	80	34

Fuente: NCh 3028/2

La fórmula de ajuste para el módulo de elasticidad en flexión y la resistencia al cizalle paralelo a la fibra es la siguiente:

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

Dónde,

- P_1 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 1
 P_2 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 2
 H_1 : Contenido de humedad 1, expresado en [%]
 H_2 : Contenido de humedad 2, expresado en [%]
 B_1, B_2 : Constantes según tabla 2.4

Tabla 2.4: Constantes para el ajuste de contenido de humedad para elasticidad en flexión

Constantes	Elasticidad en flexión	Resistencia al cizalle paralelo
B_1	1,857	1,33
B_2	0,0237	0,0167

Fuente: NCh 3028/2

- La validez de las fórmulas de ajuste por contenido de humedad se restringen a un rango de 10% a 23%. Para valores inferiores o superiores a los límites, se deben considerar estos últimos en las fórmulas.
- Estandarización del módulo de elasticidad para reflejar las condiciones de uso previstas para el material (relación luz/profundidad y configuración de carga). Para determinar el módulo de elasticidad aparente se debe resolver la siguiente expresión:

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

Dónde,

- E_{ai2} : Módulo de elasticidad aparente
- E_{ai} : Módulo de elasticidad de ensayo
- h : Altura de la sección transversal de la viga
- L : Distancia total entre los apoyos de la viga
- E : Módulo de elasticidad libre del efecto del esfuerzo cortante
- G : Módulo de rigidez
- K_i : Factor de ajuste del módulo de elasticidad aparente, según tabla 2.5

Tabla 2.5: 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: NCh 3028/2

- Ajuste de 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 (ver tabla 2.6).

Tabla 2.6: 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: NCh 3028/2

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 que:

$$\frac{i}{n+1} \geq \frac{k}{100}$$

Dónde,

- 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 expresión:

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

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 Clasificación visual estructural

El objetivo de la clasificación visual fue obtener 358 piezas del grado A y 360 piezas del grado B. Esta partida fue seleccionada de un lote de 1.800 piezas, rechazando 1.082 piezas. La tabla 3.1 detalla las causas de rechazo de las piezas inspeccionadas.

Tabla 3.1: Detalle del rechazo de las piezas inspeccionadas

Defecto	Cantidad
Arista faltante	371
Alabeos	245
Bolsillo de resina	207
Velocidad de crecimiento	202
Tolerancia dimensional	57
Total	1.082

La madera de Pino radiata correspondió a piezas cepilladas de escuadría 33 x 138 mm (1,5 x 6") con un largo de 3,20 metros, en estado seco (contenido de humedad bajo el 19%). Cada pieza de madera se clasificó visualmente según indicaciones de la norma NCh 2150.

3.2 Ensayos físicos y mecánicos

Las 718 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 la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Cantidad de piezas en grados NCh 2150 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	58	60	238
Tracción paralela	--	--	60	60	120
Compresión paralela	--	---	60	60	120
Total	120	120	238	240	718

Las tablas 3.3 a 3.8 registran la estadística descriptiva de los resultados de 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 grados visuales A y B.

Tabla 3.3: Densidad de la madera ensayada (12%)

Descripción	Grado A	Grado B
	[Kg/m ³]	[Kg/m ³]
Promedio	466,3	431,5
Valor mínimo	327,8	325,1
Valor máximo	697,0	666,0
Rango	369,1	340,9
Desviación estándar	46,0	47,1
Coefficiente de variación	9,88%	10,92%
Suma	166.943,3	155.337,3
Tamaño de muestra	358	360
Valor percentil 5%	389,2	361,5

Tabla 3.4: Módulo de rigidez en flexión

Descripción	Laminación Horizontal		Laminación vertical	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
	E (MPa)	E [MPa]	E [MPa]	E [MPa]
Promedio	9.493	7.880	10.500	8.959
Valor mínimo	4.670	4.218	6.407	5.600
Valor máximo	13.673	14.487	15.849	134.68
Rango	9.002	10.269	9.442	7.868
Desviación estándar	1.681	1.659	1.989	1.972
Coefficiente de variación	17,71%	21,06%	18,94%	22,01%
Suma	569.571	472.809	630.023	537.513
Tamaño de muestra	60	60	60	60
Valor percentil 5%	6.599	5.114	6.951	5.985

Tabla 3.5: Módulo de rotura en flexión

Descripción	Laminación horizontal		Laminación vertical	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Promedio	68,4	53,8	52,6	38,5
Valor mínimo	37,8	27,0	14,5	7,9
Valor máximo	96,0	99,3	79,9	114,1
Rango	58,2	72,3	65,4	106,2
Desviación estándar	11,8	13,4	16,8	18,2
Coefficiente de variación	17,30%	24,98%	32,04%	47,16%
Suma	4.105	3.229	3.155	2.309
Tamaño de muestra	60	60	60	60
Valor percentil 5%	45,6	30,5	19,6	14,7

Tabla 3.6: Módulo de rotura en tracción paralela

Descripción	Laminación vertical	
	Grado A	Grado B
	[MPa]	[MPa]
Promedio	37,7	18,3
Valor mínimo	10,9	5,8
Valor máximo	71,6	43,6
Rango	60,6	37,8
Desviación estándar	17,0	8,9
Coefficiente de variación	45,02%	48,60%
Suma	2.260	1.100
Tamaño de muestra	60	60
Valor percentil 5%	16,8	7,6

Tabla 3.7: Módulo de rotura en compresión paralela

Descripción	Laminación vertical	
	Grado A	Grado B
	[MPa]	[MPa]
Promedio	27,4	21,1
Valor mínimo	17,1	10,3
Valor máximo	45,1	29,3
Rango	28,0	19,0
Desviación estándar	4,7	3,7
Coefficiente de variación	16,98%	17,44%
Suma	1.643	1.268
Tamaño de muestra	60	60
Valor percentil 5%	20,8	14,8

Tabla 3.8: Módulo de rotura en cizalle paralelo

Descripción	Laminación horizontal		Laminación vertical	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Promedio	8,1	6,8	5,4	4,4
Valor mínimo	4,0	3,9	2,6	2,3
Valor máximo	11,0	11,0	11,3	6,8
Rango	7,0	7,0	8,6	4,6
Desviación estándar	1,5	1,6	1,2	0,9
Coefficiente de variación	18,45%	23,58%	21,92%	21,71%
Suma	486	405	315	261
Tamaño de muestra	60	60	58	60
Valor percentil 5%	4,5	4,3	3,4	2,6

3.3 Tensiones básicas (características)

Las tensiones básicas (características) de resistencia en flexión y cizalle (laminación vertical y horizontal), resistencia a la compresión y tracción paralela, y módulo de elasticidad en flexión, obtenidas para los grados visuales estructurales A y B del Pino radiata, se registran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8: Tensiones básicas (características) madera estructural de Pino radiata, Grados A y B

Grado	Laminación Horizontal		Laminación Vertical		Tensión Axial		
	Flexión (MPa)	Cizalle (MPa)	Flexión (MPa)	Cizalle (MPa)	Compresión paralela (MPa)	Tracción paralela (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
A	21,7	1,1	9,3	0,83	10,9	8,0	9.900
B	14,5	1,0	7,0	0,63	7,8	3,62	8.400

3.4. Comparación de las Tensiones admisibles actuales con las registradas en NCh 2165

La tabla 3.9 registra las tensiones admisibles obtenidas experimentalmente y las que señala la norma NCh 2165.

Tabla 3.9: Tensiones admisibles experimentales y las registradas en NCh 2165

Grado	Laminación Horizontal		Laminación Vertical		Tensión Axial		
	Flexión (MPa)	Cizalle (MPa)	Flexión (MPa)	Cizalle (MPa)	Compresión paralela (MPa)	Tracción paralela (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
A	19	1,3	19,0	1,08	13,0	9,3	10.000
	21,7	1,1	9,3	0,83	10,9	8,0	9.900
B	19	1,3	14,0	1,08	13,0	6,3	8.000
	14,5	1,0	7,0	0,63	7,8	3,62	8.400

Nota: Los número indicados en fondo oscuro corresponden a valores experimentales

La propiedad de flexión, para la condición de laminación horizontal, grado A, experimentó un aumento de la tensión admisible respecto de la indicada por NCh 2165. La misma tendencia registró el módulo de elasticidad en el grado visual B. Todas las otras propiedades registraron una disminución de las tensiones admisibles respecto de NCh 2165, incluido el módulo de elasticidad del grado A.

Las mayores diferencias en los valores de laboratorio y los registrados en la norma NCh 2165 se observan en las propiedades de flexión, condición laminación vertical, grados A y B, compresión paralela, grado B, y tracción paralela, grado B. En todas ellas prácticamente se duplica la diferencia entre los valores.

4. CONCLUSIONES

Las principales características de la madera aserrada de pino radiata que limitan su uso estructural para la fabricación de elementos laminados, basado en los criterios de clasificación visual de la norma NCh 2150, son arista faltante y alabeos.

Por lo general, todas las propiedades mecánicas evaluadas en el laboratorio registraron una disminución de las tensiones admisibles respecto de las mencionadas en NCh 2165. Estos resultados son representativos para madera proveniente de la Región del Biobío. Futuros ensayos consideran la caracterización de propiedades físicas y mecánicas de maderas provenientes de otras regiones del país.

No se observan diferencias significativas en la densidad de referencia (12%) de la madera aserrada ensayada en sus grados A y B.

5. BIBLIOGRAFÍA

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, 2003. NCh 2824: Maderas – Pino radiata – Unidades, dimensiones y tolerancias. Instituto de Normalización Nacional, Chile.

INN, 2003. 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.

OFICINA DIAGUITAS

Km 5 costado aeródromo La Florida, La Serena
Fono / Fax: (56-51) 543627

SEDE METROPOLITANA

Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Fono: (56-2) 23667100. Fax: (56-2) 23667131

SEDE BIO BIO

Camino a Coronel km 7,5, San Pedro de la Paz, Concepción
Fono / Fax: (56-41) 2853260

SEDE VALDIVIA

Fundo Teja Norte s/n, Valdivia
Fono: (56-63) 218968

OFICINA PATAGONIA

Camino Coyhaique Alto km 4, Coyhaique
Fono: (56) 98831860



INFOR

www.infor.cl

www.construccionenmadera.cl