

TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE ROBLE (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) CON CLASIFICACIÓN VISUAL



**INSTITUTO FORESTAL
2020**



Las fotografías e imágenes incluidas tanto en la tapa como en páginas interiores de este Informe Técnico provienen de archivo institucional.

**TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL
DE ROBLE (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.)
CON CLASIFICACIÓN VISUAL**

Jorge Catalán¹; Luis Vásquez; Gonzalo Hernández; Cristian Reyes; Javiera Padilla;
Patricio Elgueta; Leonardo Troncoso; Raúl Campos y Pablo Mardones

**Proyecto CORFO: Fortalecimiento de Capacidades Tecnológicas del Instituto Forestal
para el Desarrollo de la Industria Secundaria de la Madera a Través de Bienes Públicos
Orientados al Sector de la Construcción**

**INSTITUTO FORESTAL
Tecnología y Productos de Madera
2020**

¹ Investigadores, Instituto Forestal, Sede Biobío. jorge.catalan@infor.cl



INFOR

INSTITUTO FORESTAL

Sucre 3397, Ñuñoa, Santiago

Chile

F. 56 2 223667115

www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-163-0

Registro de Propiedad Intelectual N° 2020-A-5832

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

Catalán, Jorge; Vásquez, Luis; Hernández, Gonzalo; Reyes, Cristian; Padilla, Javiera; Elgueta, Patricio; Troncoso, Leonardo; Campos, Raúl y Mardones, Pablo, 2020. Tensiones Admisibles de la Madera Aserrada Estructural de Roble con Clasificación Visual. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 230. P. 27.
<https://doi.org/10.52904/20.500.12220/29908>

PRÓLOGO

El roble, conocido como hualle en su estado juvenil y como pellín en su estado adulto, es una especie nativa común y abundante en gran parte de la zona central y sur del país, es una de las especies dominantes del Tipo Forestal Roble – Raulí – Coihue que, de acuerdo con el Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, cubre una superficie de 1.654.880 ha entre las regiones de Maule y Los Lagos.

En el año 2018 la producción total de madera aserrada en el país fue de 8,31 millones de metros cúbicos, volumen del cual el 1,28% correspondió a especies nativas y el 0,26% a roble en particular, con 21.500 m³. Esta última cifra no refleja la disponibilidad que este recurso podría ofrecer bajo manejo sostenible, la calidad y resistencia de su madera, y su diversidad de usos en mueblería, carpintería, construcciones, puentes, durmientes, postes, embarcaciones, instrumentos musicales, y otros.

El Instituto Forestal (INFOR), con el apoyo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), está llevando adelante un proyecto que considera como principal objetivo fomentar el uso de la madera y sus productos en la construcción, fortaleciendo la Industria Secundaria de la Madera a través de la investigación, desarrollo y transferencia tecnológica.

El adecuado uso de la madera en la construcción demanda el conocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas y su durabilidad natural, aspectos que deben estar incorporados en la normativa chilena vigente.

INFOR desde sus inicios ha caracterizado las maderas nativas y las provenientes de plantaciones de especies exóticas de rápido crecimiento que se han adaptado de buena manera a las distintas condiciones de suelo y clima presentes en el país.

En esta oportunidad se entregan las tensiones admisibles de la madera aserrada estructural de roble con clasificación visual, información relevante para el uso de esta especie en la construcción, para el desarrollo de productos con valor agregado y para la actualización de la normativa chilena relacionada.

Fernando Raga Castellanos
Director Ejecutivo
Instituto Forestal

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	1
3.	MATERIALES Y MÉTODO	2
3.1	Madera Aserrada	2
3.2	Ensayos Mecánicos y Físicos	2
3.2.1	Ensayo a la Flexión	3
3.2.2	Ensayo a la Tracción Paralela a las Fibras	4
3.2.3	Ensayo a la Compresión Paralela a las Fibras	5
3.2.4	Ensayo de Cizalle Paralelo a las Fibras	6
3.2.5	Ensayo a la Compresión Normal a las Fibras	6
3.2.6	Densidades	7
3.3	Tensiones Admisibles	7
3.4	Parámetros de Configuración de un Dispositivo Portátil de Clasificación Mecánica	8
4.	RESULTADOS	9
4.1	Rendimiento de la Clasificación Visual	9
4.2	Tensiones Admisibles	9
4.3	Correlación entre los Ensayos Mecánicos y el MOE Dinámico	16
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	19
5.1	Frecuencias Acumuladas	19
5.2	Valores Característicos	21
5.3	Tensiones Admisibles de Roble y Pino radiata	23
5.4	Parámetros de Configuración Inicial del Dispositivo Portátil	25
6.	CONCLUSIONES	26
7.	REFERENCIAS	26

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la casi totalidad de la madera aserrada producida en el país proviene de las plantaciones forestales, que ocupan una superficie de 2,3 millones de hectáreas. La producción de madera aserrada en el año 2018 fue de 8,31 millones de metros cúbicos, volumen del cual 86,7% provino de plantaciones forestales y algo más del 1% de bosques nativos. Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.) domina ampliamente en la producción con el 98,6% de este volumen, restando una pequeña participación de Pino oregón (*Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco) álamos (*Populus spp.*) y eucaliptos (*Eucalyptus spp.*) (INFOR, 2019).

De los bosque nativos en tanto, participan lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser) con 0,46%, roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) con 0,26% y coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.) con 0,16%, más tepa (*Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde), laurel (*Laurelia sempervirens*; (Ruiz & Pav.) Tul) y raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst.) con volúmenes menores (INFOR, 2019).

Como consecuencia de los devastadores incendios forestales que afectaron al país el año 2017, importantes superficies de los bosques de pino radiata fueron consumidas, situación que afecta de manera directa a la pyme de aserrío, considerando que su abastecimiento proviene principalmente de esta especie.

En atención a lo anterior, surge la necesidad de identificar especies alternativas al pino radiata como fuente de abastecimiento para los aserraderos pyme.

En este sentido, una especie maderera que presenta una importante superficie cubierta entre las regiones del Maule y Los Lagos es el roble, con 1.154.887 ha (Catastro del Bosque Nativo de CONAF).

Para incorporar a la especie maderera roble como alternativa de abastecimiento para la pyme de aserrío, previamente se deben determinar sus propiedades mecánicas y el índice de durabilidad natural de la madera, información que posteriormente debe ser incorporada en las normas chilenas respectivas; NCh 1198 (INN, 2014), NCh 789/1 (INN, 1987).

Este trabajo recopila la metodología, resultados y conclusiones de un estudio tecnológico ejecutado con la madera aserrada estructural de roble, con clasificación visual, proveniente de la región de La Araucanía.

Los ensayos mecánicos y físicos con la madera de roble se ejecutaron 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.

2. OBJETIVOS

Los objetivos específicos del estudio con madera de roble son los que se indican:

- Determinar las tensiones admisibles para sus grados estructurales visuales N°1 y N° 2.
- Comparar sus tensiones admisibles con las del pino radiata.

- Identificar sus grados estructurales para los mercados de Europa (D) y Australia (F).
- Determinar los parámetros de configuración de un equipo portátil de clasificación mecánica.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Madera Aserrada

La muestra de madera aserrada fue obtenida de un bosque de 50 años de edad, ubicado en el sector Rucapañi, Araucanía Norte, región de la Araucanía.

Los trozos fueron procesados en el aserradero Flor del Lago.

Se seleccionaron 800 piezas de madera aserrada para los ensayos mecánicos, con un contenido de humedad inferior al 19%, escuadría 2x4", cepillada (45x90 mm), y que cumplen requisitos estructurales visuales asociados a los grados N°1 y N°2 que se indican en la norma NCh 1970/1 (INN, 2017a): Especies latifoliadas. Clasificación visual para uso estructural. Especificación de los grados de calidad.

El Cuadro N° 1 registra la cantidad de piezas ensayadas en función del tipo de ensayo mecánico y el grado estructural visual.

Cuadro N° 1
NÚMERO DE ENSAYOS POR PROPIEDAD MECÁNICA

Tipo de Ensayo*	Grado Estructural	
	N°1	N°2
Flexión	100	100
Tracción	100	100
Cizalle	100	100
Compresión paralela	100	100
Compresión normal	30	
Total	830	

* El ensayo de compresión normal consideró probetas libres de defectos.

Los ensayos de flexión y cizalle consideraron madera de 2,6 m largo.

Los ensayos de compresión y tracción consideraron madera de 3,6 m de largo.

3.2 Ensayos Mecánicos y Físicos

Los ensayos mecánicos y físicos se ejecutaron en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), según indicaciones de las normas chilenas 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, 2017b); y NCh176/2: Madera. Parte 2: Determinación de la densidad (INN, 1986).

3.2.1 Ensayo a la Flexión

El ensayo permite determinar los parámetros de resistencia (MORf) y rigidez a la flexión (MOEf). Las Figuras N° 1 y N° 2 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

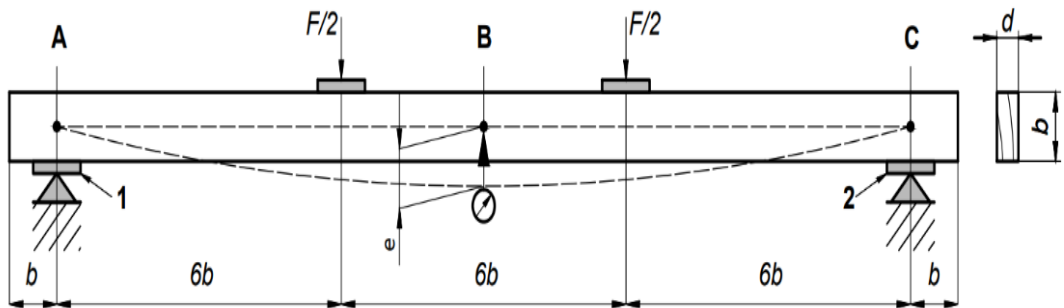


Figura N° 1
ESQUEMA DEL ENSAYO DE FLEXIÓN (NCh 3028/1)



Figura N° 2
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

3.2.2 Ensayo a la Tracción Paralela a las Fibras

El ensayo permite determinar el parámetro de resistencia a la tracción paralela (RTp). Las Figuras N° 3 y N° 4 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

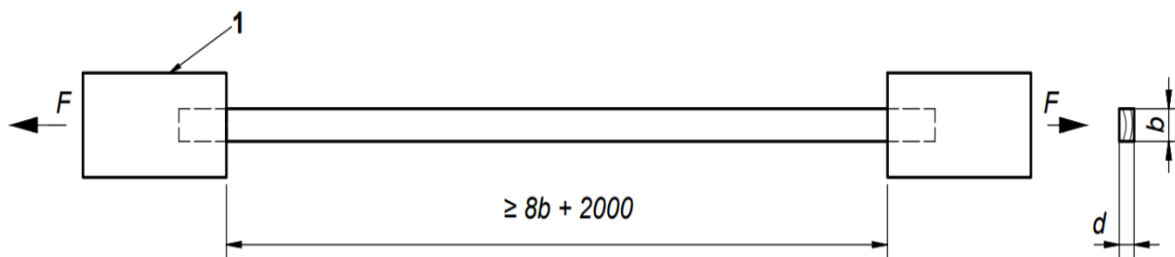


Figura N° 3
ESQUEMA DEL ENSAYO A LA TRACCIÓN PARALELA (NCh 3028/1)



Figura N° 4
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO A LA TRACCIÓN PARALELA

3.2.3 Ensayo a la Compresión Paralela a Las Fibras

El ensayo permite determinar el parámetro de resistencia a la compresión paralela (RCp). Las Figuras N° 5 y N° 6 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

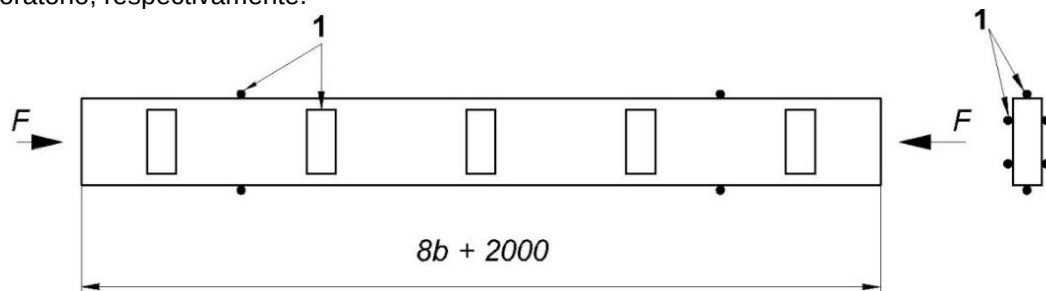


Figura N° 5
ESQUEMA DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA (NCh 3028/1)



Figura N° 6
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN PARALELA

3.2.4 Ensayo de Cizalle Paralelo a las Fibras

El ensayo permite determinar el parámetro de resistencia al cizalle paralelo (RCz). Las Figuras N° 7 y N° 8 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

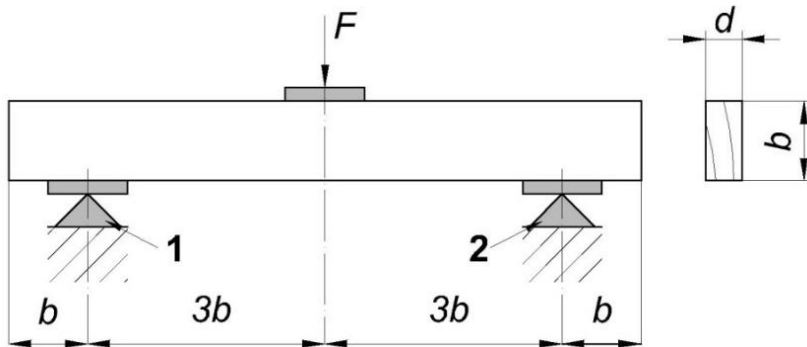


Figura N° 7
ESQUEMA DEL ENSAYO AL CIZALLE (NCh 3028/1)



Figura N° 8
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO AL CIZALLE

3.2.5 Ensayo a la Compresión Normal a las Fibras

El ensayo permite determinar el parámetro de resistencia a la compresión normal a las fibras (RCn). Las Figuras N° 9 y N° 10 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

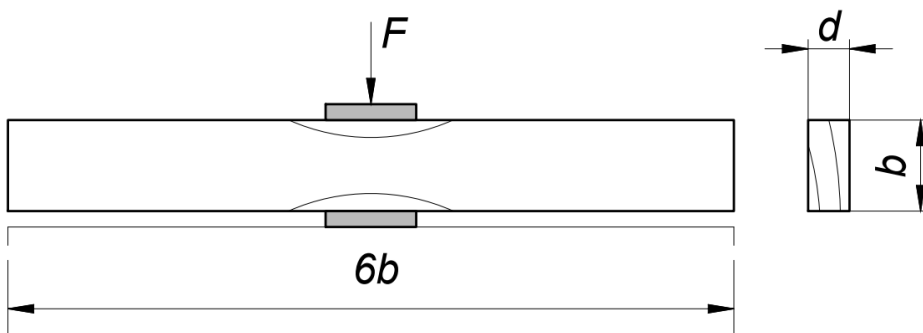


Figura N° 9
ESQUEMA DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN NORMAL (NCh 3028/1)



Figura N° 10
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN NORMAL

3.2.6 Densidades

A cada pieza de madera aserrada ensayada se le determinaron la densidad normal (12%) y la densidad anhidra. Las probetas utilizadas en las determinaciones consideraron la sección transversal completa de la pieza y una longitud mayor o igual a su ancho.

3.3 Tensiones Admisibles

La determinación de las tensiones admisibles a las solicitaciones de flexión (E_f , F_f), tracción paralela (F_{tp}), compresión paralela (F_{cp}), cizalle paralelo (F_{Cz}) y compresión normal (F_{Cn}) se realizó según lo indica NCh 3028/2 (INN, 2017c): 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.

3.4 Parámetros de Configuración de un Dispositivo Portátil de Clasificación Mecánica

La técnica de clasificación estructural mecánica se basa en la buena relación que se ha encontrado entre el Módulo de Elasticidad (MOEf) y la Resistencia (MORf), determinados ambos mediante el ensayo a la flexión de piezas de tamaño estructural.

En la actualidad hay una amplia variedad de equipos para clasificar madera aserrada estructural. Las tecnologías disponibles consideran los clasificadores por carga a la flexión, por rayos x, y por vibraciones acústicas. Estos últimos tienen las ventajas de su bajo costo, portabilidad y facilidad de uso.

El funcionamiento del dispositivo portátil se basa en la frecuencia de vibración acústica de una onda que es generada y medida por un aparato de golpe y un micrófono instalados en el clasificador portátil. El golpe se ejecuta en una de las cabezas de la pieza aserrada.

Para su uso en los aserraderos, el dispositivo portátil debe ser configurado con las características de la madera a clasificar, considerando la densidad, el contenido de humedad, la escuadría y el largo de la pieza.

Junto a lo anterior, se deben ingresar los límites que permiten separar un grado estructural de otro, los cuales se generan a partir de una correlación entre las lecturas del dispositivo (Módulo de Elasticidad Dinámico) y ensayos mecánicos de laboratorio (Módulo de Ruptura a la Flexión).

En la Figura N° 11 se ilustra el modo de operación del equipo portátil.



Figura N° 11
EQUIPO PORTÁTIL PARA LA CLASIFICACIÓN MECÁNICA

4. RESULTADOS

4.1 Rendimiento de la Clasificación Visual

En el Cuadro N° 2 se registra el rendimiento del proceso de clasificación visual estructural.

Cuadro N° 2
RENDIMIENTO DE LA CLASIFICACIÓN VISUAL

Grado Estructural	Largo (m)	Piezas Inspeccionadas (N°)	Piezas Seleccionadas (N°)	Rendimiento (%)
N°1	2,6	660	400	60,6
N°2				
N°1	3,6	740	400	54,0
N°2				

Los principales defectos en el rechazo de la madera aserrada fueron la presencia de nudo alargado, razones de área nudosa total e individual, grietas, rajaduras, fibra desviada y alabeos (encorvadura, arqueadura, torcedura).

4.2 Tensiones Admisibles

Se ejecutaron 200 ensayos a la flexión, 200 a la tracción paralela, 200 al cizalle paralelo, 200 a la compresión paralela y 30 a la compresión normal.

Los Cuadros N° 3 a N° 9 registran la estadística descriptiva de los resultados obtenidos con los ensayos a la flexión (MOEf, MORf), tracción paralela (RTp), compresión paralela (RCp), cizalle paralelo (RCz), y compresión normal (RCn).

En el Cuadro N° 10, en tanto, se registra la densidad normal (12%) y anhidra de la madera de roble y pino radiata.

En el Cuadro N° 11 se resumen las tensiones admisibles de la madera aserrada de roble para sus grados visuales estructurales N° 1 y N° 2.

En las Figuras N° 12 a N° 16 se muestran las fallas de mayor ocurrencia en los ensayos ejecutados.

Cuadro N° 3
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Descripción	MORf 12%	
	Grado N° 1	Grado N° 2
Promedio (MPa)	78,2	64,4
Valor mínimo (MPa)	39,9	22,1
Valor máximo (MPa)	85,5	108,7
Rango (MPa)	45,6	86,6
Desviación estándar (MPa)	15,8	19,1
Coeficiente de variación (%)	20,2	29,7
Tamaño de la muestra	100	100
Valor percentil 5% (MPa)	51,2	32,5
Valor admisible (MPa)	24,4	15,5

Cuadro N° 4
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MÓDULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN

Descripción	MOEf 12%	
	Grado N° 1	Grado N° 2
Promedio (MPa)	12.435	11.111
Valor mínimo (MPa)	7.926	7.933
Valor máximo (MPa)	16.980	15.215
Rango (MPa)	9.054	7.281
Desviación estándar (MPa)	1.832	1.668
Coeficiente de variación (%)	14,7	15,0
Tamaño de la muestra	100	100



Figura N° 12
FALLAS TÍPICAS EN EL ENSAYO A LA FLEXIÓN

Cuadro N° 5
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

Descripción	R _{Tp} 12%	
	Grado N° 1	Grado N° 2
Promedio (MPa)	55,4	38,4
Valor mínimo (MPa)	21,4	7,9
Valor máximo (MPa)	85,5	72,7
Rango (MPa)	64,1	64,8
Desviación estándar (MPa)	14,3	15,6
Coefficiente de variación (%)	25,9	40,6
Tamaño de la muestra	100	100
Valor percentil 5% (MPa)	27,9	14,9
Valor admisible (MPa)	13,29	7,10

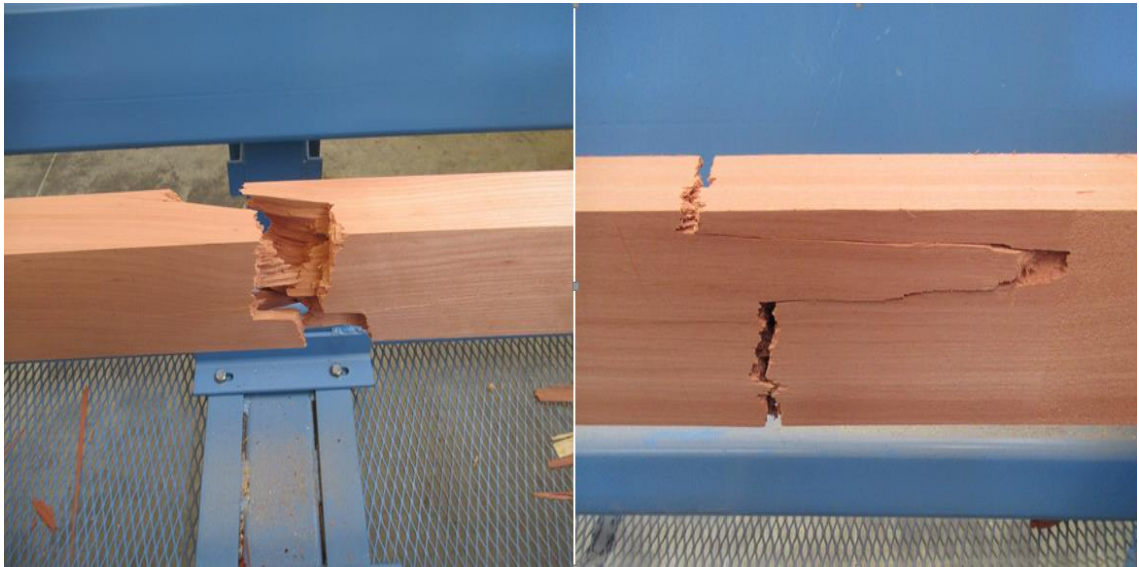


Figura N° 13
FALLAS TÍPICAS EN EL ENSAYO A LA TRACCIÓN

Cuadro N° 6
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA

Descripción	RCp 12%	
	Grado N° 1	Grado N° 2
Promedio (MPa)	52,7	40,3
Valor mínimo (MPa)	20,7	10,9
Valor máximo (MPa)	100,8	68,2
Rango (MPa)	80,1	57,3
Desviación estándar (MPa)	12,7	11,4
Coeficiente de variación (%)	24,2	28,2
Tamaño de la muestra	100	100
Valor percentil 5% (MPa)	31,6	25,1
Valor admisible (MPa)	16,6	13,2

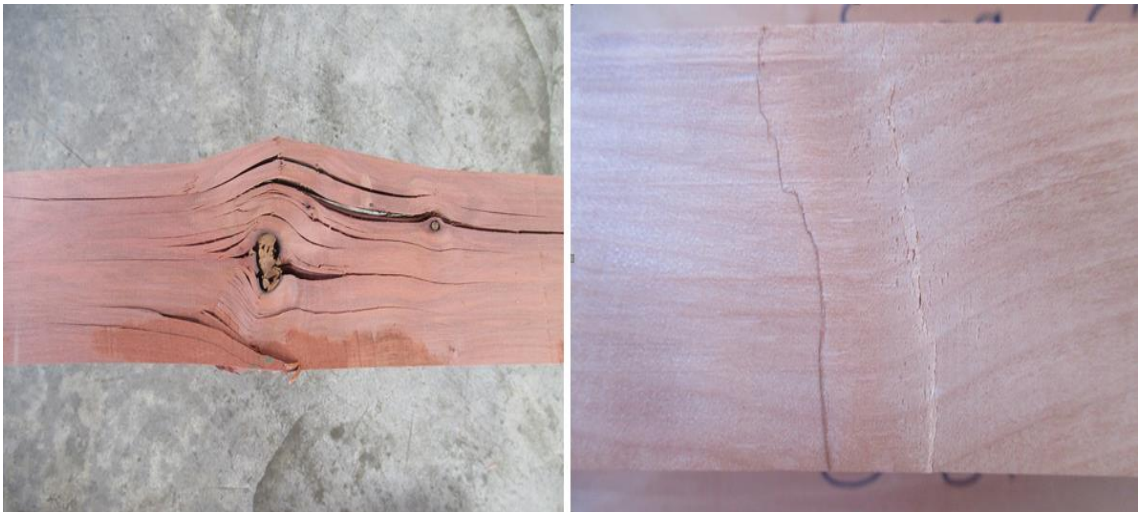


Figura N° 14
FALLAS TÍPICAS EN EL ENSAYO A LA COMPRESIÓN PARALELA

Cuadro N° 7
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO

Descripción	RCz 12%	
	Grado N° 1	Grado N° 2
Promedio (MPa)	6,9	6,9
Valor mínimo (MPa)	3,5	3,7
Valor máximo (MPa)	8,9	9,0
Rango (MPa)	5,3	5,3
Desviación estándar (MPa)	1,1	1,3
Coeficiente de variación (%)	15,8	18,6
Tamaño de la muestra	100	100
Valor percentil 5% (MPa)	5,1	4,6
Valor admisible (MPa)	1,24	1,12



Figura N° 15
FALLAS TÍPICAS EN EL ENSAYO AL CIZALLE PARALELO

Cuadro N° 8
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NORMAL

Descripción	RCn 12%
Promedio (MPa)	16,5
Valor mínimo (MPa)	11,3
Valor máximo (MPa)	24,0
Rango (MPa)	12,7
Desviación estándar (MPa)	3,4
Coeficiente de variación (%)	20,5
Tamaño muestra	30
Valor percentil 5% (MPa)	11,6
Valor admisible (MPa)	6,95



Figura N°16
FALLA TÍPICA DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN NORMAL

Cuadro N° 9
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DENSIDADES

Descripción	Normal	Anhidra
Promedio (kg/m^3)	624,9	558,0
Valor mínimo (kg/m^3)	469,5	419,2
Valor máximo (kg/m^3)	960,2	857,3
Rango (kg/m^3)	490,7	438,1
Desviación estándar (kg/m^3)	74,0	66,0
Coefficiente de variación (%)	11,8	11,8
Tamaño muestra (kg/m^3)	800	800
Valor percentil 5% (kg/m^3)	526,4	467,4

Cuadro N° 10
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE ROBLE

Grado Estructural	Tensiones Admisibles (MPa)					
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión Paralela	Compresión Normal	Módulo de Elasticidad en Flexión
	Ff	Ftp	Fcz	Fcp	Fcn	Ef
N° 1	24,4	13,9	1,24	16,6	6,95	12.435
N° 2	15,5	7,1	1,12	13,2		11.111

4.3 Correlación entre los Ensayos Mecánicos y el MOE Dinámico

En las Figuras N° 17 a N° 21 se ilustran las correlaciones entre el MOE dinámico y los distintos parámetros asociados a los ensayos mecánicos. Para cada pieza de madera aserrada evaluada se ingresó en el dispositivo portátil su densidad, contenido de humedad, escuadría y largo.

Se registra una alta correlación (0,90) entre el Módulo de Elasticidad dinámico y el MOEf. La mayor correlación entre el Módulo de Elasticidad dinámico y las resistencias a los distintos esfuerzos es con el MORf (0,51).

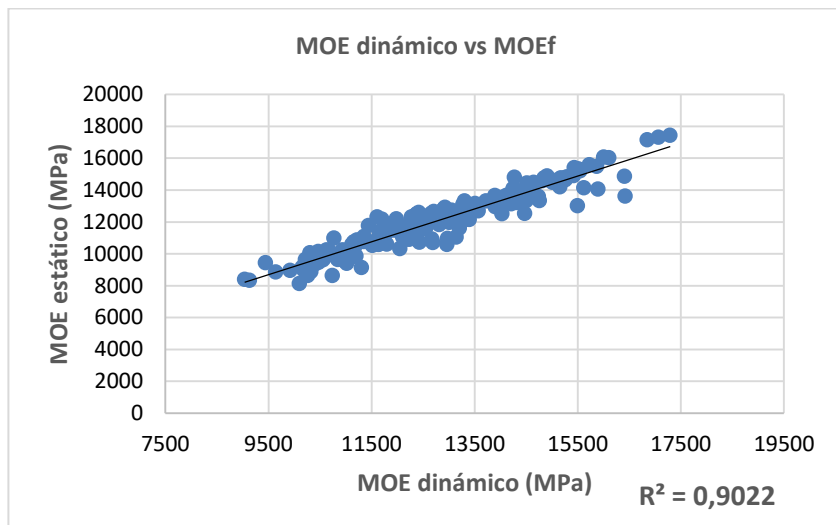


Figura N° 17
CORRELACIÓN ENTRE MOE DINÁMICO Y MOEf

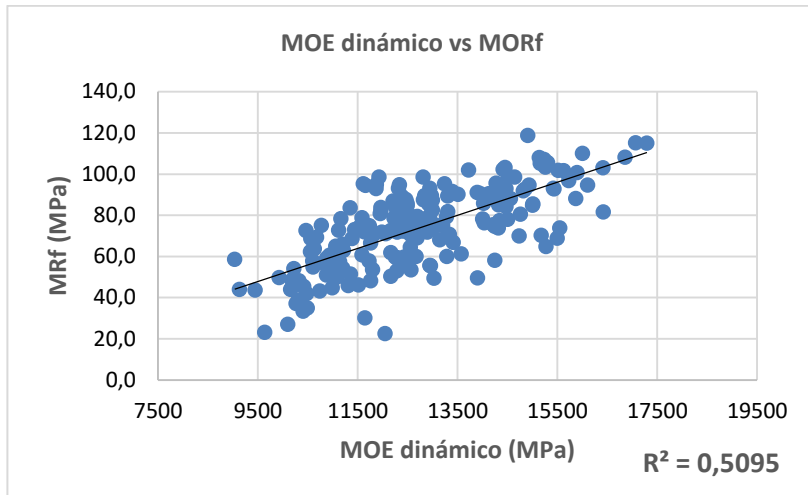


Figura N° 18
CORRELACIÓN ENTRE MOE DINÁMICO Y MORf

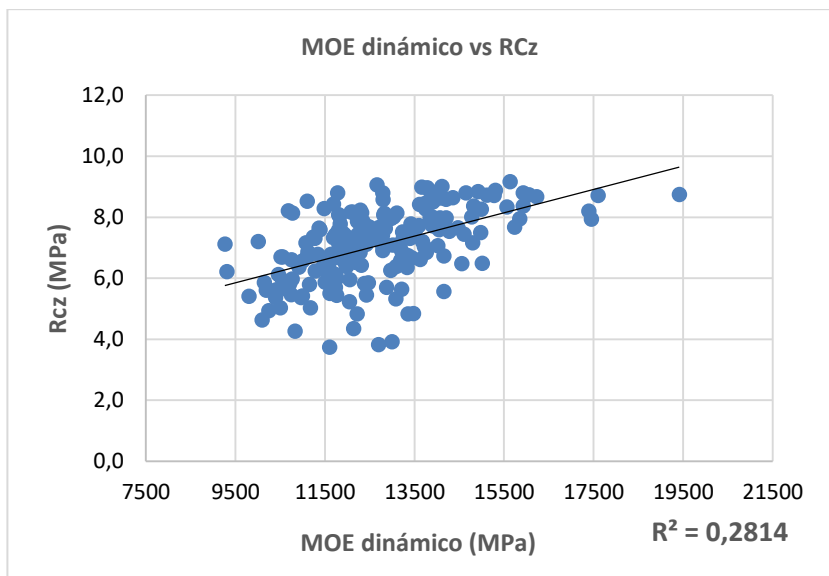


Figura N° 19
CORRELACIÓN ENTRE MOE DINÁMICO Y RCz

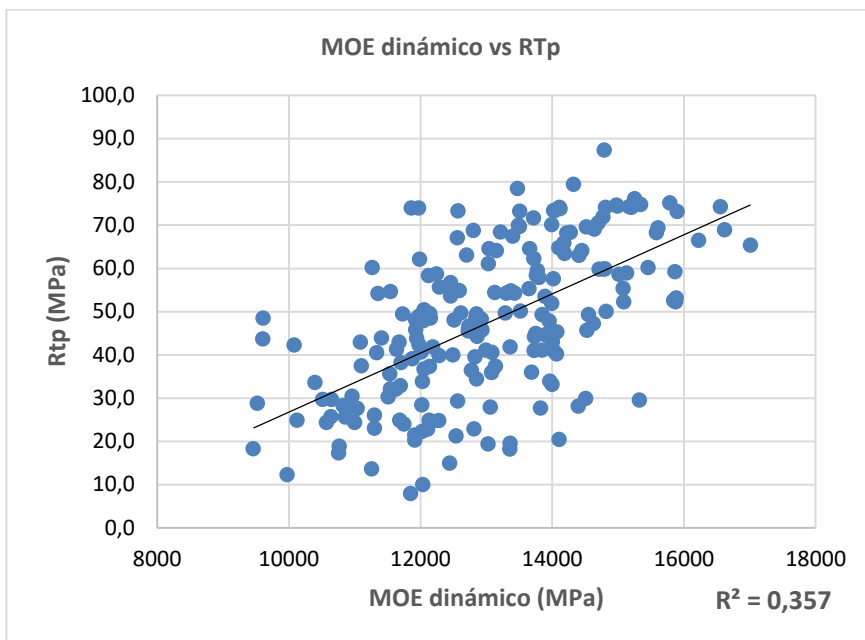


Figura N° 20
CORRELACIÓN ENTRE MOE DINÁMICO Y RTp

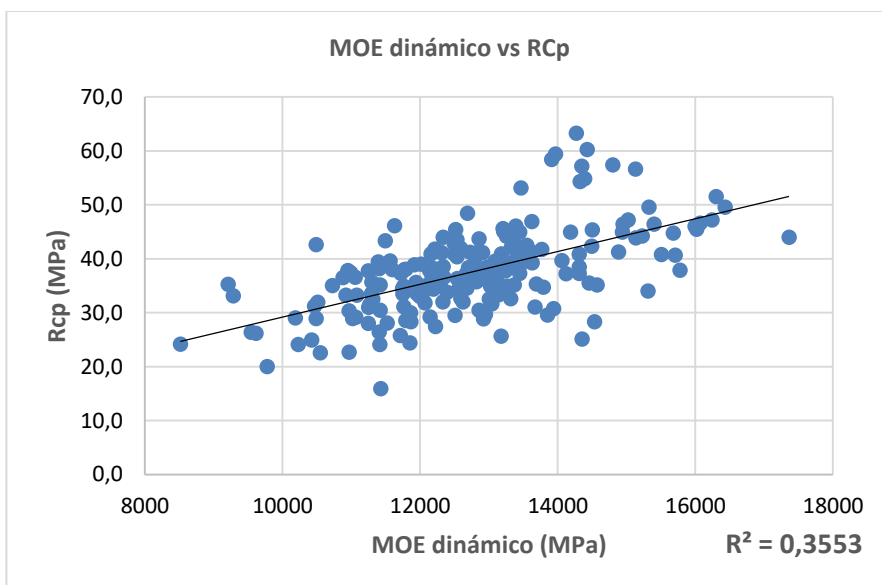


Figura N° 21
CORRELACIÓN ENTRE MOE DINÁMICO Y RCp

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Frecuencias Acumuladas

En las Figuras N° 22 a N° 26 se registran las frecuencias acumuladas de los resultados obtenidos en los distintos ensayos mecánicos, considerando los grados estructurales visuales N°1 y N°2 de la madera aserrada estructural de roble. Se observa que la clasificación visual estructural, ejecutada según las indicaciones de la norma NCh1970/1, permite diferenciar de manera clara los grados estructurales visuales N°1 y N°2, excepto para la propiedad de cizalle paralelo, donde las frecuencias acumuladas presentan un comportamiento homogéneo, que se atribuye a la condición de las probetas, libres de defectos.

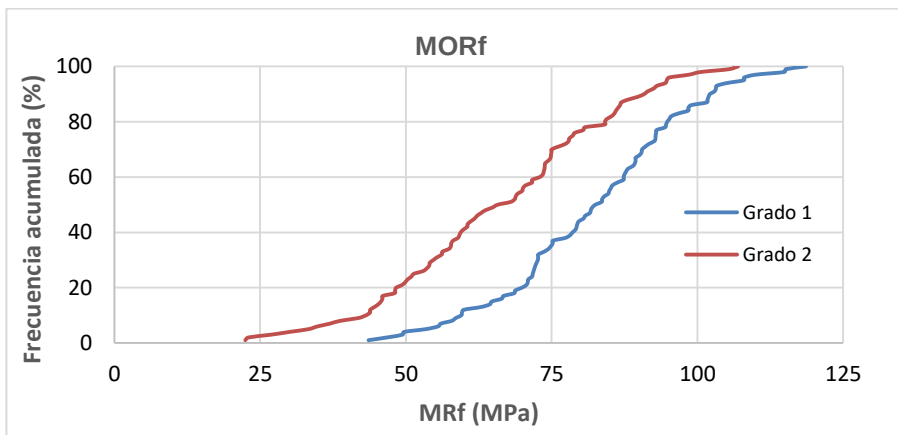


Figura N° 22
FRECUENCIA ACUMULADA MODULO DE RUPTURA A LA FLEXIÓN

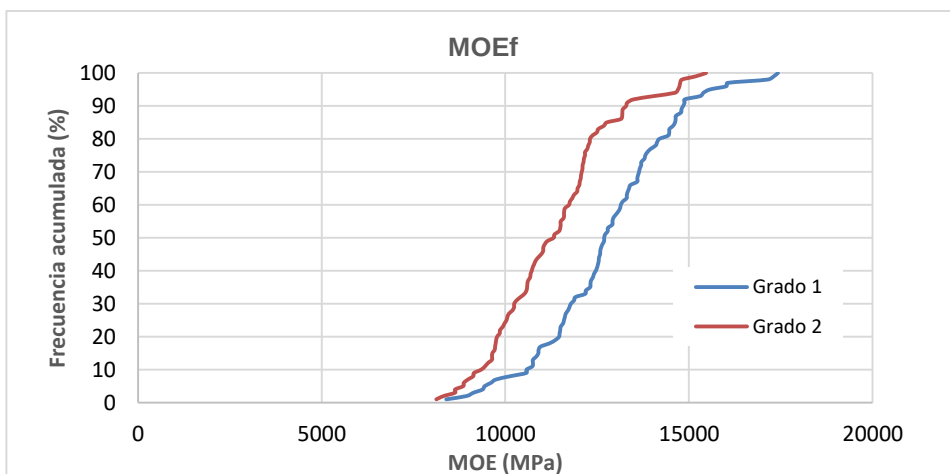


Figura N° 23
FRECUENCIA ACUMULADA MODULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN

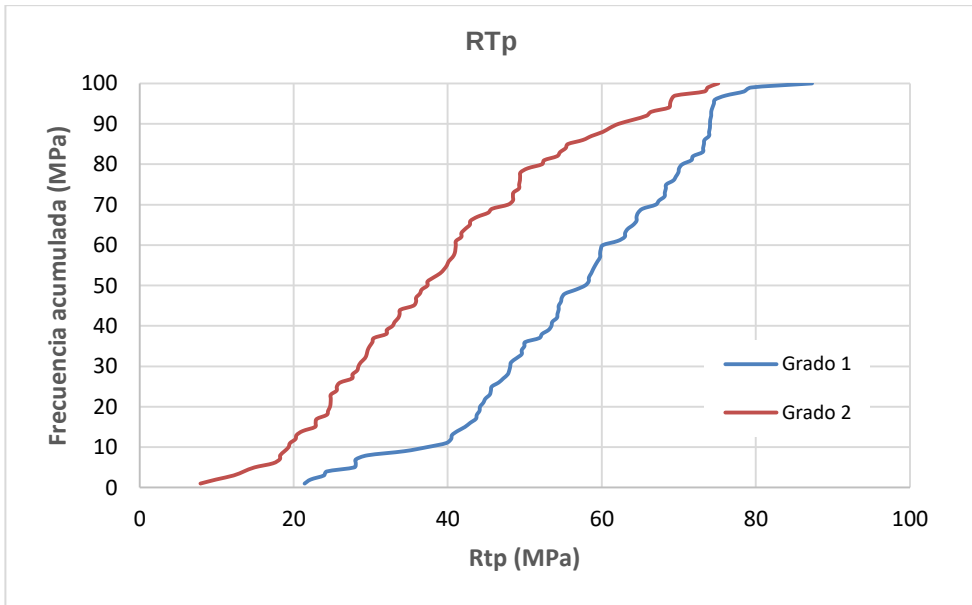


Figura N°24
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

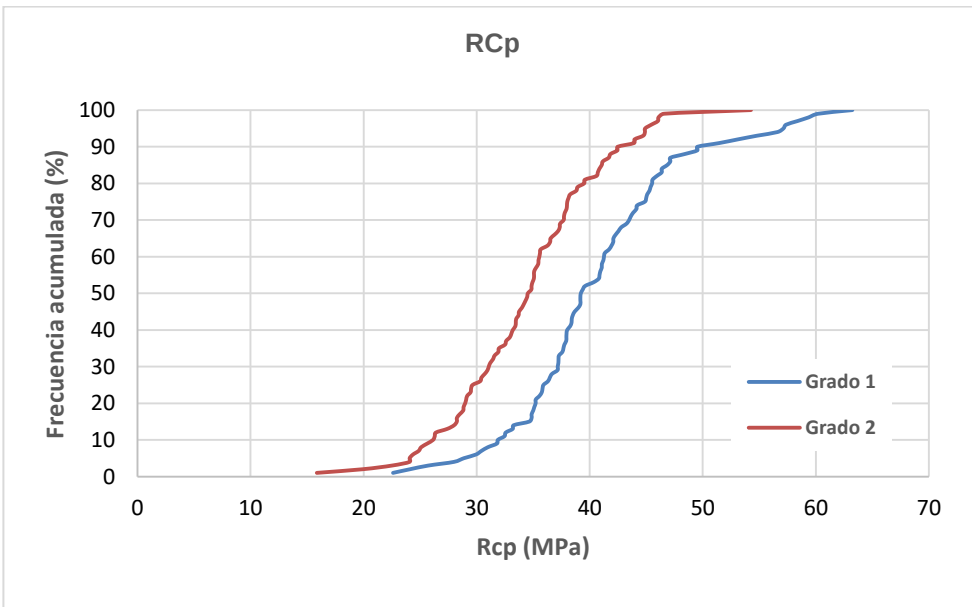


Figura N° 25
FRECUENCIA ACUMULADA. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA

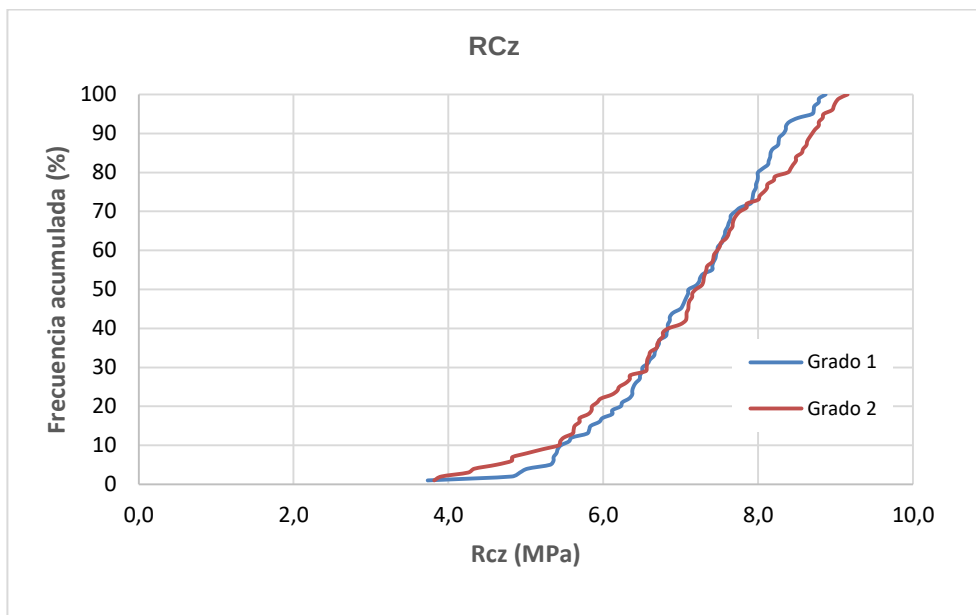


Figura N° 26
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA AL CIZALLE

5.2 Valores Característicos

En el Cuadro N° 11 se registran los valores característicos de las propiedades mecánicas asociados a los grados estructurales visuales N°1 y N°2 del roble, obtenidos de acuerdo a las metodologías en NCh3028/2 , AZ/NSZ 4063-2 (AZ/NSZ, 2010a) y EN 384 (AEONOR, 2016), las cuales presentan diferencias entre ellas, principalmente en aspectos de análisis estadístico de los datos.

Se observa que las magnitudes de los valores característicos determinados con las metodologías en NCh3028/2 y AZ/NSZ 4063-2 son similares en magnitud.

En tanto, los valores característicos determinados con la metodología en EN 386 son más conservadores en todas las propiedades mecánicas evaluadas, excepto en el Módulo de Elasticidad en flexión, para sus 2 grados visuales.

En los mercados de Australia y Europa la madera aserrada estructural latifoliada se comercializa de acuerdo con los grados F y D, cuyos valores característicos se registran los Cuadro N° 12 y N° 13, respectivamente.

Cuadro N° 11
VALORES CARACTERÍSTICOS SEGÚN NCh, AS/NZS y EN

Grado Estructural		Valores Característicos (MPa)					
		Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Cizalle	Compresión Normal	Módulo de Elasticidad en Flexión
N°1	NCh 3028/2	51,2	31,6	33,5	5,1	11,6	12.435
	AS/NZS 4063/2	55,9	29,0	33,0	5,4	11,6	12.667
	EN 386	45,3	23,8	20,1	4,0	10,7	13.621
N°2	NCh 3028/2	32,5	25,1	14,9	4,6	11,6	11.111
	AS/NZS 4063/2	37,0	21,4	16,7	5,0	11,6	11.205
	EN 386	25,5	19,6	9,8	3,5	10,7	11.834

Cuadro N° 12
VALORES CARACTERÍSTICOS GRADOS F, Fuente: AS/NZS 1720.

Grado Estructural	Propiedad Mecánica (MPa)					Módulo de Elasticidad Promedio Característico (MPa)
	Flexión	Tracción Paralela		Cizalle	Compresión Paralela	
		Latifoliada	Conífera			
F34	84	51	42	6,1	63	21.500
F27	67	52	34	5,1	51	18.500
F22	55	34	29	4,2	42	16.000
F17	42	25	22	3,6	34	14.000
F14	36	22	19	3,3	27	12.000
F11	31	18	15	2,8	22	10.500
F8	22	13	12	2,2	18	9.100
F7	18	11	8,9	1,9	13	7.900
F5	14	9	7,3	1,6	11	6.900
F4	12	7	5,8	1,3	8,6	6.100

Cuadro N° 13
VALORES CARACTERÍSTICOS GRADOS D, Fuente: EN 338 (INN, 2010b)

	D18	D24	D30	D35
Propiedades de Resistencia (MPa)				
Flexión	18	24	30	35
Tracción paralela a la fibra	11	14	18	21
Tracción perpendicular a la fibra	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	18	21	23	25
Compresión perpendicular a la fibra	7,5	7,8	8	8,1
Cizalle paralelo a la fibra	3,4	4	4	4
Propiedades en Rigidez (GPa)				
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	9,5	10	11	12
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5%)	8	8,5	9,2	10,1
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	0,63	0,67	0,73	0,8
Módulo medio de cortante	0,59	0,62	0,69	0,75

Los valores característicos de los grados estructurales visuales N°1 y N°2 del roble, determinados según NCh 3028/2, corresponden a los grados D y F que se indican:

- Grado estructural N°1, con la clase resistente D30
- Grado estructural N°2, con la clase resistente D18
- Grado estructural N°1, con el grado F14
- Grado estructural N°2, con el grado F7

La metodología utilizada para identificar los grados D y F que le corresponden a los grados visuales del roble consideró que todos los valores característicos determinados para N°1 y N°2 cumplen con los valores característicos de los grados D y F.

5.3 Tensiones Admisibles de Roble y Pino Radiata

En los Cuadros N° 14 y N° 15 se resumen las tensiones admisibles de los grados estructurales visuales de las maderas aserradas de roble y pino radiata, respectivamente.

Se observa que todas las tensiones admisibles del grado estructural N°2 de roble superan las señaladas para el grado estructural GS del pino radiata. Se destaca un notorio aumento en Ff (41%) y Ef (6%).

Cuadro N° 14
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE ROBLE

Grado Estructural	Tensiones Admisibles (MPa)					
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión Paralela	Compresión Normal	Módulo de Elasticidad en Flexión
	Ff	Ftp	Fcz	Fcp	Fcn	Ef
N°1	24,4	13,9	1,24	16,6	6,95	12.435
N°2	15,5	7,1	1,12	13,2		11.111

Cuadro N° 15
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA

Grado estructural	Tensiones Admisibles (MPa)					
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión paralela	Compresión normal	Módulo de elasticidad en flexión
	Ff	Ftp	Fcz	Fcp	Fcn	Ef
GS	11	6,0	1,1	8,5	2,50	10.500
G1	7,5	5,0	1,1	7,5		10.000
G2	5,4	4,0	1,1	6,5		8.900

En el Cuadro N° 16 se resumen las densidades normal y anhidra de roble y pino radiata.

Se observa que las densidades normal y anhidra de roble determinadas en este estudio son menores a las informadas para la misma especie en NCh1198.

Respecto del pino radiata, las densidades de roble son considerablemente superiores para ambos casos, tanto las determinadas en este estudio y las mencionadas en NCh 1198.

Cuadro N° 16
DENSIDADES NORMALES Y ANHIDRAS DEL ROBLE Y PINO RADIATA

Densidad	INFOR 2020 Roble		NCh 1198 Roble		NCh 1198 Pino Radiata	
	Normal	Anhidra	Normal	Anhidra	Normal	Anhidra
Promedio (Kg/m ³)	624,9	558,0	668	630	476	450
Característico (Kg/m ³)	526,4	467,4	559	527	391	370

5.4 Parámetros de Configuración Inicial del Dispositivo Portátil

El procedimiento para determinar los parámetros de configuración inicial del dispositivo portátil consideró correlacionar los Módulos de Elasticidad dinámicos obtenidos con el dispositivo portátil con los MORf obtenidos a partir de un ensayo mecánico estandarizado.

La recta asociada al quinto percentil de los datos, que se indica en la Figura N° 27, se determinó utilizando la metodología propuesta por Green y Kretschmann (2010) que asegura la clasificación mecánica de la madera con un nivel de confianza del 95%. La recta asociada al quinto percentil se generó utilizando el promedio y la desviación estándar de la muestra. Para el grado D18, asociado a un MORf de 18 MPa, el cruce con la línea recta del quinto percentil permitió identificar el Módulo de Elasticidad dinámico a ingresar al dispositivo portátil. El mismo ejercicio se repitió para el grado estructural D30. Se destaca que los parámetros de configuración inicial deben ser ajustados periódicamente con los controles de calidad señalados en la norma europea EN 14081-3 (AEONOR, 2012).

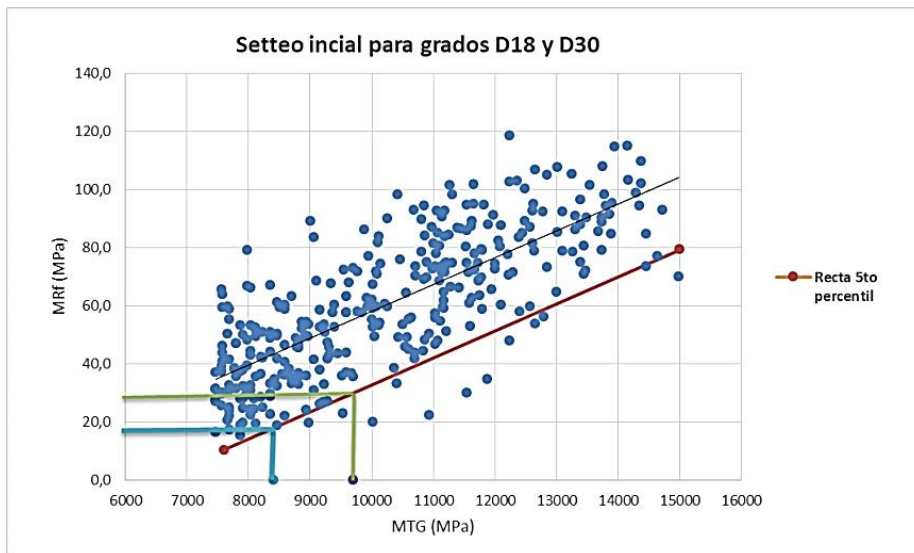


Figura N° 27
CORRELACIÓN MOE DINÁMICO Y MORf

Los parámetros de configuración inicial del dispositivo portátil que permite clasificar la madera aserrada de roble en sus grados estructurales D y F se presentan en los cuadros 17 y 18, respectivamente.

Cuadro N° 17
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN INICIAL D18 Y D30

Rango (MPa)	Grado Estructural
$E_{MTG} < 8.403$	Rechazo
8.403 - 9.963	D18
$E_{MTG} > 9.963$	D30

Cuadro N° 18
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN INICIAL F7 Y F14

Rango (MPa)	Grado estructural
$E_{MTG} < 8.403$	Rechazo
8.403 - 10.338	F7
$E_{MTG} > 10.338$	F14

6. CONCLUSIONES

La NCh 1970/1 permite clasificar de manera efectiva los grados estructurales visuales del roble, situación que queda en evidencia con los gráficos de frecuencia acumulada para cada propiedad mecánica evaluada.

Al comparar las tensiones admisibles de los grados estructurales visuales de roble y pino radiata, el grado estructural más bajo de roble (N°2) es superior en todas las propiedades mecánicas al mejor grado estructural visual del pino radiata (GS).

Los grados estructurales visuales N°1 y N°2 de roble tienen sus contrapartes en los grados estructurales que se comercializan en Europa (D30, D18) y Australia (F14, F7).

Los parámetros de configuración de un dispositivo portátil de clasificación mecánica proporcionan a la pyme de aserrío una alternativa a la clasificación visual de la madera.

7. REFERENCIAS

AS/NZS, 2010a. AS/NZS 4063.2: Characterization of Structural timber. Part 2: Determination of Characteristic values. Council of Standards Australia and New Zealand.

AS/NZS, 2010b. AS/NZS 1720.1: Timber Structures Design Method. Council of Standards Australia and New Zealand.

AENOR, 2010. EN 338: Madera estructural. Clases resistentes. Asociación Española de Normalización y Certificación

AENOR, 2012. EN 14081-3: Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 3: Clasificación mecánica. Requisitos complementarios para el control de producción en fábrica. Asociación Española de Normalización y Certificación

AENOR, 2016. EN 384: Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad. Asociación Española de Normalización y Certificación

Green, D., Kretschmann, D., 2010. Stress Grades and Design Properties for Lumber, Round timber and ties. Wood handbook – Wood as an Engineered Material, Chapter 7. Forest Products Laboratory; USDA Forest Service; Madison, Wisconsin.

INFOR, 2019. Anuario Forestal 2019. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 168. P. 214.

INN, 1986. NCh. 176/2 Of. 86 Maderas - Parte 2: Determinación de la densidad.

INN, 1987. NCh 789/1. Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural Instituto Nacional de Normalización, Chile.

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

INN, 2017a. 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, 2017b. 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, 2017c. 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.



INFOR

www.infor.cl