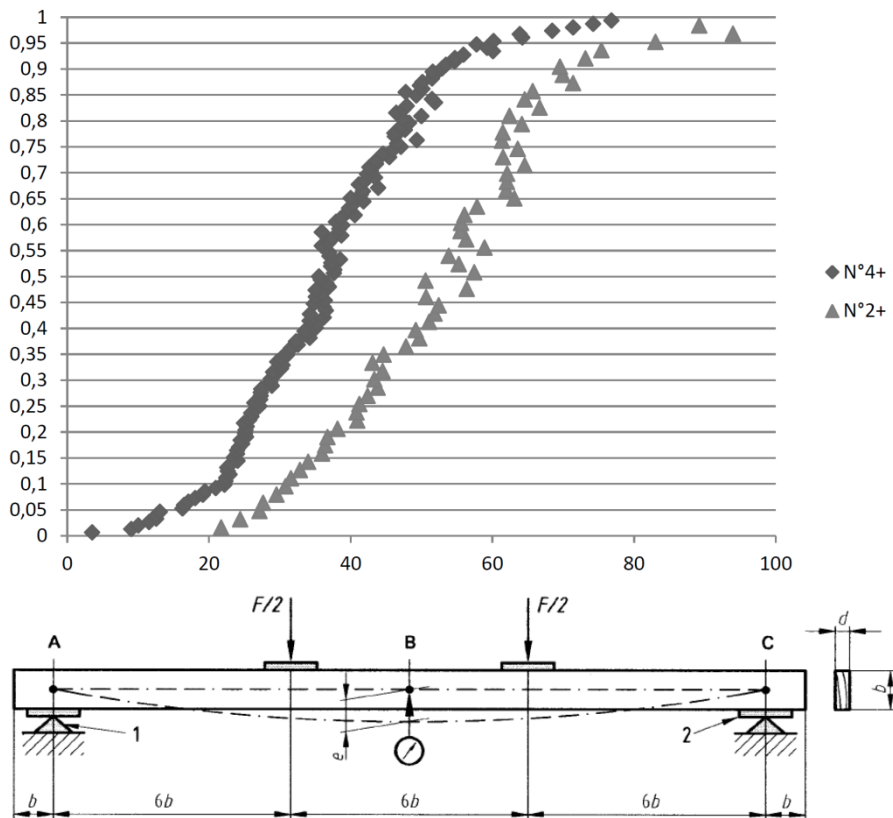




GRADOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA ASERRADA DE RAULÍ CLASIFICADA VISUALMENTE

INSTITUTO FORESTAL
ÁREA DE TECNOLOGÍA Y PRODUCTOS DE LA MADERA

**GRADOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA ASERRADA
DE RAULÍ CLASIFICADA VISUALMENTE**

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

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



INFOR

INSTITUTO FORESTAL - Chile 2014

Grados Estructurales de la Madera Aserrada de Raulí Clasificada Visualmente

Informe Técnico N° 199

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

ISBN N° 978-956-318-104-3

www.infor.cl

www.construccionenmadera.cl

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre que se mencione apropiadamente la cita:

Vásquez, Luis; Hernández, Gonzalo; Campos, Raúl; Elgueta, Patricio y Gonzalez, Marcelo, 2014.
Grados Estructurales de la Madera Aserrada de Raulí Clasificada Visualmente. Instituto Forestal, Chile.
Informe Técnico N° 199. 32pp.

PRÓLOGO

La especie forestal raulí (*Nothofagus alpina*) es una latifoliada nativa de Chile que se distribuye en forma natural desde el Río Aconcagua (región de Valparaíso) hasta el Cabo de Hornos (región del Magallanes y la Antártica chilena). En la actualidad la producción de madera aserrada de raulí se concentra en las regiones del Maule, Bio Bio, La Araucanía y Los Ríos, llegando a un total anual de 9.377m^3 (2012), que representa el 8% de la producción total nacional de madera aserrada de especies nativas.

El presente estudio permite caracterizar la madera aserrada de raulí destinada a usos estructurales, mediante una clasificación visual y ensayos físicos y mecánicos realizados por 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.

El presente trabajo fue financiado con recursos provenientes de convenio 2014, suscrito entre el 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 Srs. Luís Vásquez Valenzuela, Gonzalo Hernández Careaga, Patricio Elgueta Muñoz, Raúl Campos Pous, y Marcelo González Retamal.

ÍNDICE

RESUMEN	3
SUMMARY	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. MATERIAL Y MÉTODO	5
2.1 Madera	5
2.2 Clasificación visual	5
2.3 Ensayos Físicos y Mecánicos	8
2.3.1 Resistencia y Rigidez en Flexión	8
2.3.2 Resistencia a la Tracción Paralela a las Fibras	9
2.3.3 Resistencia a la Compresión Paralela a las Fibras	11
2.3.4 Resistencia al Cizalle Paralelo a las Fibras	12
2.3.5 Densidad	13
2.4 Determinación de los Valores Admisibles y Característicos	14
3. RESULTADOS	17
3.1 Clasificación Visual Estructural	17
3.2 Ensayos Físicos y Mecánicos	21
3.3 Valores Admisibles	26
4. CONCLUSIONES	28
5. REFERENCIAS	28
6. APÉNDICES	29

RESUMEN

Raulí (*Nothofagus alpina*) es una latifoliada nativa de Chile, que se distribuye desde el Río Aconcagua (región de Valparaíso) hasta el Cabo de Hornos (región del Magallanes y la Antártica chilena).

En la actualidad la producción de madera aserrada de raulí se concentra en las regiones del Maule, Bio Bio, La Araucanía y Los Ríos, llegando a una producción anual de 9.377m³ (2012), correspondiente a un 8% de la producción total nacional de madera aserrada de especies nativas.

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la madera aserrada de raulí destinada a usos estructurales, mediante una clasificación visual en dos grados de calidad (N°2 y mejor, y N°4 y mejor), según norma chilena NCh 1970/1, y la ejecución de ensayos físicos y mecánicos en piezas de tamaño comercial bajo norma chilena NCh 3028.

La muestra ensayada correspondió a 800 piezas de 3,2 m y 3,6 m de largo, y 45 x 90 mm de escuadría obtenidas del área de Neltume, zona cordillerana de la región de Los Ríos. Todos los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), laboratorio acreditado ISO 17025.

Respecto a la clasificación visual, se obtuvo que las principales características de la madera de raulí que limitan su aplicación estructural son el tamaño de nudos en la cara y el canto, y la presencia de alabeos.

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

Finalmente, los valores admisibles de resistencia y rigidez de los grados estructurales N°2 y mejor, y N°4 y mejor de Raulí, son asimilables a las clases resistentes F17 y F14, respectivamente.

Palabras clave: Raulí, *Nothofagus alpina*, Clasificación visual, Madera estructural

SUMMARY

Raulí (*Nothofagus alpina*) is a Chilean native hardwood tree which is distributed from the Aconcagua River (region of Valparaíso) to Cape Horn (region of Magallanes and Chilean Antarctica).

The current Raulí sawn timber production is concentrated on the Maule, Bio Bio, La Araucanía and Los Ríos regions, and reaches a 9.377m³ annual production (2012), corresponding to 8% of the total native species timber domestic production.

The study main objective is to characterize Raulí timber for structural applications through two visual grades categories (N° 2 and better and N° 4 and better), according to NCh 1970/1 Chilean standard, and physical and mechanical tests on commercial sized pieces under NCh 3028 Chilean standard.

The tested sample consisted of 800 3.2 and 3.6 m long and 45 x 90 mm pieces obtained from the Neltume area, located at the Los Ríos region Andean zone. All trials were performed in the Forest Institute Structural Timber Laboratory (LME-INFOR), which is registered under ISO 17025 standards.

Regarding to the visual classification, it was found that main Raulí sawn wood limiting characteristics to structural applications are the size of knots on the face and edge and the presence of warping.

Mechanical tests showed that the strength and stiffness properties improve with the timber structural quality. Typical types of failure were registered as well in bending tests, tensile, compression and shear parallel to the fiber.

Finally, the strength and stiffness of structural degrees No. 2 and better, and No. 4 and better allowable values are assimilate to the resistance F17 and F14 classes, respectively.

Key words: Raulí, *Nothofagus alpina*, Visual classification, Structural wood.

1. INTRODUCCIÓN

La clasificación estructural de madera consiste en la técnica mediante la cual las piezas de madera son agrupadas 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 las asocia a una clase estructural. La clasificación visual en tanto consiste en examinar una serie de características de la madera, como nudos, inclinación de la fibra, grietas, alabeos y otras. Esta clasificación visual debe ser realizada por clasificadores, es decir, personal calificado y entrenado para realizar esta labor en los aserraderos. Un clasificador requiere de un entrenamiento y formación adecuados, por medio de cursos realizados por entidades técnicamente competentes y reconocidas por el mercado y la autoridad reguladora.

El presente estudio contiene los resultados de un método de clasificación visual estructural de madera aserrada de raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst.), junto con la determinación de valores admisibles provenientes de ensayos físicos y mecánicos en piezas de tamaño comercial. La madera utilizada fue obtenida la del área de Neltume, ubicada en la zona cordillerana de la región de Los Ríos.

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

2. MATERIAL Y METODO

2.1 Madera

La muestra de madera de raulí utilizada en el presente estudio fue procesada en el aserradero de Forestal Neltume Carranco SA, cuyas maderas provienen de la zona de Neltume, región de Los Ríos. La madera proviene de bosques con edad superior a los 80 años.

2.2 Clasificación Visual

La norma chilena NCh 1970/1 (INN, 1988) establece los requisitos que debe cumplir la madera aserrada o cepillada proveniente de especies latifoliadas, destinada a un uso estructural y que se clasifica mediante un procedimiento visual. Se establecen requisitos que debe cumplir la madera cualquiera sea su contenido de humedad, no obstante que su empleo más eficiente se logra con un contenido de humedad equivalente a la humedad de equilibrio del lugar en que se utilice, justificándose el uso de madera verde solo por razones técnicas de servicio o por la dificultades que involucre el proceso de secado de ciertas especies madereras.

La norma señala cuatro grados de calidad, identificados como grado estructural N°1, grado estructural N°2, grado estructural N°3 y grado estructural N°4; los cuales se obtienen a través de límites admisibles para las características de la madera de latifoliadas, tales como

tamaño de nudos, tamaño de grietas y rajaduras, presencia de médula, bolsas de quino, albeos y otras. Dichos límites admisibles para cada grado visual se resumen en el Cuadro N° 1.

Para este estudio, los cuatro grados estructurales que establece la norma NCh 1970/1, se agruparon en dos calidades:

- Grado 2 y mejor (N°2+): Piezas que cumplen los requisitos de calidad establecidos para los grados N°1 y N°2.
- Grado 4 y mejor (N°4+): Piezas que cumplen los requisitos de calidad establecidos para los grados N°3 y N°4.

La clasificación visual de la madera aserrada se desarrolló según las indicaciones de la norma NCh 1970/1, siendo realizada por clasificadores del Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR).

Cuadro N° 1
LÍMITES ADMISIBLES GRADOS ESTRUCTURALES VISUALES, ESPECIES LATIFOLIADAS

Tipo de Característica	Grado Estructural N°1	Grado Estructural N°2	Grado Estructural N°3	Grado Estructural N°4
Generales	Cada pieza debe estar correctamente aserrada de modo que superficies adyacentes sean ortogonales entre sí, cumplir con las tolerancias especificadas y tener los extremos despuntados con un corte normal al eje de la pieza.			
Nudos, incluye cortes de ramas, orificios por nudos y orificios que no sean por insectos				
	Que no exceda W/7 en la cara o T/7 en el canto	Que no exceda W/4 en la cara o T/4 en el canto	Que no exceda W/3 en la cara o T/3 en el canto	Que no exceda 3W/8 en la cara o 3 T/8 en el canto
Orificio de barrenadores no asociados con descomposición				
Diámetros menor o igual a 3 mm	Que no exceda los 12 orificios por 100 x 100 mm	Que no exceda los 20 orificios en 100 x 100 mm	Ilimitado si la separación es al menos dos veces el diámetro	Ilimitado si la separación es al menos dos veces el diámetro
Diámetro sobre 3 mm o donde hay separación menor a 2 x diámetro	Igual que para nudos	Igual que para nudos	Igual que para nudos	Igual que para nudos
Galería de termitas				
Cerradas	No permitidas	No permitidas	No permitidas	No permitidas
No cerradas	Igual que para pérdida de madera y canto muerto	Igual que para pérdida de madera y canto muerto	Igual que para pérdida de madera y canto muerto	Igual que para pérdida de madera y canto muerto
Fibra levantada				
Todas las especies	Que no exceda 1 en 15	Que no exceda 1 en 10	Que no exceda 1 en 8	Que no exceda 1 en 6
Médula y partiduras en médula				
Dimensiones menores inferiores a 175 mm	No permitido	No permitido	No permitido	No permitido
Dimensiones menores a 175 mm o más	Permitido si está dentro del tercio medio de W y T	Permitido si está dentro del tercio medio de W y T	Permitido si está dentro del tercio medio de W y T	Permitido si está dentro del tercio medio de W y T
Para especies listadas en la Tabla A5, Apéndice A	Que no exceda 1/20 del área de la sección transversal	Que no exceda 1/9 del área de la sección transversal	Que no exceda 1/6 del área de la sección transversal	Que no exceda 1/3 del área de la sección transversal

Tipo de Característica	Grado Estructural N°1	Grado Estructural N°2	Grado Estructural N°3	Grado Estructural N°4
Bolsas de goma (quino)				
Largo individual				
No de una superficie a otra	Que no exceda L/2			
De una superficie a otra	Que no exceda L/4			
Bolsillos de goma, bolsillos de látex, bolsillos de resina ; sobre crecimiento de daños				
Una superficie a otra e intersección al extremo	Igual a partiduras en los extremos	Igual a partiduras en los extremos	Igual a partiduras en los extremos	Igual a partiduras en los extremos
De lo contrario				
Largo individual no excede (menos de)	3W o 30 mm	3W o 30 mm	3W o 30 mm	3W o 30 mm
Ancho individual (medido radialmente)				
Solo una superficie	Que no exceda 12 mm o 1/4 de las superficie en la que se produce	Que no exceda 20 mm o 1/3 de las superficie en la que se produce	Que no exceda 25 mm o 1/2de las superficie en la que se produce	Que no exceda 30 mm o ½ de las superficie en la que se produce
Una superficie a otra	Que no exceda 6 mm o 1/8 de las superficie en la que se produce	Que no exceda 12 mm o 1/4 de las superficie en la que se produce	Que no exceda 20 mm o 1/3 de las superficie en la que se produce	Que no exceda 25 mm o 1/3 de las superficie en la que se produce
Partiduras en los extremos				
Largo adicional	Que no exceda W o 100 mm	Que no exceda W o 100 mm	Que no exceda 3W2 o 150 mm	Que no exceda W o 150 mm
Grietas que no sean internas				
Ancho	Que no exceda 3 mm	Que no exceda 3 mm	Que no exceda 3 mm	Que no exceda 3mm
Largo individual	Que no exceda L/4	Que no exceda L/3	Que no exceda L/2	Que no exceda L/2
Descomposición primaria				
Profundidad	Que no exceda los 3 mm	Que no exceda los 3 mm	Que no exceda los 3 mm	Que no exceda los 3 mm
Adicional en cualquier área de 2 m de largo	Que no exceda los 150 x 100 mm	Que no exceda los 150 x 100 mm	Que no exceda los 150 x 100 mm	Que no exceda los 150 x 10 0mm
Duramen susceptible a pérdida de fibra, canto muerto				
	Que no exceda 1/10 del área transversal	Que no exceda 1/5 del área transversal	Que no exceda 1/5 del área transversal	Que no exceda 1/5 del área transversal
	Que no exceda W/2 en la cara o T/3 en el canto	Que no exceda W/2 en la cara o T/3 en el canto	Que no exceda W/2 en la cara o T/3 en el canto	Que no exceda W/2 en la cara o T/3 en el canto
Mal cepillado, que excede los límites de pérdida de fibra y canto muerto				
Profundidad	Que no exceda los 3 mm	Que no exceda los 3 mm	Que no exceda los 3 mm	Que no exceda los 3 mm
Largos individuales	Que no exceda los 600 mm	Que no exceda los 600 mm	Que no exceda los 600 mm	Que no exceda los 600 mm
Encorvadura y torcedura (Ver Cuadro N° 2, 3, 4 y 5. NCh 1970/1)				
Acanaladura				
	Que no exceda 1 mm por cada 50 mm de W	Que no exceda 1 mm por cada 50 mm de W	Que no exceda 1 mm por cada 50 mm de W	Que no exceda 1 mm por cada 50 mm de W

L = largo; W = ancho; T = espesor
(Fuente: NCh 1970/1)

2.3 Ensayos Físicos y Mecánicos

Se realizaron ensayos mecánicos a madera cepillada de raulí bajo diferentes disposiciones de carga, como son la resistencia y rigidez en flexión, la 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 fueron realizados 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* (INN, 2006). La determinación de la humedad se realizó mediante xilohigrómetros portátiles calibrados bajo la norma chilena NCh 2827.

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. A una pieza de madera de luz 18 d se debe aplicar una carga en dos puntos a igual distancia entre los apoyos de los extremos, con cada carga igual 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 aprecia 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 cuantificar la carga aplicada en los tercios de la luz, 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 como sigue:

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

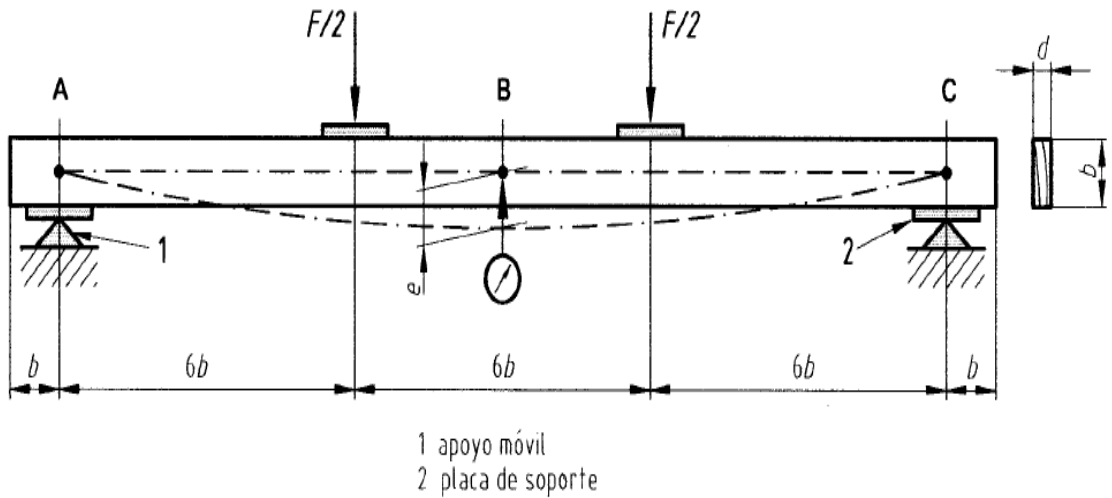
Donde:

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.

$$f_m = \frac{F_{\text{máx}} L}{bd^2}$$

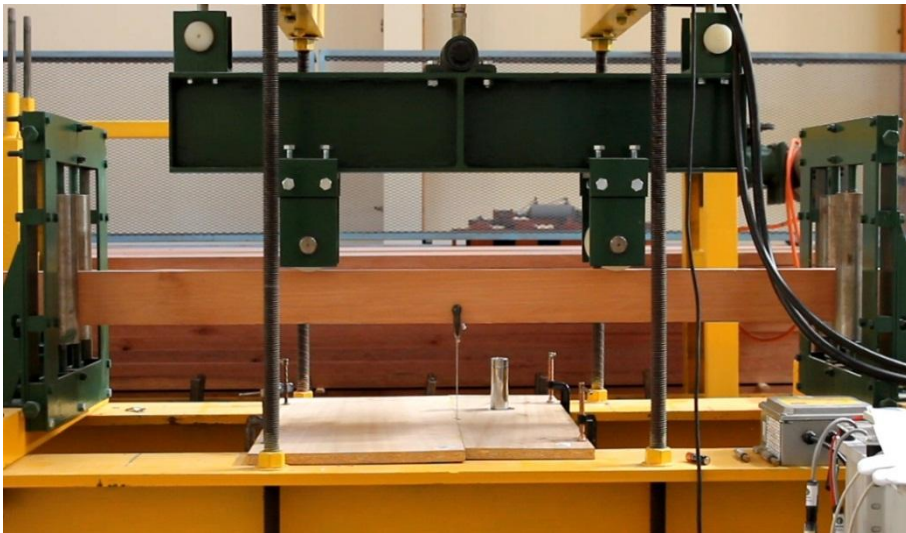
Donde:

f_m	: Resistencia en flexión
$F_{\text{máx}}$	: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima



(Fuente: NCh 3028/1)

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



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR).

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 aplicado en el ensayo de tracción paralela a las fibras se ilustra en la Figura N° 3. La longitud (L) de la pieza de madera entre las mordazas debe ser de 2.000

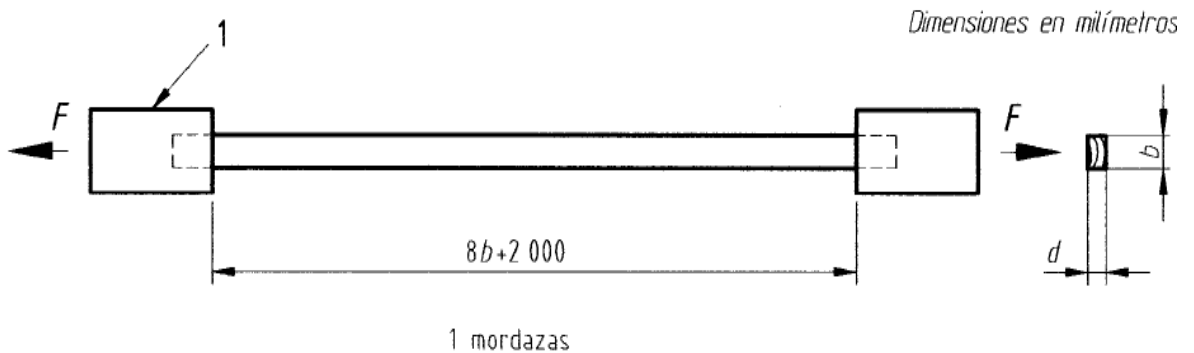
milímetros más 8 veces el ancho (b) de la probeta, la cual se debe cargar hasta la falla. En la Figura N° 4 se observa la aplicación de un ensayo de tracción paralela.

La resistencia a la tracción paralela ($f_{t,0}$) se calcula como sigue:

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

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



Fuente: NCh 3028/1

Figura N° 3
ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR).

Figura N°4
APLICACIÓN DE UN ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS

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 ilustra en la Figura N° 5.

La pieza de madera debe tener una longitud total de 2.000 milímetros más 8 veces el ancho (b) de la probeta; esta se debe comprimir axialmente por medio de una carga hasta que se produzca la falla.

El pandeo se controla 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.

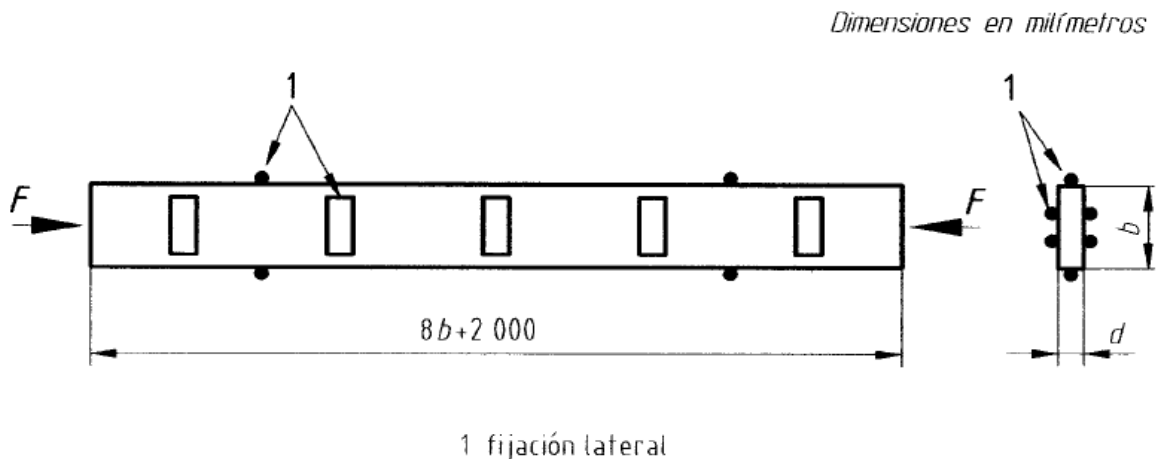
En la Figura N° 6 se observa la aplicación de un ensayo de compresión paralela, distinguiendo la zona de carga y los dispositivos de fijación lateral.

La resistencia a la compresión paralela ($f_{c,0}$) se calcula como sigue:

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

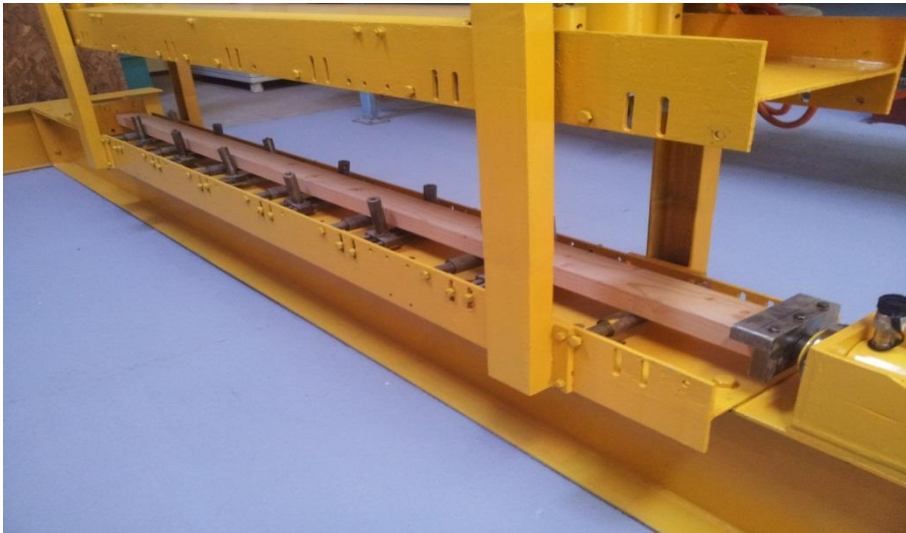
Donde:

- $f_{c,0}$: 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



Fuente: NCh 3028/1

Figura N° 5
ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR).

Figura N° 6
APLICACIÓN DE UN ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS

2.3.4 Resistencia al Cizalle Paralelo a las Fibras

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

La pieza de madera debe tener una longitud total 8 veces el ancho (b) de la probeta, y la luz de ensayo es de 6 veces el ancho (b); esta se debe ser 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.

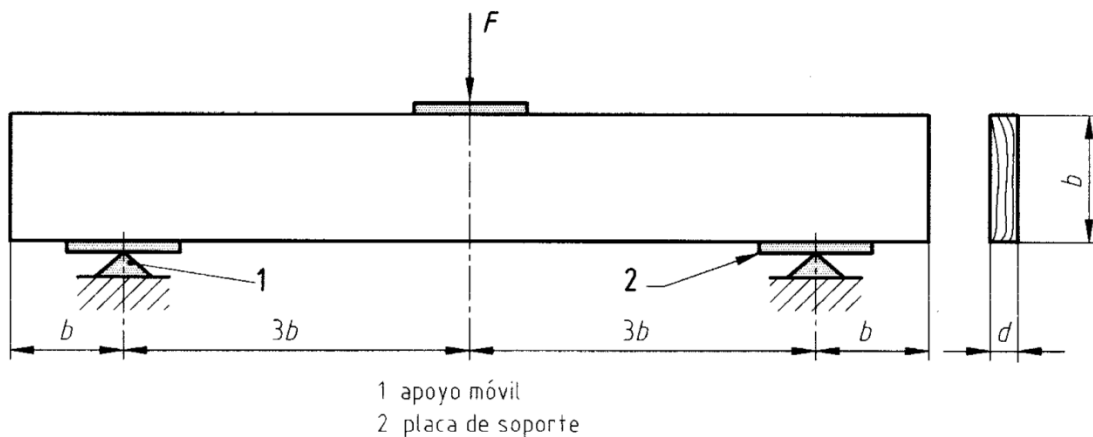
La resistencia a la cizalle paralelo (f_v) se calcula como sigue:

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

Donde:

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

Dimensiones en milímetros



(Fuente: NCh 3028/1)

Figura N° 7
ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO A LAS FIBRAS



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR).

Figura N° 8
APLICACIÓN DE UN ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO A LAS FIBRAS

2.3.5 Densidad

Para determinar la densidad de las piezas de madera ensayadas las probetas deben incluir la sección transversal completa y tener una longitud de por lo menos el ancho de la

pieza (b). La masa (m) y el contenido de humedad (H), son medidos para cada probeta de ensayo. La densidad al momento del ensayo (ρ_e) se calcula como sigue:

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

La densidad al 12% de humedad (ρ_{12}) se debe calcular como sigue:

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

Donde:

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 y Característicos

La determinación de los valores admisibles para los grados estructurales visuales de raulí, 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* (INN, 2008).

Esta norma especifica los procedimientos de muestreo y evaluación de las propiedades de poblaciones específicas de madera aserrada de tamaño estructural clasificada por su resistencia. Esta norma también es útil para evaluar la validez de las propiedades asignadas y para verificar la efectividad de los procedimientos de clasificación estructural de la madera.

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

- Contenido de humedad único, que generalmente es de un 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 que se indican:

$$P_2 = P_1$$

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.

Donde:

- 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 Cuadro N° 2

Cuadro N° 2
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 es:

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

Donde:

- 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 Cuadro N° 3

Cuadro N° 3
CONSTANTES PARA EL AJUSTE DE CONTENIDO DE HUMEDAD
PARA ELASTICIDAD EN FLEXIÓN

Constantes	Elasticidad en Flexión
B_1	1,8570
B_2	0,0237

(Fuente: NCh 3028/2)

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:

- Estandarización 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 resolver la siguiente expresión:

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

Donde:

- 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 Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4
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 (Cuadro N° 5).

Cuadro N° 5
FACTORES DE REDUCCIÓN PARA RELACIONAR ESTADÍSTICAS EXPERIMENTALES CON LAS PROPIEDADES ADMISIBLES

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:

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

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 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 400 piezas del grado N°2+ y 400 piezas en grado N°4+, generadas del proceso de clasificación de 952 piezas, seleccionadas mediante norma visual interna del aserradero Neltume Carranco S.A.

La madera de raulí correspondió a piezas cepilladas de escuadría 45 x 90 mm (2x4”) de 3,2 m y 3,6 m de largo, en estado seco (humedad bajo el 19%). Cada pieza de madera se clasificó visualmente según indicaciones de la norma NCh 1970/1.

Del total de 152 piezas rechazadas para uso estructural, se observó que las principales causas de rechazo, según las exigencias visuales de la NCh 1970/1, fueron el tamaño de nudo en la cara (28%), el tamaño de nudo en el canto (18%) y alabeos (14%), tal como se observa en la Figura N° 9.

Finalmente, en las Figuras N° 10, N° 11 y N 12 se observan algunas de las características de la madera que se consideraron en la clasificación visual: Nudos, bolsillos de corteza, y grietas, respectivamente.

En tanto, la Figura N° 13 expone la apariencia de la madera N°2+ y N°4+ clasificada bajo la norma NCh 1970/1.

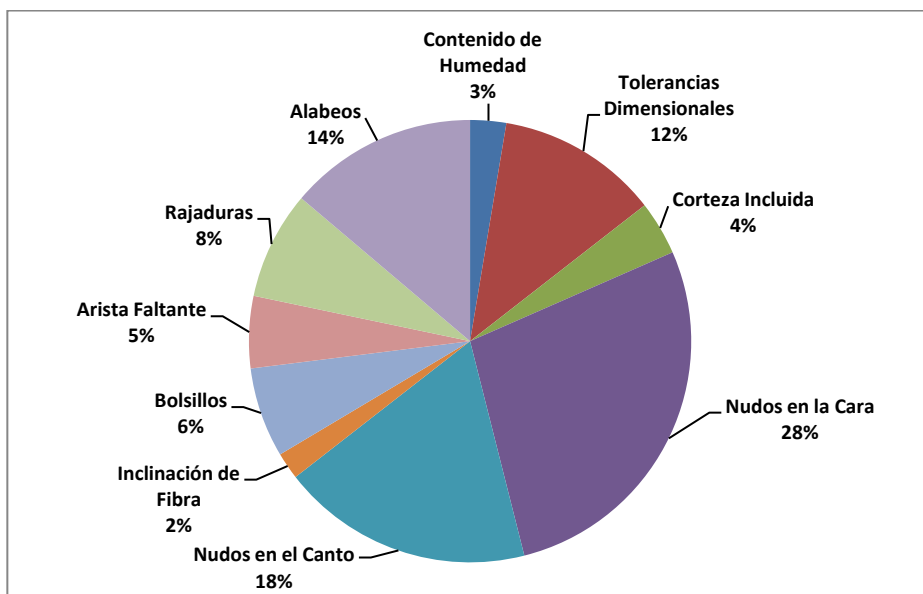


Figura N° 9
PORCENTAJE DE RECHAZO
SEGÚN EXIGENCIAS DE CLASIFICACIÓN VISUAL ESTRUCTURAL (NCh 1970/1)



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR)

Figura N° 10
NUDO EN LA CARA



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR)

Figura N° 11
BOLSILLO DE CORTEZA



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR)

Figura N° 12
GRIETAS



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR)

Figura N° 13
APARIENCIA DE LOS GRADOS VISUALES ESTRUCTURALES

3.2 Ensayos Físicos y Mecánicos

Las 800 piezas de raulí clasificadas en los grados N°2+ y N°4+, según norma NCh 1970/1, fueron utilizadas para realizar los ensayos físicos y mecánicos según la distribución que se indica en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6
CANTIDAD DE PIEZAS EN GRADOS NCh 1207 POR TIPO DE ENSAYO

Tipo de Ensayo	Grado N°2+	Grado N°4+	Total
Flexión	100	100	200
Tracción paralela	100	100	200
Compresión paralela	100	100	200
Cizalle paralelo	100	100	200
Total	400	400	800

Los Cuadros N° 7 a N° 11 registran la estadística descriptiva de los resultados de los ensayos de resistencia en flexión, rigidez en flexión, resistencia a la tracción paralela, resistencia a la compresión paralela y resistencia al cizalle paralelo. En todas las propiedades se observa una tendencia clara de una mayor resistencia o rigidez promedio al mejorar la calidad del grado estructural bajo norma NCh 1970/1.

Para el caso de la resistencia en flexión se observan valores promedio que fluctúan entre 56 MPa y 67,6 MPa, con variaciones entre 20% y 34% (Cuadro N° 7). La rigidez en flexión presenta valores promedio entre valores 10.490 MPa y 11.200 MPa, con variaciones similares de 17% y 16% (Cuadro N° 8). En tanto, la resistencia a la tracción paralela presenta promedios entre 27,9 MPa y 41,2 MPa, con coeficientes de variación de 41% y 26% respectivamente (Cuadro N° 9). La resistencia a la compresión paralela registra valores promedio entre 33,0 MPa y 34,2 MPa, con variaciones entre el 16% y el 23% (Cuadro N° 10). La resistencia al cizalle paralelo presenta promedios entre 6,1 MPa y 6,5 MPa, con variaciones entre 17% y 18% (Cuadro N° 11).

En todas las propiedades mecánicas se evidencia que el grado N°4+ siempre presenta una variabilidad mayor que el grado de calidad N°2+.

En cuanto a la densidad (Cuadro N° 12), se observa que no hay diferencias significativas entre grados estructurales. El valor promedio en ambas calidades fue cercano a los 550 kg/m³, con una variabilidad del 8%.

Finalmente, en relación a los tipos de falla, el ensayo de flexión evidencia fallas típicas por tracción en las fibras inferiores de las vigas y compresión en las fibras sobre el eje neutro (Figura N° 14). En los ensayos de tracción paralela se observan fallas en las fibras por tracción pura (Figura N°15). En los ensayos de compresión paralela se observa la compresión de las fibras sin efectos de pandeo (Figura N° 16). En los ensayos de cizalle paralelo se registra la falla inducida por corte paralelo a las fibras de la madera (Figura N° 17).

Cuadro N° 7
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN POR GRADO ESTRUCTURAL (NCh1970/1)
RAULÍ A 12% CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	MORf,12% N°2+	MORf,12% N° 4+
Promedio [MPa]	67,6	56,0
Valor mínimo [MPa]	41,2	14,5
Valor máximo [MPa]	98,0	152,6
Rango [MPa]	56,8	138,0
Desviación estándar [MPa]	13,2	19,2
Coeficiente de variación (%)	20	34
Tamaño muestra	100	100

Cuadro N° 8
RIGIDEZ EN FLEXIÓN POR GRADO ESTRUCTURAL (NCh1970/1)
RAULÍ A 12% CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Ef,12% N° 2+	Ef,12% N° 4+
Promedio [MPa]	11.212	10.491
Valor mínimo [MPa]	7.099	6.814
Valor máximo [MPa]	15.810	14.404
Rango [MPa]	8.711	7.590
Desviación estándar [MPa]	1.776	1.801
Coeficiente de variación (%)	16	17
Tamaño muestra	100	100

Cuadro N° 9
RESISTENCIA EN TRACCIÓN PARALELA POR GRADO ESTRUCTURAL (NCh1970/1)
RAULÍ A 12% CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Rtp,12% N° 2+	Rtp,12% N° 4+
Promedio [MPa]	41,2	27,9
Valor mínimo [MPa]	16,9	7,1
Valor máximo [MPa]	66,3	59,4
Rango [MPa]	49,4	52,3
Desviación estándar [MPa]	10,8	11,3
Coeficiente de variación (%)	26	41
Tamaño muestra	95	100

Cuadro N° 10
RESISTENCIA EN COMPRESIÓN PARALELA POR GRADO ESTRUCTURAL (NCh1970/1)
RAULÍ A 12% CONTENIDO DE HUMEDAD

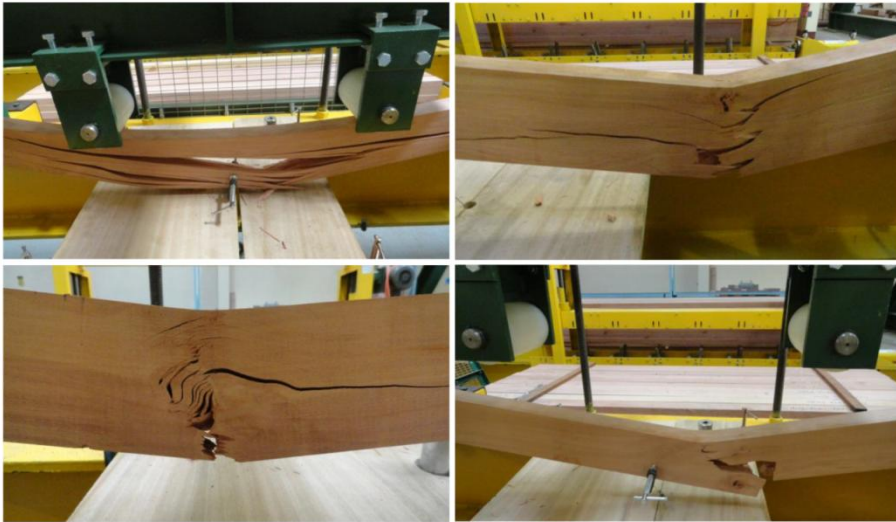
Descripción	Rcp,12% N° 2+	Rcp,12% N° 4+
Promedio [MPa]	34,2	33,0
Valor mínimo [MPa]	21,2	13,7
Valor máximo [MPa]	51,5	75,0
Rango [MPa]	30,3	61,3
Desviación estándar [MPa]	5,6	7,7
Coeficiente de variación (%)	16	23
Tamaño muestra	100	100

Cuadro N° 11
RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO, POR GRADO ESTRUCTURAL (NCh1970/1)
RAULÍ A 12% CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Rcz,12% N° 2+	Rcz,12% N° 4+
Promedio [MPa]	6,5	6,1
Valor mínimo [MPa]	2,7	1,3
Valor máximo [MPa]	9,1	8,4
Rango [MPa]	6,5	7,1
Desviación estándar [MPa]	1,1	1,1
Coeficiente de variación (%)	17	18
Tamaño muestra	100	99

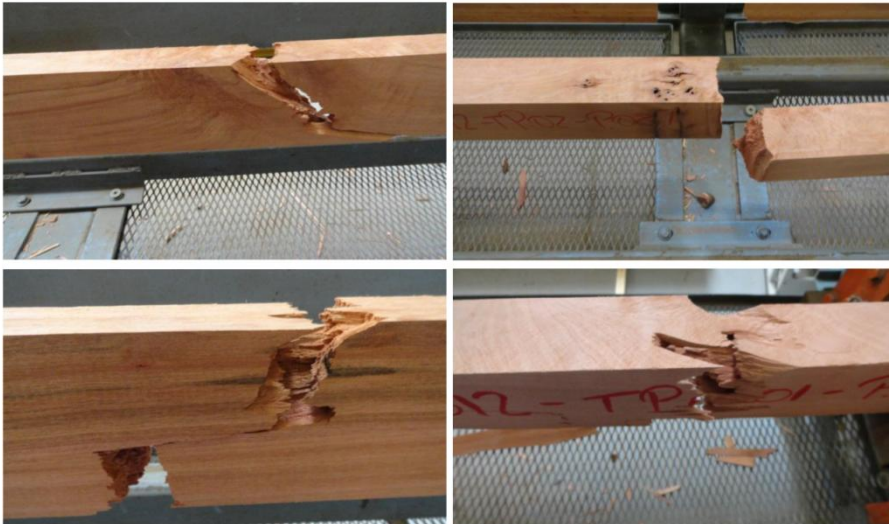
Cuadro N° 12
DENSIDAD REFERENCIA POR GRADO ESTRUCTURAL (NCh1970/1)
RAULÍ A 12% CONTENIDO DE HUMEDAD

Descripción	Densidad (12%) N° 2+	Densidad (12%) N° 4+
Promedio [MPa]	552	551
Valor mínimo [MPa]	313	287
Valor máximo [MPa]	683	691
Rango [MPa]	370	404
Desviación estándar [MPa]	46	46
Coeficiente de variación (%)	8	8
Tamaño muestra	399	400



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR)

Figura N° 14
FALLAS POR FLEXIÓN



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR)

Figura N° 15
FALLAS POR TRACCIÓN PARALELA



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR)

Figura N° 16
FALLAS POR COMPRESIÓN PARALELA



(Fuente: Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal LME-INFOR)

Figura N° 17
FALLAS POR CIZALLE PARALELO

3.3 Valores Admisibles

Los valores admisibles de resistencia en flexión, resistencia a la tracción paralela, resistencia a la compresión paralela, resistencia al cizalle paralelo, y módulo de elasticidad en

flexión, obtenidos para los grados estructurales de raulí, según la norma chilena (NCh 3028/2), se observan en el Cuadro N° 13.

El actual sistema de asignación de tensiones admisibles para las especies que se comercializan en Chile, exceptuando pino radiata, establece 12 clases estructurales denominadas “grados-F”, cada una de las cuales contiene los valores para las tensiones admisibles que se observan en el Cuadro N° 14. La clase estructural se identifica en la forma “FX”, donde “X” es la tensión admisible en flexión aproximadamente en Megapascal asignada al grado (INN, 1986).

La asignación de las tensiones admisibles se realiza mediante una relación entre un agrupamiento de especies madereras especificado en la norma NCh 1989, y el grado estructural proveniente de la clasificación visual especificada en la norma NCh 1970/1 para latifoliadas. El procedimiento para relacionar el agrupamiento de especies y el grado estructural se detalla en la norma NCh 1990.

Para el caso de la madera de raulí seco, la actual asignación de tensiones admisibles, determina que los grados estructurales N°1, N°2, N°3 y N°4 corresponden a las clases F17, F14, F11 y F8, respectivamente (Cuadro N° 14).

Si se compara los valores obtenidos en el presente estudio, el grado N°2+ (grado N°1 + grado N°2) tiene tensiones admisibles asimilables con a la clase F17, presentando valores superiores en la resistencia a la flexión y tracción paralela, junto con el módulo de elasticidad. En la resistencia a la compresión paralela y al cizalle se observan valores admisibles ligeramente menores.

El grado N°4+ (grado N°3 + grado N°4) presenta tensiones admisibles que son asimilables a la clase F14, presentando valores superiores en la resistencia a la flexión y compresión paralela, junto con el módulo de elasticidad. En la resistencia a la tracción paralela y al cizalle se observan valores admisibles menores.

Finalmente, al comparar los resultados obtenidos para la madera de raulí con los de pino radiata, principal especie forestal utilizada como material estructural en Chile, se puede concluir que los valores admisibles de los dos grados estructurales de raulí son mayores a la mejor calidad visual del pino radiata (GS) (Cuadro N° 15), presentando valores de resistencia en flexión un 33% superior para el caso del grado N°4+ y un 94,5% superior para el caso del grado N°2+.

Esto abre la posibilidad de evaluar un cambio en los límites admisibles de la norma de clasificación visual NCh 1970/1, ajustando las exigencias para que los grados visuales N°1 al N°4 sean similares en resistencia y rigidez a los grados estructurales G1 o G2 de pino radiata, que son los más utilizados en el mercado nacional de construcción de viviendas.

Cuadro N° 13
VALORES ADMISIBLES PARA MADERA ESTRUCTURAL DE RAULÍ, NORMA CHILENA

Grado Estructural	Valores Admisibles de Resistencia				Módulo de Elasticidad Admisible
	Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Cizalle Paralelo	
	(f_f)	(f_{cp})	(f_{tp})	(f_{cz})	(E)
	(MPa)				
N°2+ (NCh 1970/1)	21,4	12,9	11,8	1,2	11.212
N°4+ (NCh 1970/1)	14,6	11,8	4,5	1,1	10.491

Cuadro N° 14
VALORES ADMISIBLES DE LOS GRADOS-F, SEGÚN NORMATIVA CHILENA

Grado	Tensión Admisible				Módulo de Elasticidad
	Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Cizalle	
	F_f	F_{cp}	F_{tp}	F_{cz}	E
	(MPa)				
F34	34,5	26,0	20,7	2,45	18.500
F27	27,5	20,5	16,5	2,05	15.000
F22	22,0	16,5	13,2	1,7	12.600
F17	17,0	13,0	10,2	1,45	10.600
F14	14,0	10,5	8,4	1,25	9.100
F11	11,0	8,3	6,6	1,05	7.900
F8	8,6	6,6	5,2	0,86	6.900
F7	6,9	5,2	4,1	0,72	6.100
F5	5,5	4,1	3,3	0,62	5.500
F4	4,3	3,3	2,6	0,52	5.000
F3	3,4	2,6	2,0	0,43	4.600
F2	2,8	2,1	1,7	0,36	4.350

(Fuente: NCh 1198)

Cuadro N° 15
TENSIONES ADMISIBLE PARA GRADOS VISUALES PINO RADIATA
12% CONTENIDO DE HUMEDAD

Grado Estructural	Tensión Admisible				Módulo de Elasticidad en Flexión
	Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Cizalle	
	F_f	F_{cp}	F_{tp}	F_{cz}	E_f
	(MPa)				
GS	11,0	8,5	6,0	1,1	10.500
G1	7,5	7,5	5,0	1,1	10.000
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	1,1	10.100
G2	5,4	6,5	4,0	1,1	8.900

(Fuente: NCh 1198)

4. CONCLUSIONES

Las principales características de la madera de raulí que limitan su uso estructural, basado en los criterios de clasificación visual de la norma chilena NCh 1970/1, son el tamaño de nudos en la cara y el canto, junto a la presencia de alabeos.

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

Los valores admisibles de resistencia y rigidez de los grados estructurales N°2+ y N°4+ de raulí, son asimilables a las clases F17 y F14, respectivamente.

Los valores admisibles de raulí son mayores en todos sus grados estructurales, a la mejor calidad estructural de pino radiata crecido en Chile.

5. REFERENCIAS

INN, 1988. NCh 1970/1: Maderas – Parte 1: Especies Latifoliadas – 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, 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 Nacional de Normalización. Chile.

6. APÉNDICES

Apéndice 6.1
DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN
SEGÚN NCh 3028/2 PARA GRADO ESTRUCTURAL N°2+

	fb,12 (MPa)	Eai2 (MPa)	Densidad 12% (kg/m³)
Promedio	67,6	11.212	557
Valor mínimo	41,2	7.099	483
Valor máximo	98,0	15.810	661
Rango	56,8	8.711	178
Desviación estándar	13,2	1.776	37
Suma	6.764	1.121.180	55.697
Tamaño muestra	100	100	100
Estadístico percentil 5%	5,0	5,0	5,0
Valor percentil 5	45,0	8.030,3	499
Factor seguridad + duración carga	1 / 2,1	1,0	
Valor admisible	21,4	11.212	

Apéndice 6.2
DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN
SEGÚN NCh 3028/2 PARA GRADO ESTRUCTURAL N°4+

	fb,12 (MPa)	Eai2 (MPa)	Densidad 12% (kg/m³)
Promedio	56,0	10.491	556
Valor mínimo	14,5	6.814	466
Valor máximo	152,6	14.404	679
Rango	138,0	7.590	213
Desviación estándar	19,2	1.801	42
Suma	5.597	1.049.149	55.596
Tamaño muestra	100	100	100
Estadístico percentil 5%	5,0		5,0
Valor percentil 5	30,7	7.059,2	495
Factor seguridad + duración carga	1 / 2,1	1,0	
Valor admisible	14,6	10.491	

Apéndice 6.3
DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA SEGÚN NCh 3028/2 PARA GRADO ESTRUCTURAL N°2+

	ft,12 (MPa)	Densidad 12% (kg/m³)
Promedio	41,2	554
Valor mínimo	16,9	372,1
Valor máximo	66,3	649,5
Rango	49,4	277,5
Desviación estándar	10,8	44,8
Suma	3.913	54.877
Tamaño muestra	95	99
Estadístico percentil 5%	4,8	5,0
Valor percentil 5	24,7	491
Factor seguridad + duración carga	1 /2,1	
Valor admisible	11,8	491

Apéndice 6.4
DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA SEGÚN NCh 3028/2 PARA GRADO ESTRUCTURAL N°4+

	ft,12 (MPa)	Densidad 12% (kg/m³)
Promedio	27,9	556
Valor mínimo	7,1	287,1
Valor máximo	59,4	690,7
Rango	52,3	403,6
Desviación estándar	11,3	60,7
Suma	2.788	55.644
Tamaño muestra	100	100
Estadístico percentil 5%	5,00	5,00
Valor percentil 5	9,5	454
Factor seguridad + duración carga	1 /2,1	
Valor admisible	4,5	454

Apéndice 6.5
DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA
SEGÚN NCh 3028/2 PARA GRADO ESTRUCTURAL N°2+

	fc,12 (MPa)	Densidad 12% (kg/m³)
Promedio	34,2	547
Valor mínimo	21,2	455,6
Valor máximo	51,5	646,2
Rango	30,3	190,6
Desviación estándar	5,6	39,8
Suma	3.421	54.698
Tamaño muestra	100	100
Estadístico percentil 5%	5,0	5,0
Valor percentil 5	24,6	486
Factor seguridad + duración carga	1 / 1,9	
Valor admisible	12,9	486

Apéndice 6.6
DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA
SEGÚN NCh 3028/2 PARA GRADO ESTRUCTURAL N°4+

	fc,12 (MPa)	Densidad 12% (kg/m³)
Promedio	33,0	551
Valor mínimo	13,7	477,2
Valor máximo	75,0	629,7
Rango	61,3	152,5
Desviación estándar	7,7	37,7
Suma	3.298	55.078
Tamaño muestra	100	100
Estadístico percentil 5%	5,0	5,0
Valor percentil 5	22,5	492
Factor seguridad + duración carga	1 / 1,9	
Valor admisible	11,8	492

Apéndice 6.7
DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO
SEGÚN Nch 3028/2 PARA GRADO ESTRUCTURAL N°2+

	fcz,12 (MPa)	Densidad 12% (kg/m³)
Promedio	6,5	550
Valor mínimo	2,7	312,6
Valor máximo	9,1	682,8
Rango	6,5	370,2
Desviación estándar	1,1	60,1
Suma	649	54.981
Tamaño muestra	100	100
Estadístico percentil 5%	5,0	5,0
Valor percentil 5	4,8	479
Factor seguridad + duración carga	1 / 4,1	
Valor admisible	1,2	479

Apéndice 6.8
DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO
SEGÚN NCH 3028/2 PARA GRADO ESTRUCTURAL N°4+

	fcz,12 (MPa)	Densidad 12% (kg/m³)
Promedio	6,1	541
Valor mínimo	1,3	432,6
Valor máximo	8,4	640,1
Rango	7,1	207,5
Desviación estándar	1,1	37,6
Suma	607	54.147
Tamaño muestra	99	100
Estadístico percentil 5%	5,0	5,0
Valor percentil 5	4,6	479
Factor seguridad + duración carga	1 / 4,1	
Valor admisible	1,1	479

