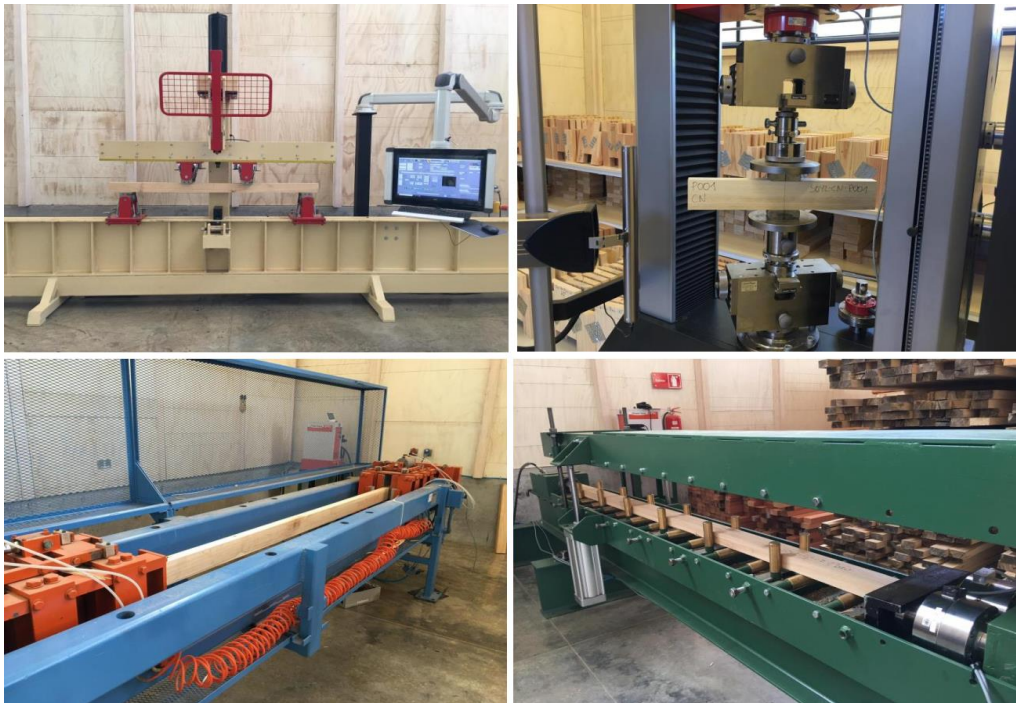


TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE *Eucalyptus nitens* CON CLASIFICACIÓN VISUAL



**INSTITUTO FORESTAL
2021**



**TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL
DE *Eucalyptus nitens* CON CLASIFICACIÓN VISUAL**

Jorge Catalán¹; Luis Vásquez; Gonzalo Hernández; 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
2021

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



INSTITUTO FORESTAL

Sucre 3397, Ñuñoa, Santiago

Chile

F. 56 2 223667115

www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-195-1

Registro de Propiedad Intelectual N° 2021-A-6343

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

Catalán, Jorge; Vásquez, Luis; Hernández, Gonzalo; Campos, Raúl y Mardones, Pablo, 2021. Tensiones Admisibles de la Madera Aserrada Estructural de *Eucalyptus nitens* con Clasificación Visual. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 240. 43p.

PRÓLOGO

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 uso adecuado de la madera en la construcción demanda el conocimiento de sus propiedades mecánicas, físicas y durabilidad natural, aspectos que se deben incorporar y actualizar de manera periódica en la normativa chilena vigente.

INFOR desde sus inicios ha caracterizado desde el punto de vista físico y mecánico las maderas nativas y las provenientes de plantaciones que se han adaptado de buena manera a las distintas condiciones de suelo y clima presentes en el país.

En esta oportunidad se informan las tensiones admisibles que registra la madera aserrada obtenida de *Eucalyptus nitens* que crece en el país, la que previamente fue sometida a una clasificación visual estructural, información que resulta relevante para el uso de esta especie en la construcción y para el desarrollo de productos con valor agregado.

Esta investigación forma parte de los diversos trabajos que está desarrollando la institución orientados a un mayor desarrollo de la industria secundaria de la madera y a un incremento de la utilización de la madera en la construcción en el país con todos los beneficios económicos, sociales y ambientales asociados al uso de este material.

Fernando Raga Castellanos
Director Ejecutivo
Instituto Forestal

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	1
3 MATERIAL Y MÉTODO	2
3.1 Madera aserrada	2
3.2 Ensayos mecánicos y físicos	2
Ensayo a la flexión	2
Ensayo a la tracción paralela a las fibras	3
Ensayo a la compresión paralela a las fibras	4
Ensayo de cizalle paralelo a las fibras	5
Ensayo a la compresión normal a las fibras	6
Densidades	7
3.3 Tensiones admisibles	7
3.4 Parámetros de configuración de un dispositivo portátil de clasificación mecánica	7
4 RESULTADOS	8
4.1 Rendimiento de la clasificación visual	8
4.2 Tensiones admisibles	8
4.3 Configuración de equipo portátil de clasificación	13
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	15
5.2 Frecuencias acumuladas y distribución de datos	16
5.3 Valores característicos	18
5.4 Tensiones admisibles de <i>Eucalyptus nitens</i> y Pino Radiata	20
5.5 Parámetros de configuración inicial del dispositivo portátil	21
6 CONCLUSIONES	22
7 REFERENCIAS	23
ANEXO	25

1. INTRODUCCIÓN

Al año 2018 las plantaciones forestales del país cubrían una superficie de 2,30 millones de hectáreas; 1,29 millones de hectáreas de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.), 0,58 millones de hectáreas de *Eucalyptus globulus* Labill., 0,27 millones de hectáreas de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden y 0,16 millones de hectáreas de otras especies (INFOR, 2020).

La producción nacional de madera aserrada el año 2019 alcanzó 8.030.400 m³, de los cuales el 97% correspondió al pino radiata; un 1,1% al pino oregón; y el saldo se distribuyó entre otras especies de plantaciones y nativas (INFOR, 2020).

Con el objetivo de diversificar la matriz de abastecimiento de trozos de los aserraderos, en particular los pequeños y medianos, es necesario caracterizar tecnológicamente la madera proveniente de otras especies que se han adaptado de buena manera a las distintas condiciones de suelo y clima del país.

El *Eucalyptus nitens* presenta una excelente adaptación y desarrollo en Chile, demostrando ser la especie forestal de más rápido crecimiento que se ha establecido en el país. Esta situación llevó a propietarios forestales a realizar extensas plantaciones, que al 2018 alcanzaron las 273.043 hectáreas, especialmente en áreas donde otras especies de rápido crecimiento se ven limitadas por las bajas temperaturas.

Los estudios tecnológicos que se deben considerar para incorporar la madera aserrada de esta especie como materia prima para la construcción, se refieren a las propiedades mecánicas y la durabilidad natural de su madera, información que posteriormente se debe incorporar en las normas chilenas respectivas; NCh 1198 (INN, 2014) y NCh 789/1 (INN, 1987).

Este trabajo recopila la metodología, resultados y conclusiones de un estudio tecnológico ejecutado con la madera aserrada de *Eucalyptus nitens*, con clasificación visual estructural, proveniente de la región de Los Ríos.

Los ensayos mecánicos y físicos 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 son:

- Determinar las tensiones admisibles para sus grados estructurales visuales N° 1 y N°2.
- Determinar los valores característicos utilizando NCh 3028/2 (INN, 2017b), AS/NZS 4063-2 (AS/NZS, 2010a) y EN 338 (AENOR, 2010).
- Determinar la configuración inicial de un equipo portátil de clasificación mecánica para la especie en los grados D (europeos) y F (australiano-neozelandés).
- Comparar sus tensiones admisibles con las del pino radiata.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Madera Aserrada

La muestra de madera aserrada fue obtenida de un bosque de 20 a 22 años de edad, ubicado en el sector El Trébol, comuna de Los Lagos, región de Los Ríos.

Se seleccionaron 775 piezas de madera aserrada para los ensayos mecánicos, con un contenido de humedad inferior al 19%, escuadría 2"x4", 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	85	90
Cizalle	100	100
Compresión paralela	100	100
Compresión normal	30	
Total	805	

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 (INN, 2017b): Madera estructural. Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia. Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural; y NCh176/2 (INN, 2019): Madera. Parte 2: Determinación de la densidad.

- 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.

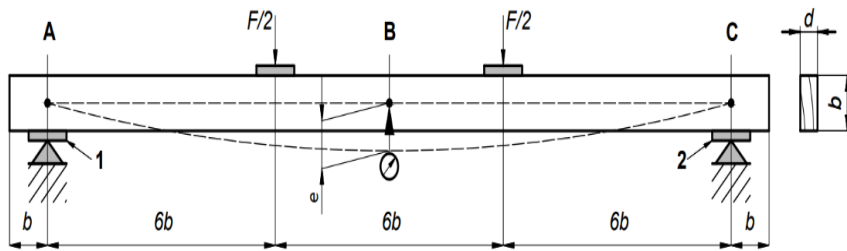


Figura N° 1
ESQUEMA DEL ENSAYO DE FLEXIÓN (NCh 3028/1)



Figura N° 2
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

- 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.

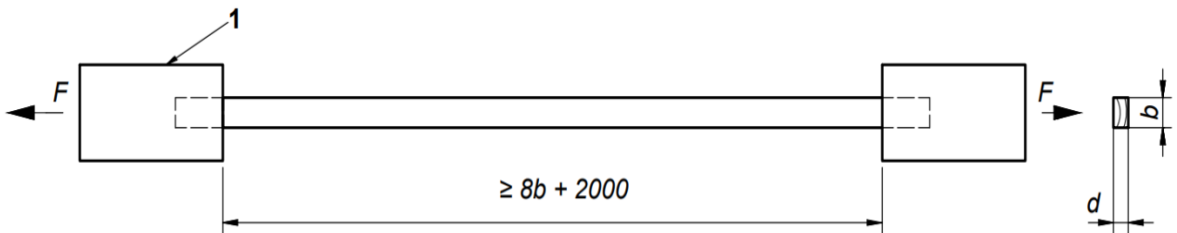


Figura N° 3
ESQUEMA DEL ENSAYO A LA TRACCIÓN PARALELA (NCh 3028/1)



Figura N° 4
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO A LA TRACCIÓN PARALELA

- 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.

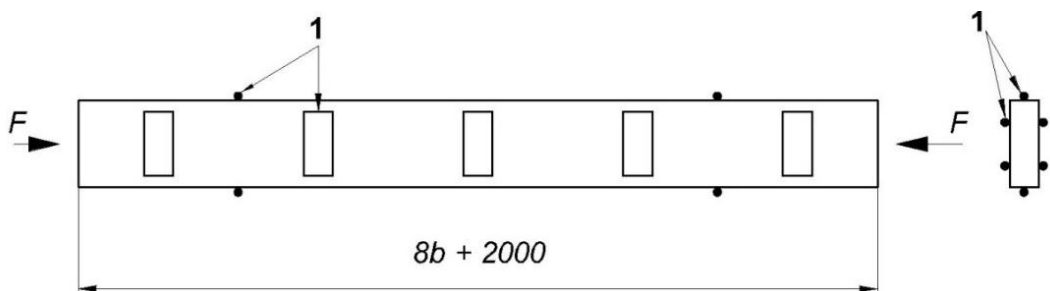


Figura N° 5
ESQUEMA DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN PARALELA (NCh 3028/1)



Figura N° 6
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN PARALELA

- 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.

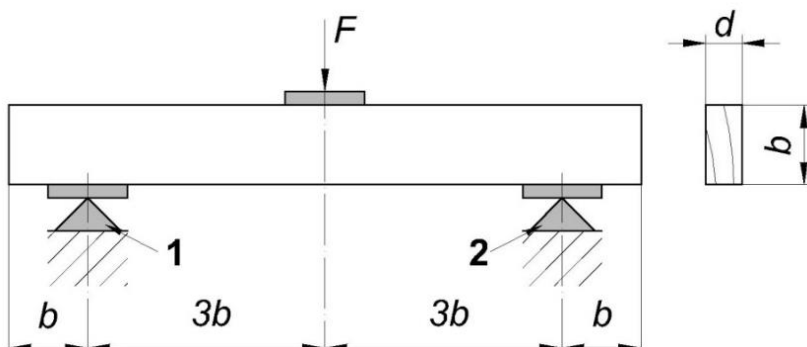


Figura N° 7
ESQUEMA DEL ENSAYO AL CIZALLE (NCh 3028/1)



Figura N° 8
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO AL CIZALLE

- 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.

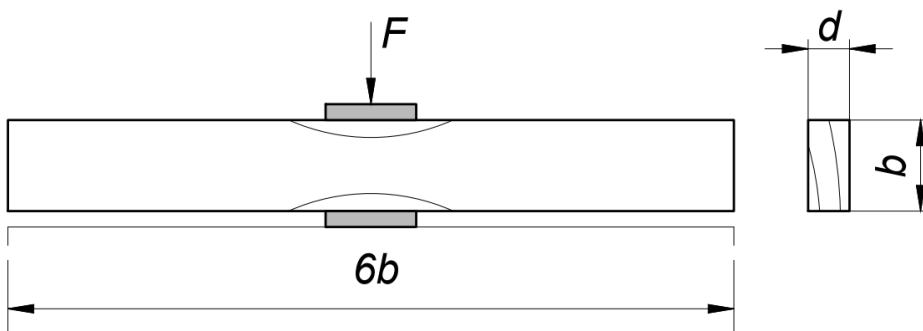


Figura N° 9
ESQUEMA DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN NORMAL (NCh 3028/1)

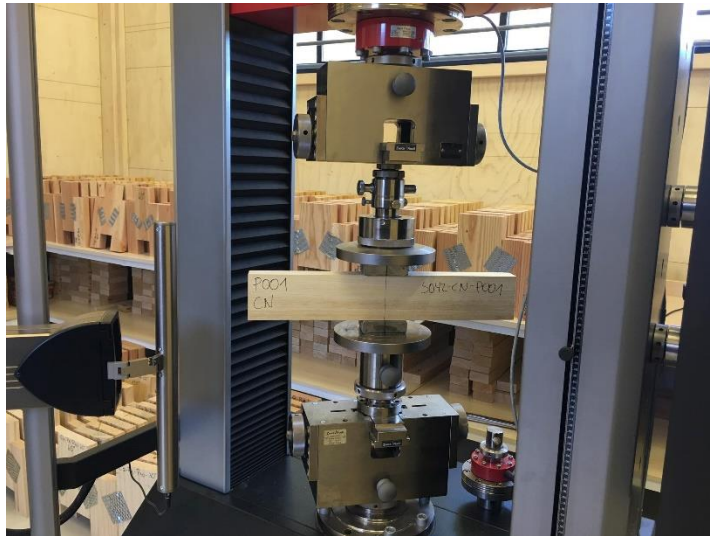


Figura N° 10
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO A LA COMPRESIÓN NORMAL

- 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 (FC_z) y compresión normal (FC_n) 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

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

Se inspeccionó un total de 2.129 piezas de madera aserrada de las cuales se obtuvo 775 piezas clasificadas en los grados N°1 y N°2, obteniendo un rendimiento de un 36%.

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, alabeos (encorvadura, arqueadura, torcedura) y tolerancias dimensionales.

4.2. Tensiones Admisibles

Se ejecutaron 200 ensayos a la flexión, 175 a la tracción paralela, 200 al cizalle paralelo, 200 a la compresión paralela y 30 a la compresión normal.

Los Cuadros N° 2 a N° 7 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° 8, en tanto, se registra la densidad normal (12%) y anhidra de la madera de *Eucalyptus nitens* y pino radiata.

En el Cuadro N° 9 se resumen las tensiones admisibles de la madera aserrada de *Eucalyptus nitens* 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° 2
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Descripción	Grado N°1	Grado N°2
	Rf, 12%	Rf, 12%
Promedio (MPa)	80,9	73,2
Máximo (MPa)	120,3	117,7
Mínimo (MPa)	30,4	36,3
Rango (MPa)	89,9	81,4
Tamaño de muestra	100	100
Desviación estándar (MPa)	18,0	17,8
Coefficiente de variación (%)	22,2	24,3
5to percentil (MPa)	50,4	45,9
Admisible (MPa)	24,0	21,9

Cuadro N° 3
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MÓDULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN

Descripción	Grado N°1	Grado N°2
	MOEf, 12%	MOEf, 12%
Promedio (MPa)	14.100	13.426
Máximo (MPa)	20.165	20.477
Mínimo (MPa)	9.063	7.880
Rango (MPa)	11.103	12.597
Tamaño de muestra	100	100
Desviación estándar (MPa)	2.403	2.487
Coefficiente de variación (%)	17,0	18,5

Cuadro N° 4
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

Descripción	Grado N°1	Grado N°2
	RTp, 12%	RTp, 12%
Promedio (MPa)	69,1	59,4
Máximo (MPa)	84,5	93,3
Mínimo (MPa)	24,0	22,3
Rango (MPa)	60,5	71,0
Tamaño de muestra	85	90
Desviación estándar (MPa)	12,4	16,1
Coefficiente de variación (%)	17,9	27,1
5to percentil (MPa)	47,4	32,0
Admisible (MPa)	24,9	16,8

Cuadro N° 5
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA

Descripción	Grado N°1	Grado N°2
	RCp, 12%	RCp, 12%
Promedio (MPa)	44,4	38,1
Máximo (MPa)	63,0	51,9
Mínimo (MPa)	17,4	24,4
Rango MPa)	45,6	27,5
Tamaño de muestra	100	100
Desviación estándar (MPa)	7,5	6,5
Coefficiente de variación (%)	16,8	17,1
5to percentil (MPa)	31,1	28,1
Admisible (MPa)	16,4	14,8

Cuadro N°6
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO

Descripción	Grado N°1	Grado N°2
	RCz, 12%	RCz, 12%
Promedio (MPa)	7,0	6,8
Máximo (MPa)	11,0	11,3
Mínimo (MPa)	2,4	2,5
Rango (MPa)	8,6	8,8
Tamaño de muestra	100	100
Desviación estándar (MPa)	1,6	1,7
Coefficiente de variación (%)	22,2	25,5
5to percentil (MPa)	4,4	3,5
Admisible (MPa)	1,0	0,8

Cuadro N° 7
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NORMAL

Descripción	RCn, 12%
Promedio (MPa)	12,4
Máximo (MPa)	16,0
Mínimo (MPa)	10,1
Rango (MPa)	5,9
Tamaño de muestra	30
Desviación estándar (MPa)	1,6
Coefficiente de variación (%)	10,0
5to percentil (MPa)	10,1
Admisible (MPa)	6,0



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



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



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



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



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

Cuadro N° 8
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DENSIDADES

Descripción	Normal	Anhida
Promedio (Kg/m ³)	600	569
Máximo (Kg/m ³)	820	779
Mínimo (Kg/m ³)	425	395
Rango (Kg/m ³)	395	384
Tamaño de muestra	776	400
Desviación estándar (Kg/m ³)	66	73
Coefficiente de variación (%)	11	13
5to percentil (Kg/m ³)	499	462

Cuadro N° 9
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

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	24,9	1,0	16,4	6,0	14.100
N°2	21,1	16,8	0,8	14,8		13.426

4.3. Configuración de Equipo Portátil de Clasificación

Se ejecutaron 300 ensayos a la flexión, considerando 200 piezas con grado estructural visual y 100 piezas de rechazo para efectos de la determinación de los parámetros de configuración del dispositivo portátil.

En las Figuras N° 17 y N° 18 se ilustran las correlaciones entre el MOE dinámico (MOE_d) 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.

Para la muestra de 300 piezas ensayadas en flexión, se registra una alta correlación (87%) entre el Módulo de Elasticidad dinámico y el MOEf, mientras que el módulo de ruptura en flexión presenta una correlación de un 37% con el Módulo de Elasticidad dinámico.

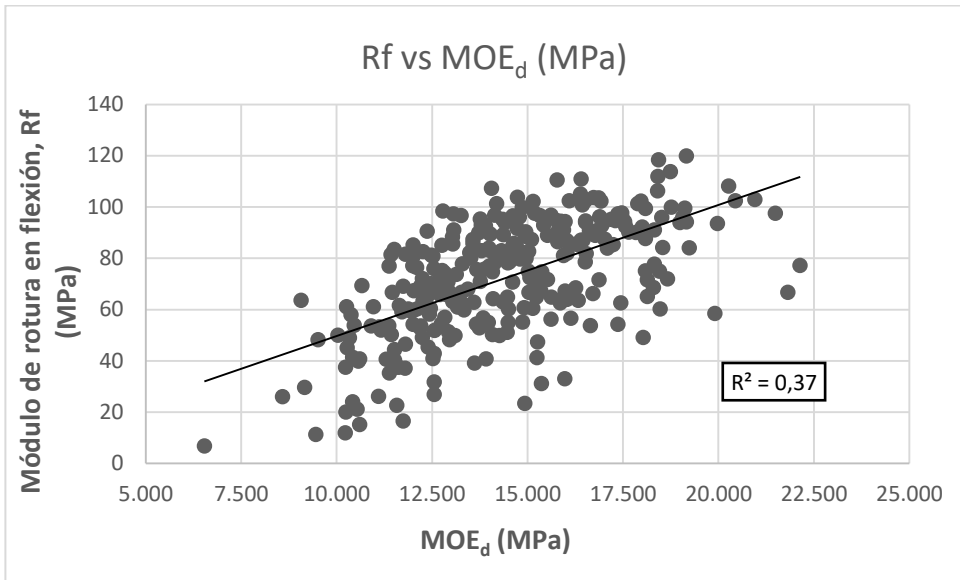


Figura N° 17
CORRELACIÓN LINEAL Rf VERSUS MOE_d

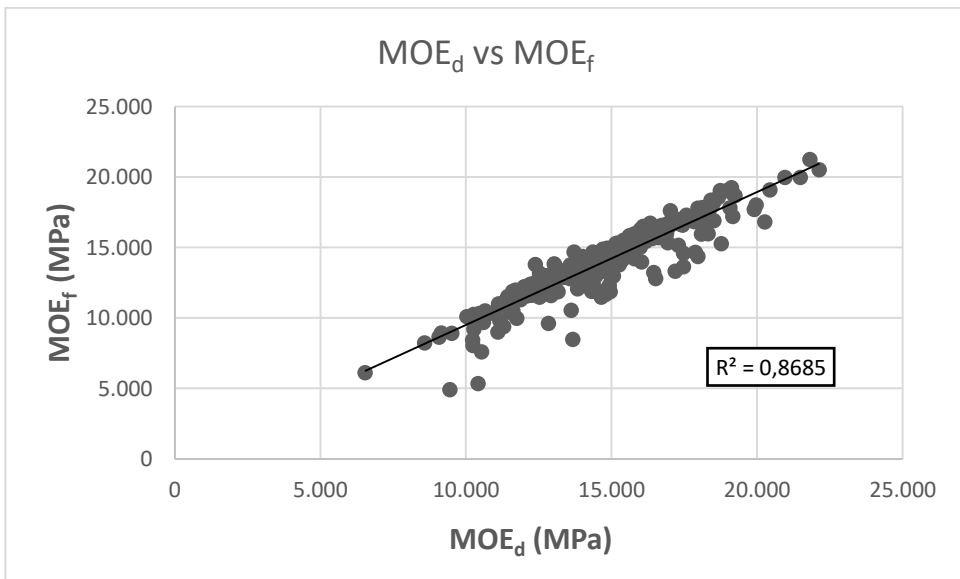


Figura N°18
CORRELACIÓN LINEAL MOE_d VERSUS MOE_f

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Prueba T

La prueba T permite determinar con sustento estadístico si las medias de dos muestras separadas en categorías son significativamente diferentes para distintos tratamientos. En este caso, se evalúa si la clasificación mecánica en los grados (categorías) N° 1 y N° 2 evidencia diferencias significativas en la media de la propiedad mecánica evaluada.

Este análisis debe comprobar el cumplimiento de 3 supuestos: a) Independencia de datos, b) Distribución normal de datos (Test de Shapiro-Wilk); y c) Homocedasticidad o varianzas homogéneas (Test de Levene). Los análisis antes descritos se presentan en el anexo de este informe.

El Cuadro N° 10 presenta los valores P de la prueba T-Student ejecutada que permiten aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 . Las hipótesis formuladas para la prueba T son las que se indican:

H_0 : Las medias de la muestra son iguales

H_1 : Las medias de la muestra son diferentes

Si el valor P calculado es menor al nivel de significancia (α) considerado, entonces se rechaza la hipótesis (H_0) nula en favor de la hipótesis alternativa (H_1).

En el caso de este estudio, se observa que bajo la prueba T realizada, considerando un nivel de significancia $\alpha=0.05$ (5%), las propiedades de Módulo de Ruptura a la Flexión (R_f) y Módulo de Ruptura a la Compresión Paralela presentan medias con diferencias significativas, en tanto que el Módulo de Elasticidad en Flexión (MOE_f) presenta diferencia de medias poco significativas y el Módulo de Ruptura al Cizalle Paralelo (RC_z) no presenta diferencias significativas de medias. Por otro lado, debido a la naturaleza estadística de los datos de módulo de ruptura a la tracción paralela, solo se puede realizar un análisis descriptivo (varianzas no homogéneas y distribución de datos no normales para el grado N°1).

Cuadro N° 10
VALORES P OBTENIDO DE LA PRUEBA T

Propiedad mecánica	Valor-P calculado	Valor-P crítico (α)	Resultado
Flexión (R_f)	0,0027	0,05	Se rechaza H_0
Módulo de elasticidad en flexión (MOE_f)	0,0533	0,05	Se acepta H_0
Compresión paralela (RC_p)	7,01 e-10	0,05	Se rechaza H_0
Cizalle paralelo (RC_z)	0,243	0,05	Se acepta H_0
Tracción paralela (RT_p)	Solo admite análisis descriptivo		

5.2. Frecuencias Acumuladas y Distribución de Datos

En las Figuras N° 19 a N° 23 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 *Eucalyptus nitens*. Se observa que la clasificación visual estructural, ejecutada según las indicaciones de la norma NCh 1970/1(INN, 2017a), permite diferenciar los grados estructurales visuales N° 1 y N° 2.

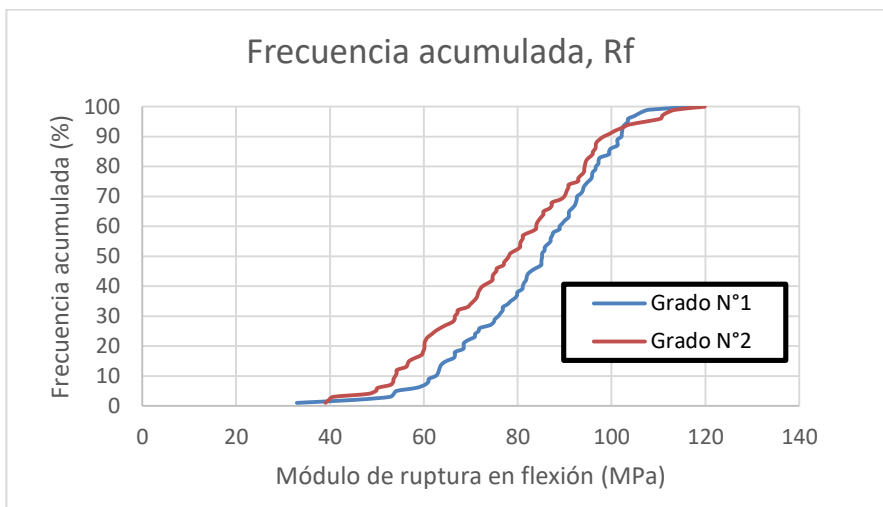


Figura N° 19
FRECUENCIA ACUMULADA MODULO DE RUPTURA A LA FLEXIÓN

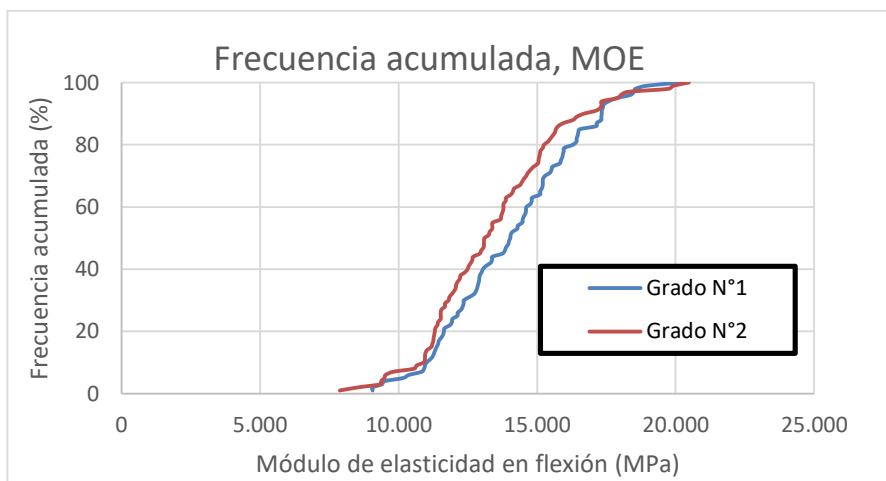


Figura N° 20
FRECUENCIA ACUMULADA MODULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN

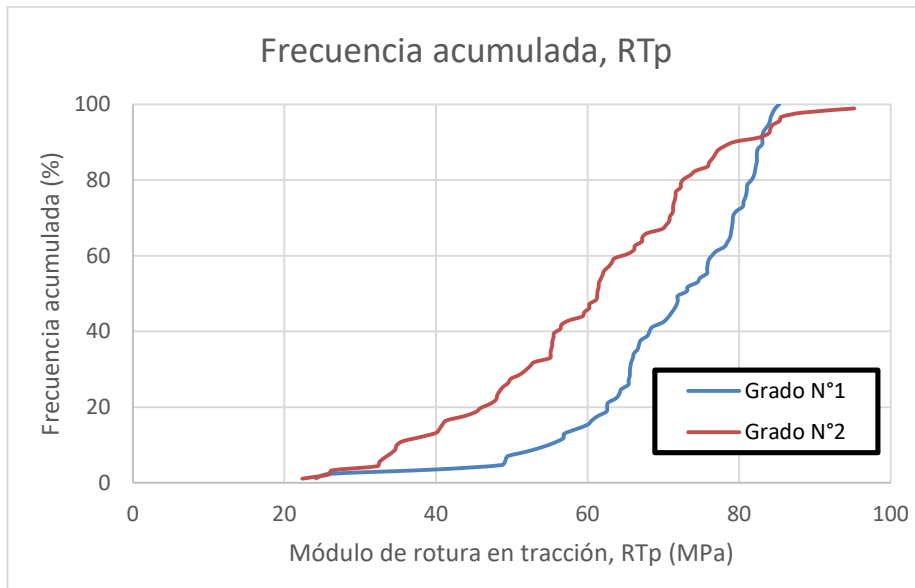


Figura N° 21
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA

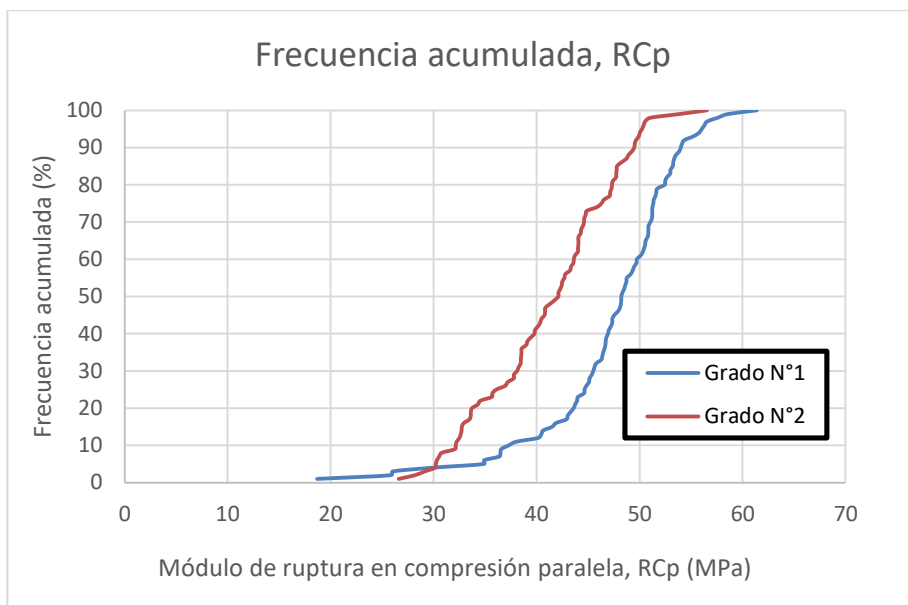


Figura N° 22
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA

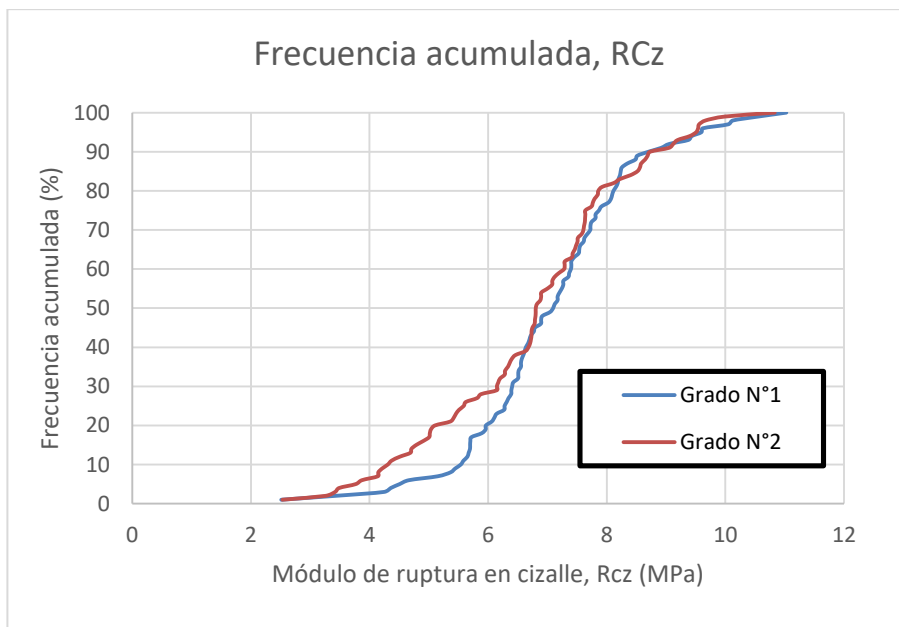


Figura N°23
FRECUENCIA ACUMULADA RESISTENCIA AL CIZALLE

5.3. 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 *Eucalyptus nitens*, obtenidos de acuerdo a las metodologías en NCh 3028/2 (INN, 2017c), AZ/NSZ 4063-2 (AZ/NSZ, 2010a) y EN 384 (AENOR, 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 NCh 3028/2 y AZ/NSZ 4063-2 son similares en magnitud.

En tanto, los valores característicos determinados con la metodología en EN 384 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		Flexión	Compresión Paralela	Tracción Paralela	Cizalle	Compresión Normal	Módulo de Elasticidad en Flexión
		(MPa)					
N°1	NCh 3028	50,4	31,1	47,4	4,4	10,1	14.100
	AS/NZS 4063	56,5	34,3	46,7	4,7	9,9	14.516
	EN 386	41,1	23,3	36,9	3,4	7,7	16.129
N°2	NCh 3028	45,9	28,1	32	3,5	10,1	13.426
	AS/NZS 4063	49,2	30,5	34,4	4,0	9,9	14.308
	EN 386	37,8	20,8	24,5	2,9	7,7	15.327

Cuadro N° 12
VALORES CARACTERÍSTICOS GRADOS F, SEGÚN 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, SEGÚN EN 338

Ítem	D18	D24	D30	D35	D40	D50
Propiedades de Resistencia (MPa)						
Flexión	18	24	30	35	40	50
Tracción paralela a la fibra	11	14	18	21	24	30
Tracción perpendicular a la fibra	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	18	21	23	25	26	29
Compresión perpendicular a la fibra	7,5	7,8	8	8,1	9,3	9,3
Cizalle paralelo a la fibra	3,4	4	4	4	4	4
Propiedades en Rigidez (GPa)						
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	9,5	10	11	12	13	14
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5%)	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	0,63	0,67	0,73	0,8	0,86	0,93
Módulo medio de cortante	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88

Los valores característicos de los grados estructurales visuales N° 1 y N° 2 de *Eucalyptus nitens*, determinados según NCh 3028/2 (INN, 2017c), corresponden a los grados D y F que se indican:

- Grado estructural N°1, con el grado F17
- Grado estructural N°2, con el grado F14
- Grado estructural N°1, con la clase resistente D18
- Grado estructural N°2, no califica para un grado estructural

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

5.4. Tensiones Admisibles de *Eucalyptus nitens* 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 *Eucalyptus nitens* y pino radiata, respectivamente. Se observa que todas las tensiones admisibles del grado estructural N° 2 de *Eucalyptus nitens* superan las señaladas para el grado estructural GS del pino radiata a excepción de la resistencia en cizalle en donde el *Eucalyptus nitens* es inferior en un 38%. Se destaca un aumento significativo en el módulo de elasticidad en flexión de un 28%.

Cuadro N° 14
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE E. NITENS

Grado Estructural	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)					
	Flexión	Tracción	Cizalle	Compresión Paralela	Compresión Normal	Módulo de Elasticidad en Flexión
	Ff	FCp	FCz	FCp	FCn	Ef
N°1	24,0	24,9	1,0	16,4	6,0	14.100
N°2	21,1	16,8	0,8	14,8		13.426

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	2,5	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 *Eucalyptus nitens* y pino radiata.

Se observa que las densidades normal y anhidra del *Eucalyptus nitens* determinadas en este estudio son considerablemente superiores a las presentadas en la NCh 1198 (INN, 2014), en ambos casos.

Cuadro N° 16
DENSIDADES NORMALES Y ANHIDRAS DE *E. nitens* Y *P. radiata*

Densidad	INFOR 2020 <i>Eucalyptus nitens</i>		NCh 1198 Pino Radiata	
	Normal	Anhidra	Normal	Anhidra
Promedio (Kg/m ³)	600	569	476	450
Característico (Kg/m ³)	499	462	391	370

5.5. 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° 24, 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.

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 (AENOR, 2012).

Los cuadros N° 17 y N° 18 presentan la configuración inicial determinada para los grados D18, F14 y F17.

Cuadro N° 17
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN INICIAL D18

Rango (MPa)	Grado Estructural
$E_{MTG} < 7.300$	Rechazo
$E_{MTG} \geq 7.300$	D18

Cuadro N° 18
PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN INICIAL F14 Y F17

Rango (MPa)	Grado Estructural
$E_{MTG} < 10.156$	Rechazo o grado inferior a F14
10.156 – 11.109	F14
$E_{MTG} > 10.156$	F17

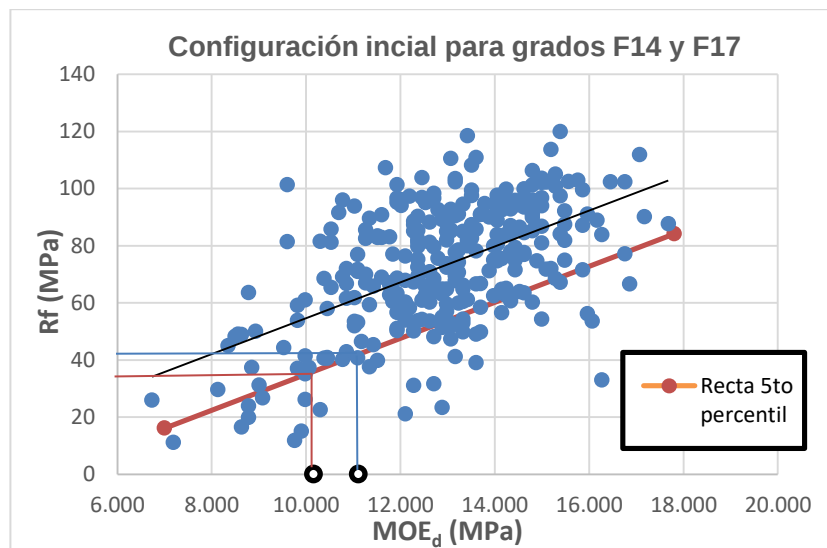


Figura N° 24
CORRELACIÓN MOE DINÁMICO Y MORF

6. CONCLUSIONES

La NCh 1970/1 permite clasificar de manera efectiva los grados estructurales visuales del *Eucalyptus nitens*, situación que queda en evidencia con los gráficos de frecuencia acumulada y análisis estadístico bajo NCh 3028/2 para cada propiedad mecánica evaluada.

Si bien los análisis de diferencias de medias entre grados mecánicos (Prueba T-Student) indican que las medias del Módulo de Ruptura en Cizalle no son significativamente distintas para los grados visuales N° 1 y N° 2, para el caso de las Tensiones Admisibles si lo son. Esto se debe a que las Tensiones Admisibles se determinan utilizando el valor característico asociado a la muestra, en donde los defectos de la madera toman un papel relevante.

Al comparar las Tensiones Admisibles de los grados estructurales visuales de *Eucalyptus nitens* y pino radiata, el grado estructural más bajo de *Eucalyptus nitens* (N° 2) es superior en todas las propiedades mecánicas al mejor grado estructural visual del pino radiata

(GS), excepto para la propiedad de cizalle, donde el pino radiata supera ambos grados del *Eucalyptus nitens*.

Los grados estructurales visuales N° 1 y N° 2 de *Eucalyptus nitens* tienen sus contrapartes en los grados estructurales que se comercializan en Australia, pudiendo obtenerse hasta un grado máximo F17.

El grado estructural visual N° 1 de *Eucalyptus nitens* tiene su contraparte en el grado estructural que se comercializa en Europa como D18. El grado N° 2 no cumple con la resistencia mínima a cizalle para entrar en una categoría estructural en este mercado.

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, 2010. AS/NZS 4063.2: Characterization of Structural timber. Part 2: Determination of Characteristic values. Council of Standards Australia and New Zealand. <https://www.standards.org.au>

AS/NZS, 2010. AS/NZS 1720.1: Timber Structures Design Method. Council of Standards Australia and New Zealand. <https://www.standards.org.au>

AENOR, 2010. EN 338: Madera estructural. Clases resistentes. Asociación Española de Normalización y Certificación. <https://www.aenor.com>

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. <https://www.aenor.com>

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. <https://www.aenor.com>

Green, D. and 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, 2020. Anuario Forestal 2020. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N°174. 254p.

INN, 1987. NCh 789/1. Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural Instituto Nacional de Normalización, Chile. <https://www.inn.cl>

INN, 2014. NCh 1198. Madera. Construcciones en madera. Cálculo. Instituto Nacional de Normalización, Chile. <https://www.inn.cl>

INN, 2017. NCh 1970/1. Maderas. Parte 1: Especies Latifoliadas. Clasificación visual para uso estructural. Especificaciones de los grados de calidad. Instituto Nacional de Normalización, Chile. <https://www.inn.cl>

INN, 2017. 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. <https://www.inn.cl>

INN, 2017. 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. <https://www.inn.cl>

INN, 2019. NCh 176/2. Determinación de la humedad. Instituto Nacional de Normalización, Chile. <https://www.inn.cl>

ANEXO
Gráficas Boxplot

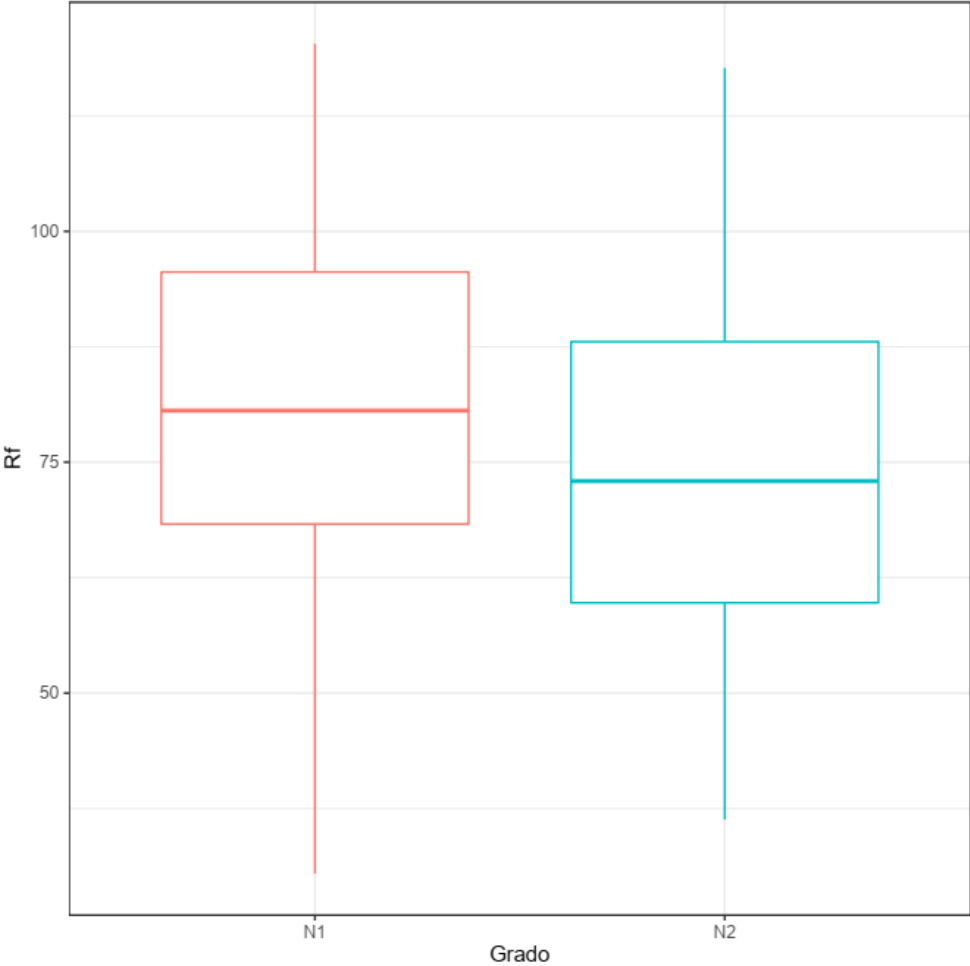


Figura A1
BOXPLOT MÓDULO DE RUPTURA A LA FLEXIÓN R_f (MPa)

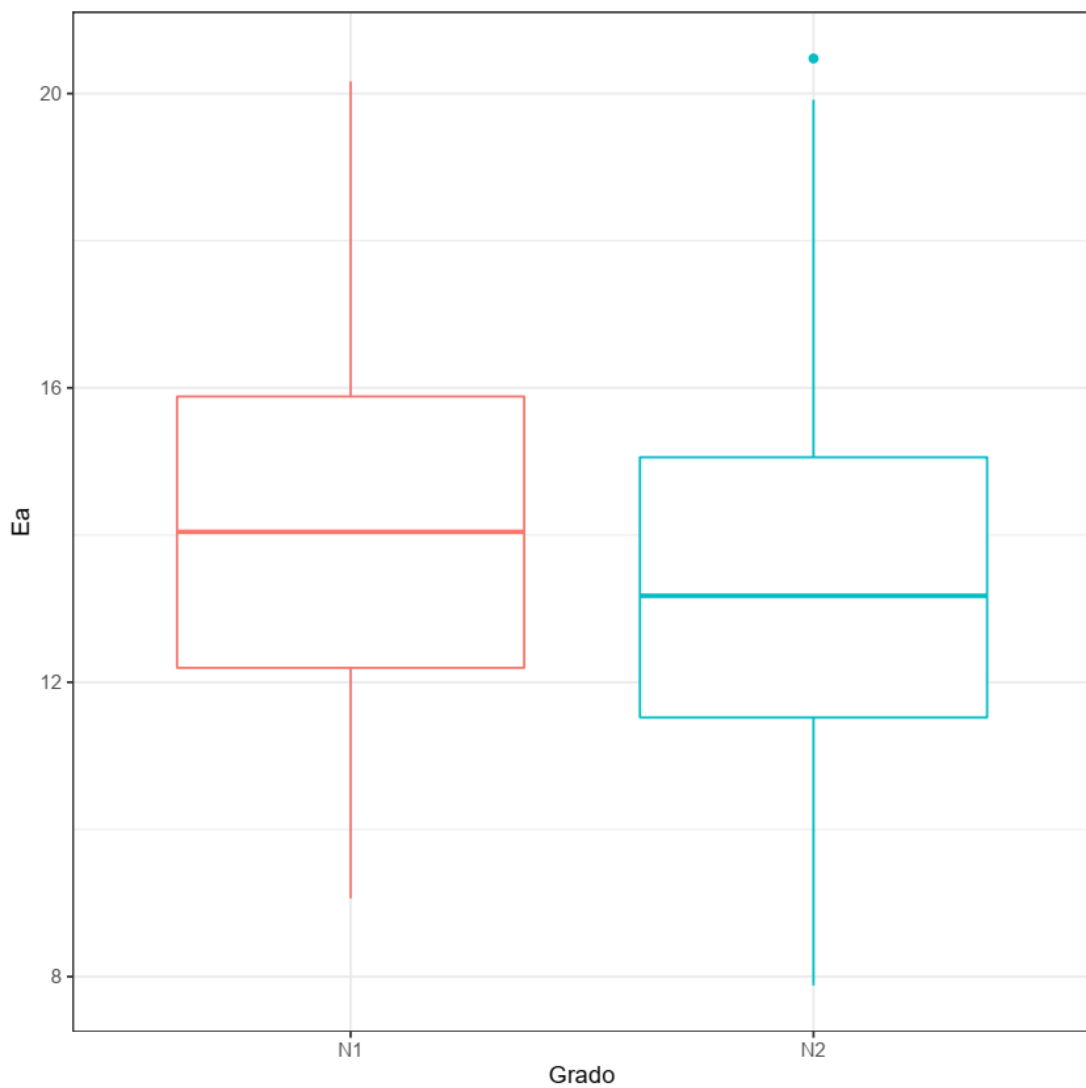


Figura A2
BOXPLOT MÓDULO DE ELASTICIDAD A LA FLEXIÓN APARENTE (MPa)

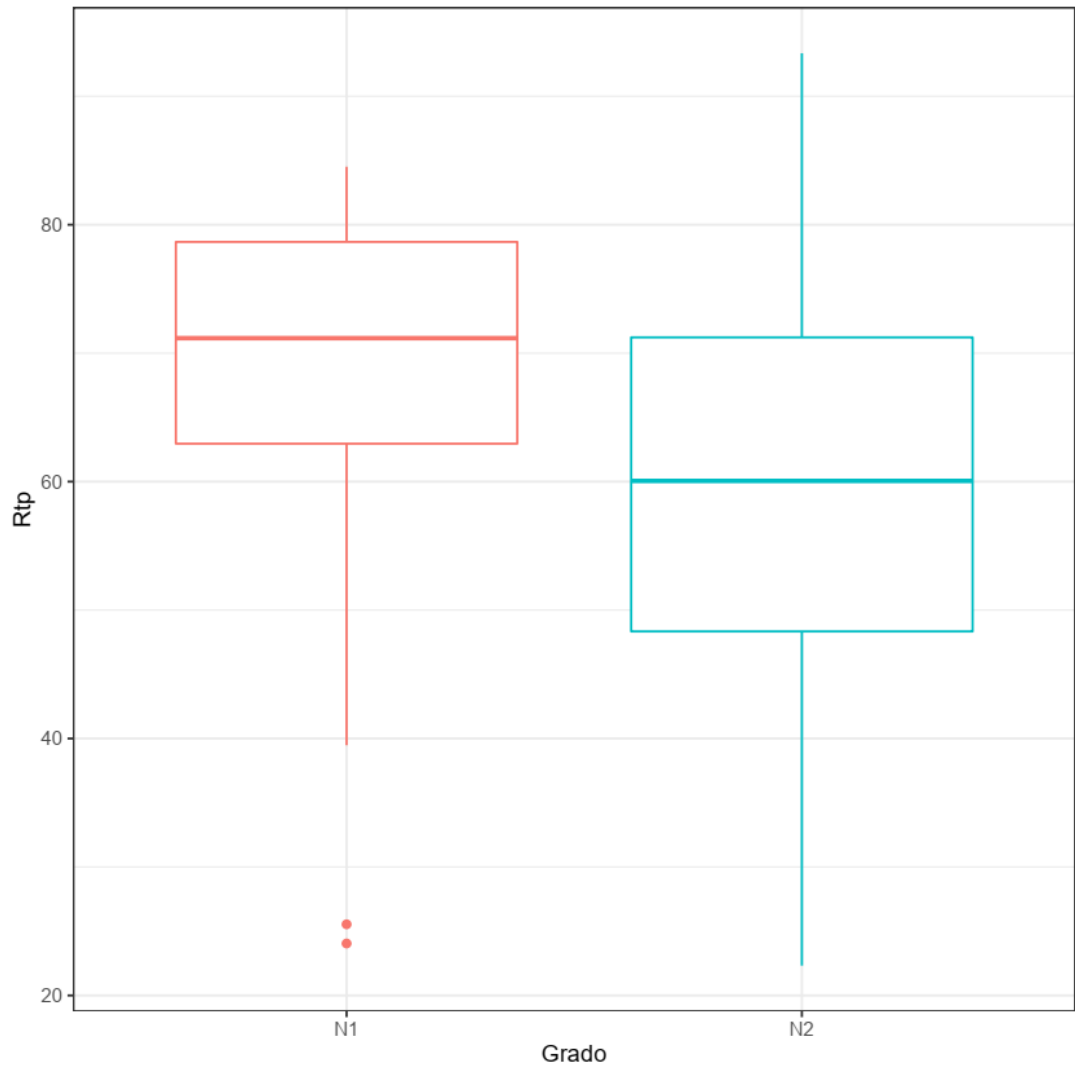


Figura A3
BOXPLOT MÓDULO DE RUPTURA A LA TRACIÓN PARALELA (MPa)

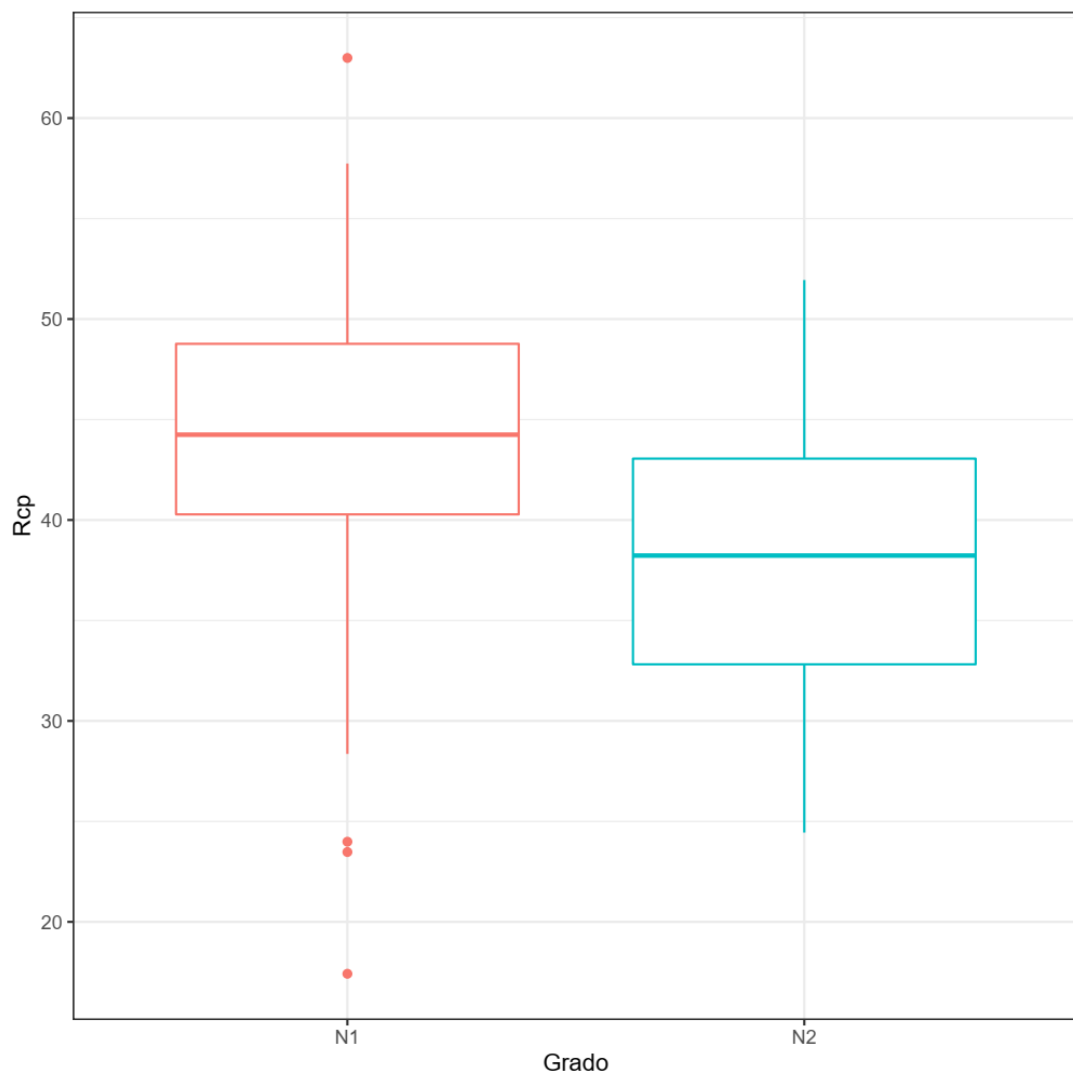


Figura A4
BOXPLOT MÓDULO DE RUPTURA A LA COMPRESIÓN PARALELA

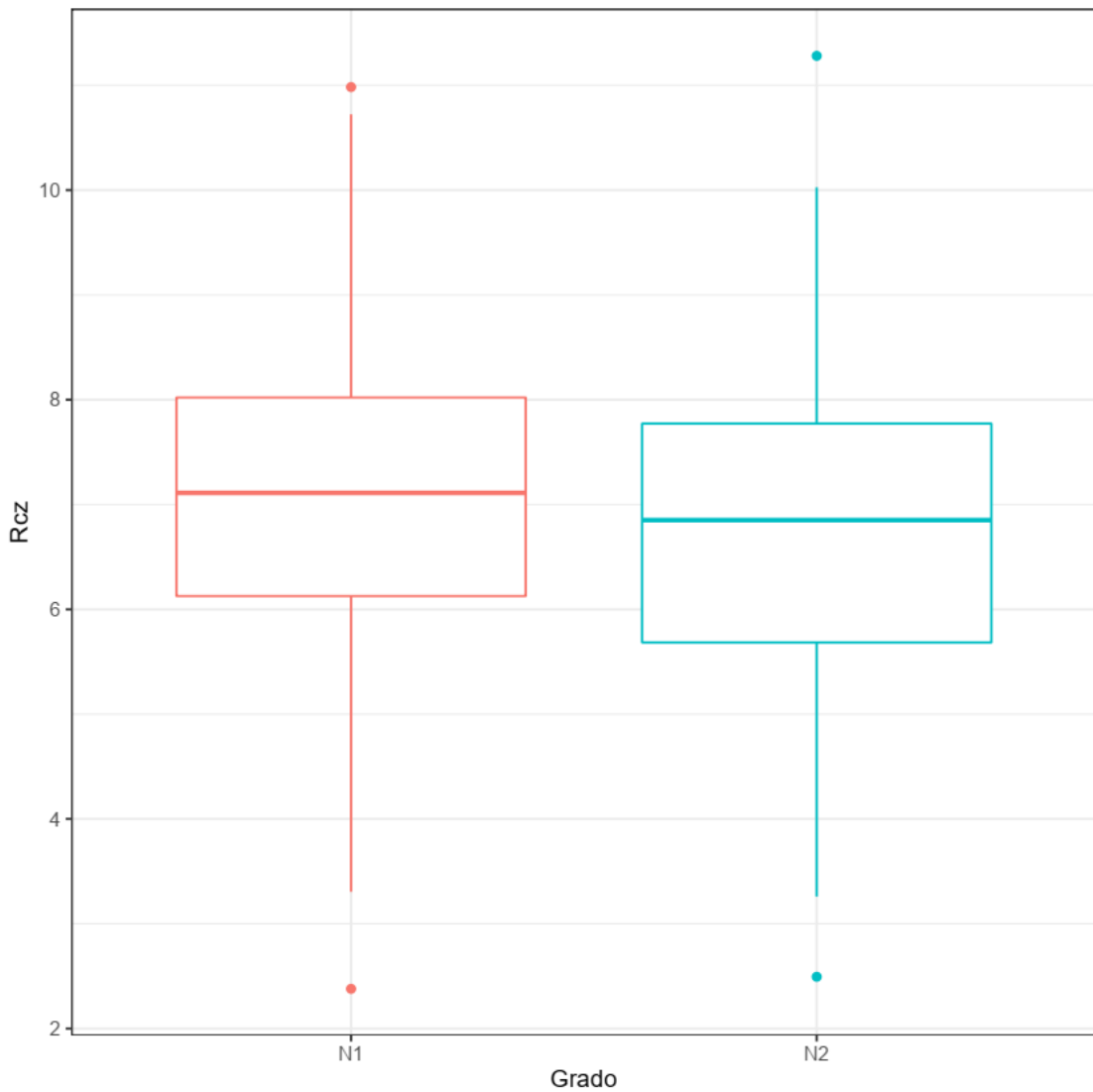


Figura A5
BOXPLOT MÓDULO DE RUPTURA AL CIZALLE PARALELO

Histogramas de Frecuencia

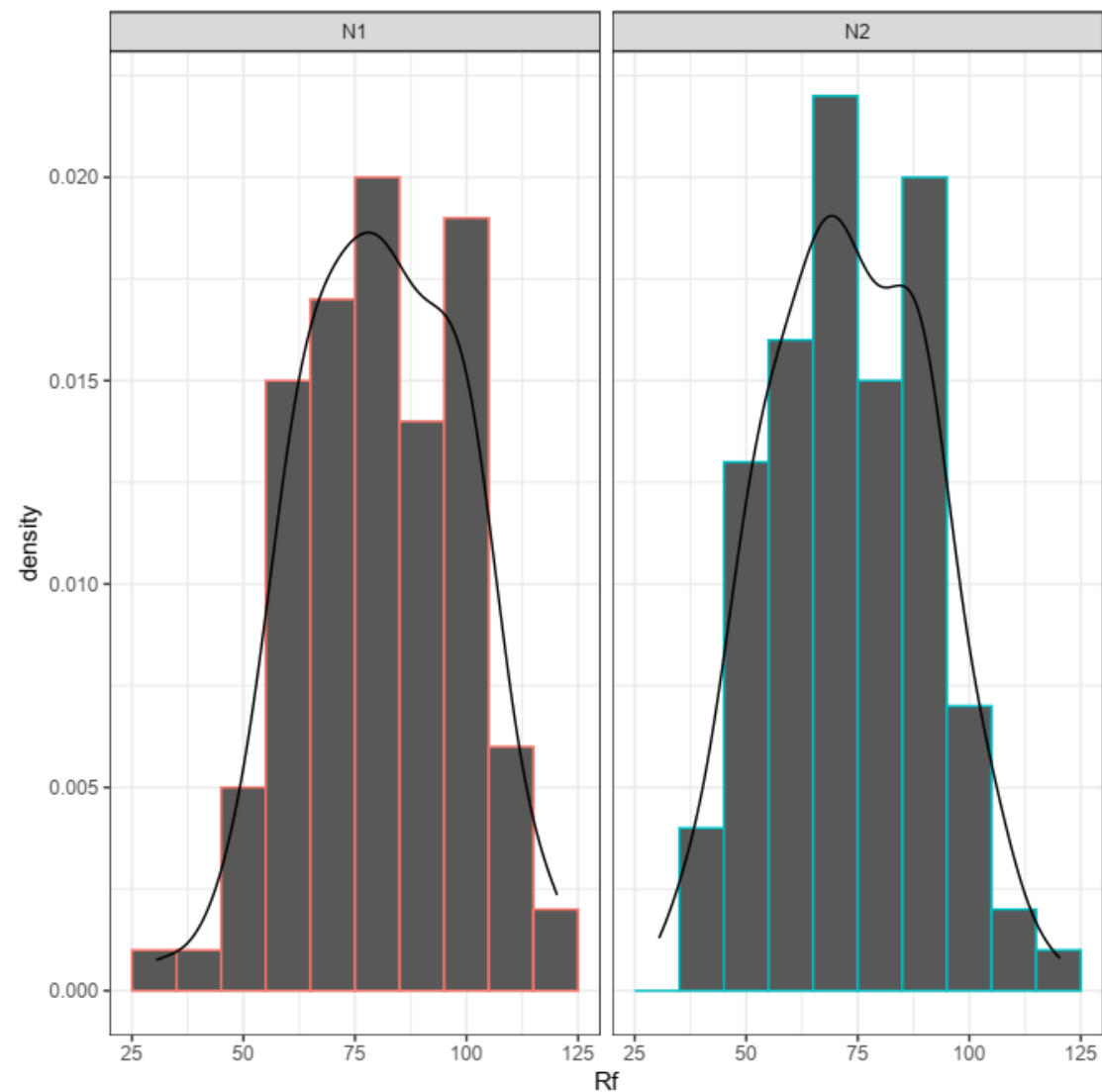


Figura A6
HISTOGRAMAS MÓDULO RUPTURA FLEXIÓN (MPa)

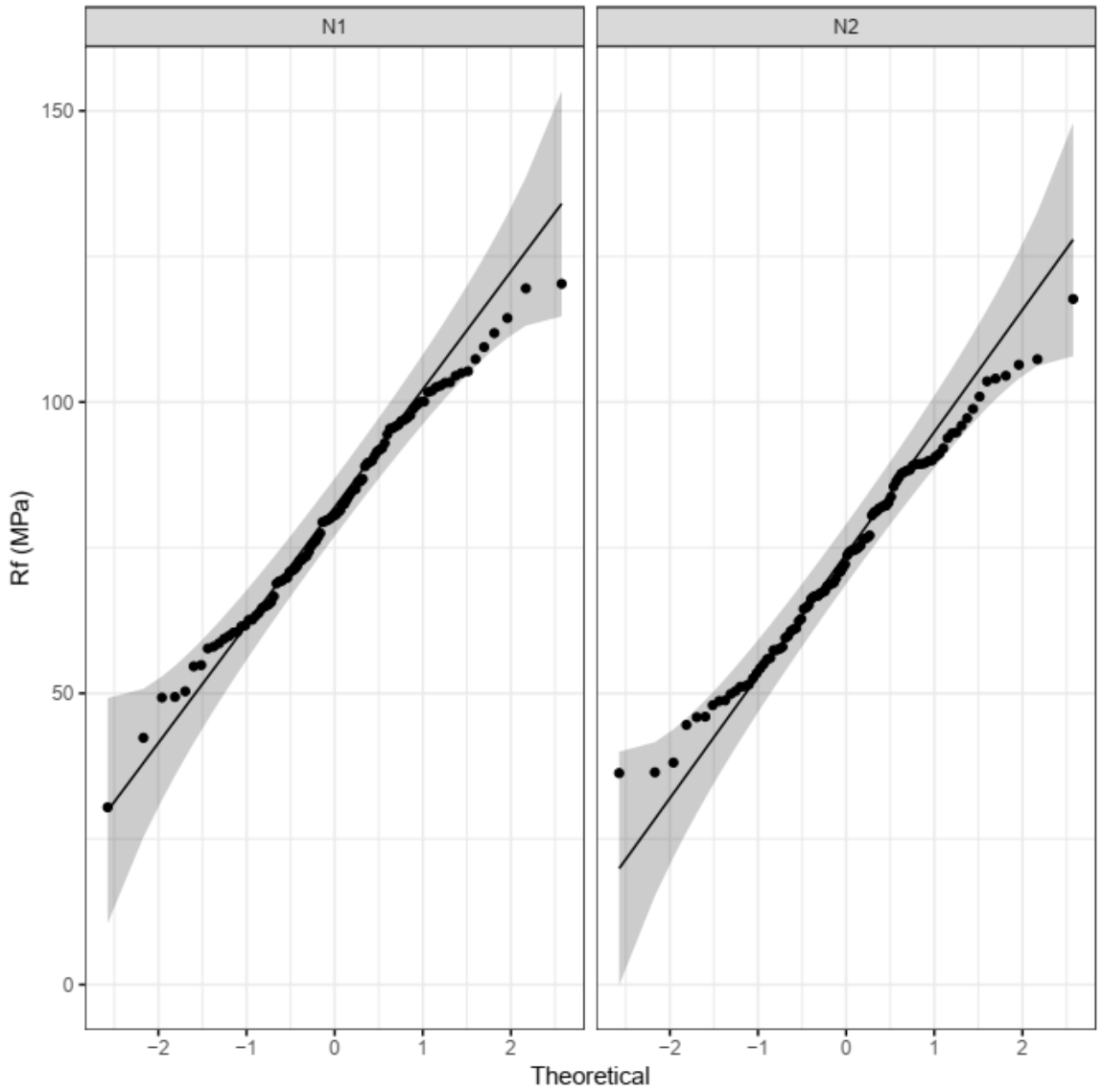


Figura A7
Q-Q PLOT MÓDULO RUPTURA FLEXIÓN

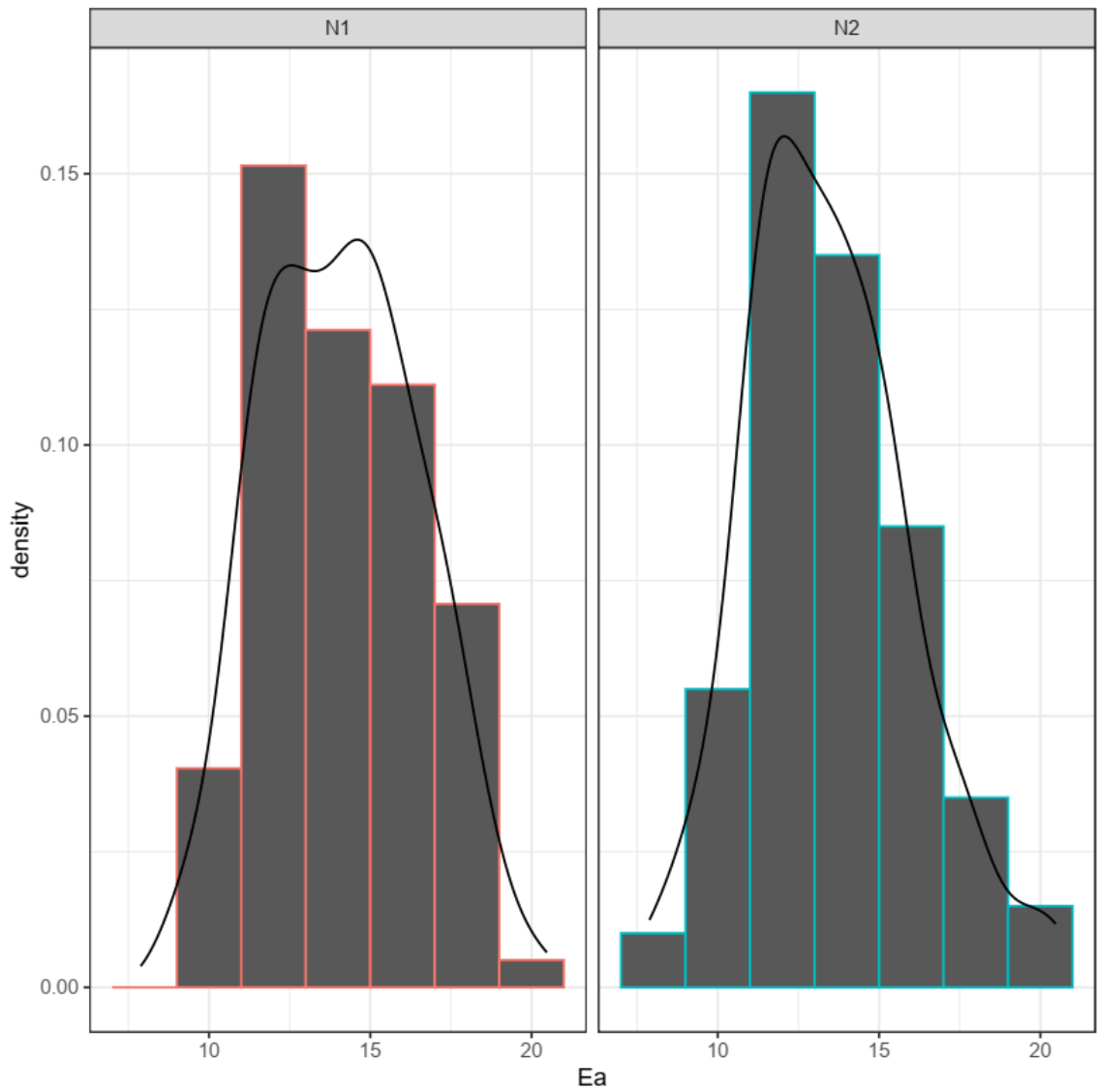


Figura A8
HISTOGRAMAS MÓDULO ELASTICIDAD FLEXIÓN (MPa)

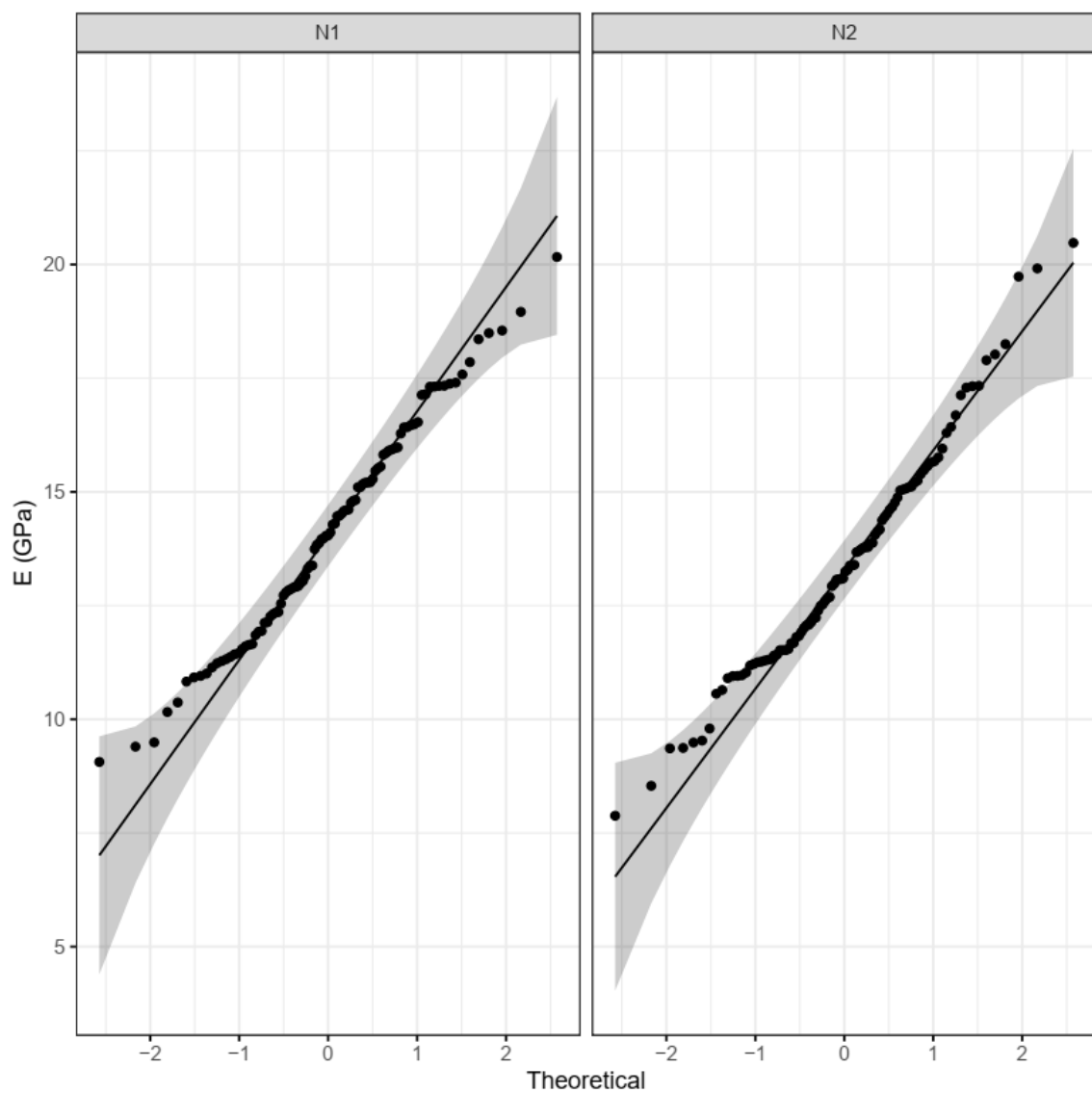


Figura A9
Q-Q PLOT MÓDULO ELASTICIDAD FLEXIÓN

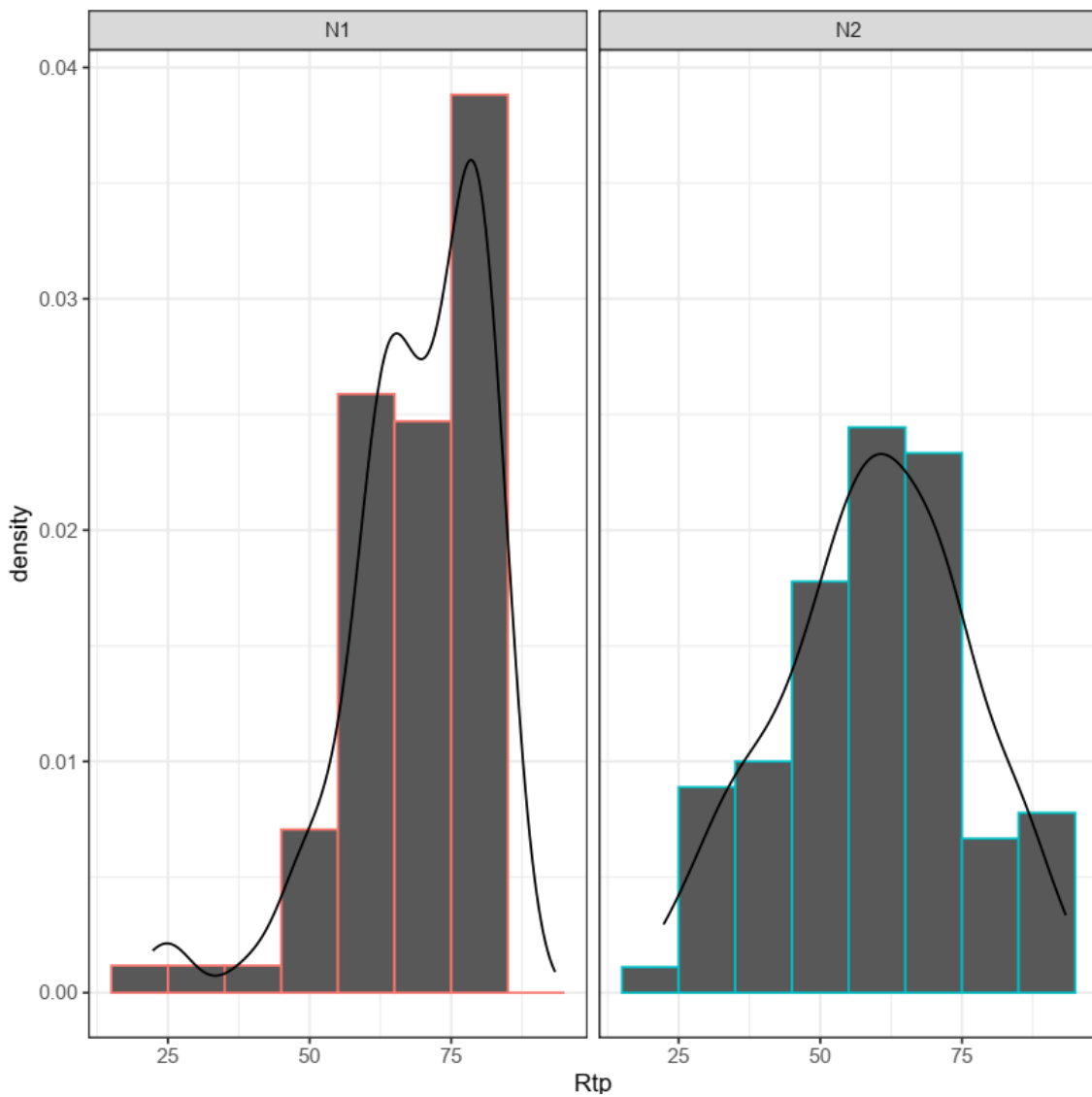


Figura A10
HISTOGRAMAS MÓDULO RUPTURA TRACCIÓN (MPa)

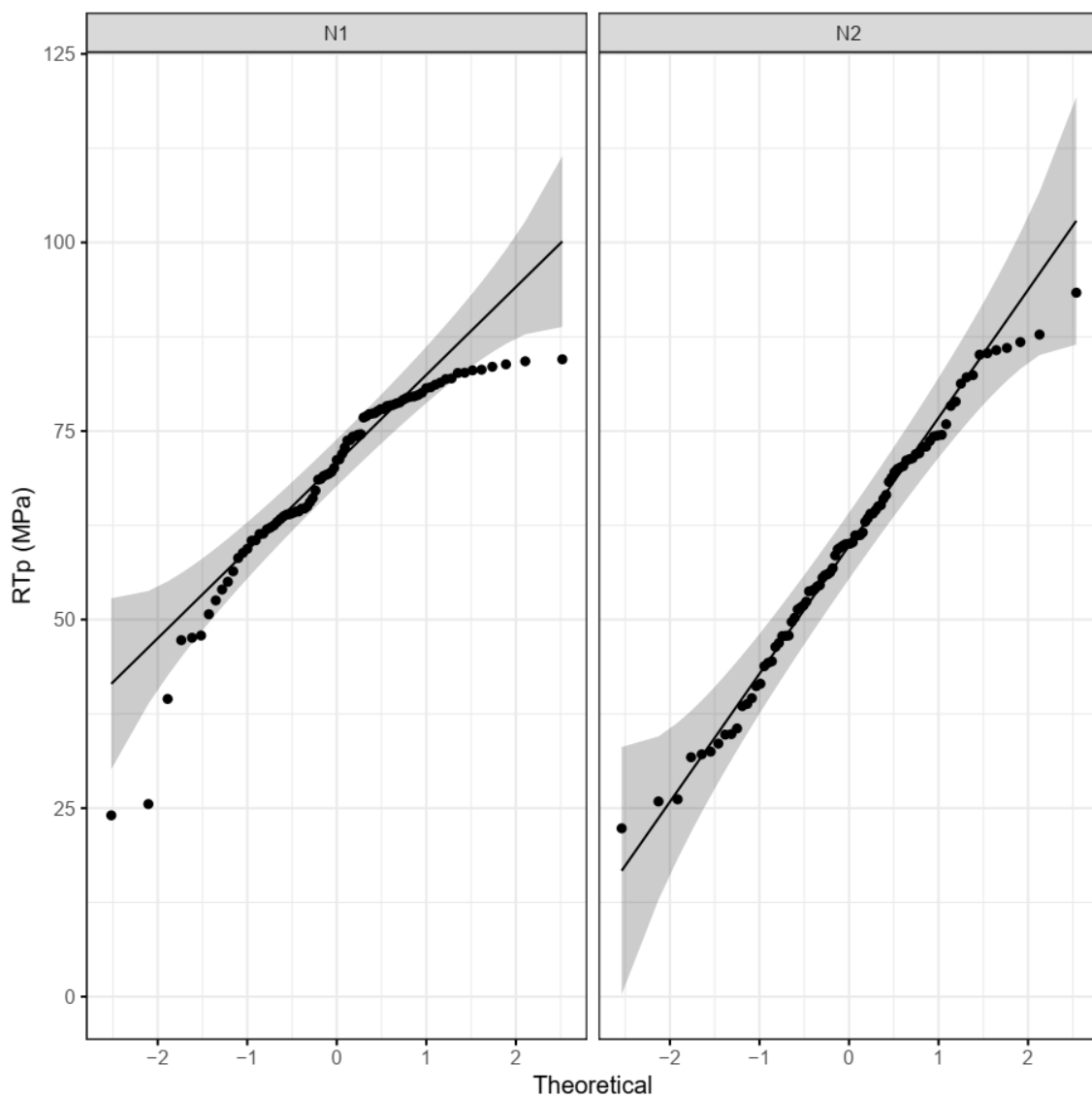


Figura A11
Q-Q PLOT MÓDULO RUPTURA TRACCIÓN PARALELA

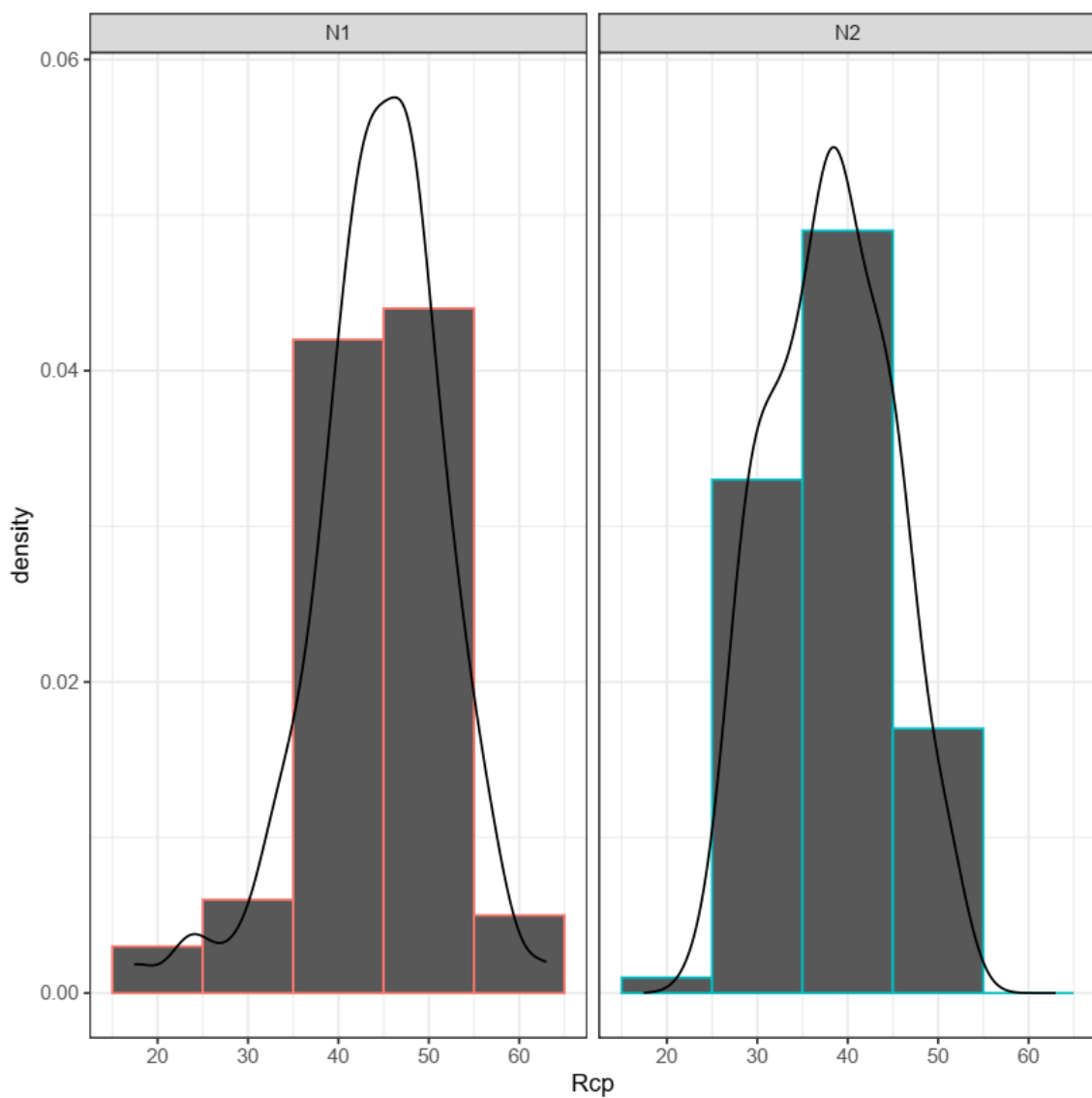


Figura A12
HISTOGRAMAS MÓDULO RUPTURA COMPRESIÓN PARALELA (MPa)

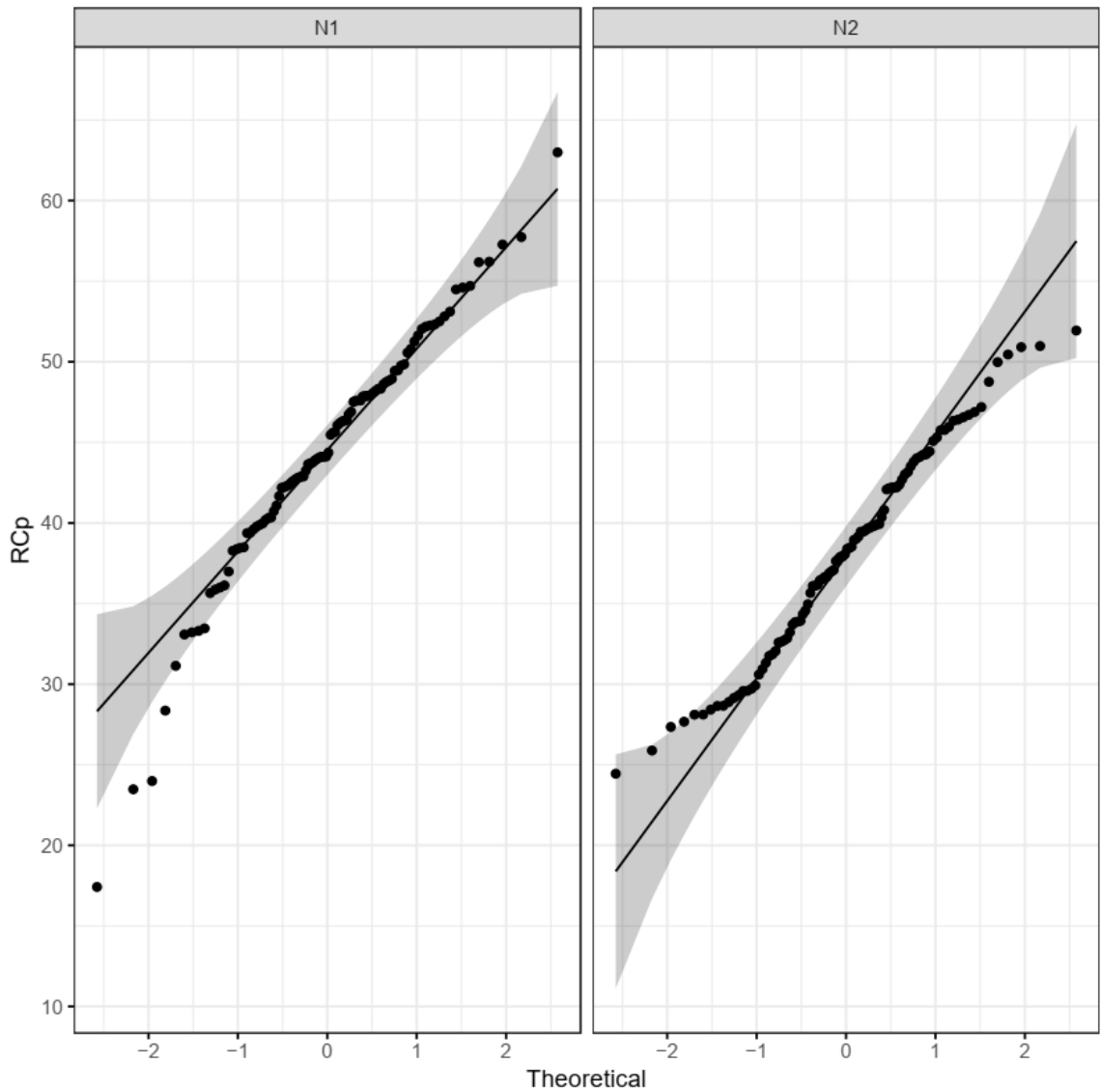


Figura A13
Q-Q PLOT MÓDULO RUPTURA COMPRESIÓN PARALELA

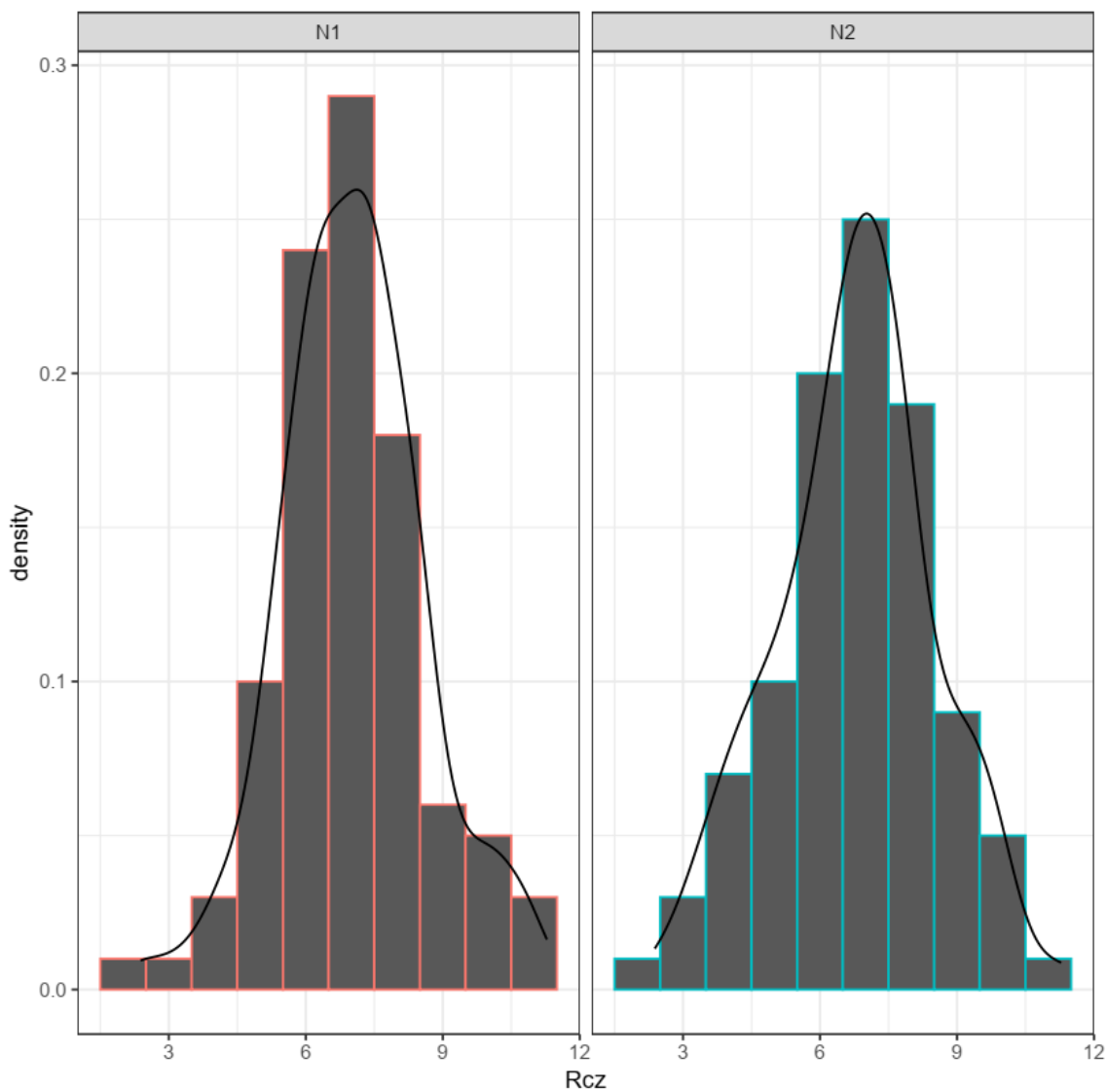


Figura A14
HISTOGRAMAS MÓDULO RUPTURA CIZALLE PARALELO (MPa)

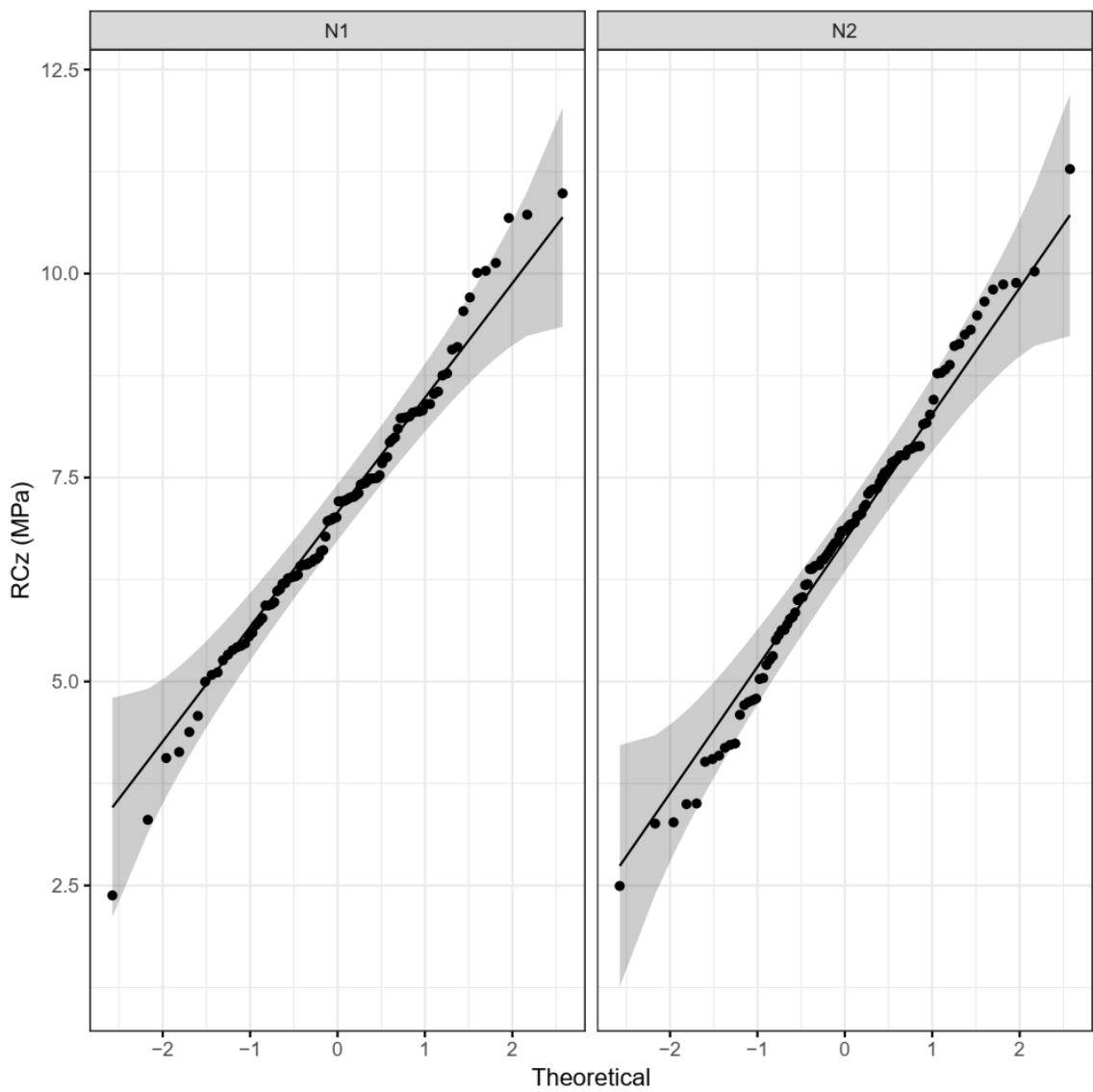


Figura A15
HISTOGRAMA MÓDULO RUPTURA CIZALLE PARALELO

Independencia de Datos

Se verifica independencia de datos si no existe tendencia en los gráficos de dispersión



Figura A16
DISPERSIÓN DE DATOS MÓDULO DE RUPTURA FLEXIÓN (MPa)



Figura A17
DISPERSIÓN DE DATOS MÓDULO DE ELASTICIDAD FLEXIÓN (MPa)



Figura A18
DISPERSIÓN DE DATOS MÓDULO DE RUPTURA TRACCIÓN PARALELA (MPa)



Figura A19
DISPERSIÓN DE DATOS MÓDULO DE RUPTURA CIZALLE PARALELO (MPa)

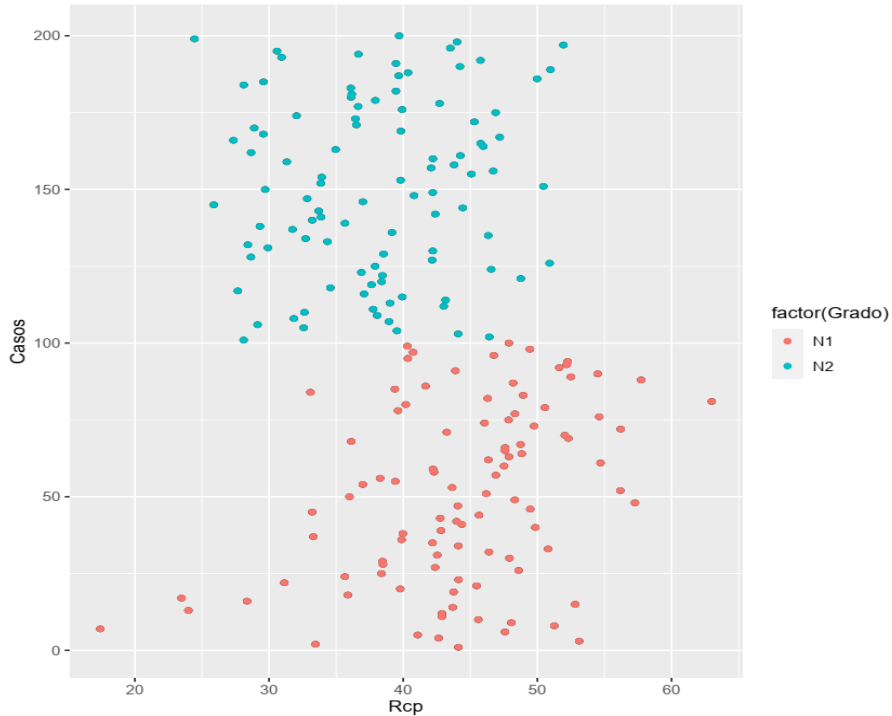


Figura A20
DISPERSIÓN DE DATOS MÓDULO DE RUPTURA COMPRESIÓN PARALELA (MPa)

Normalidad de la Muestra: Test Shapiro-Wilk

El test de Shapiro-Wilk permite determinar el ajuste de los datos a una distribución de probabilidad.

El Cuadro A1 presenta los valores P y P crítico asociados al test de Shapiro-Wilk. Si $P \geq P_{\text{critico}}$ se acepta la hipótesis nula, en caso contrario se rechaza.

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal.

Cuadro A1
RESULTADOS TEST DE SHAPIRO-WILK

Esfuerzo y Grado	Valor P Calculado	Valor P Critico	Distribución
Flexión, grado N°1	0,727	0,05	Normal
Flexión, grado N°2	0,492	0,05	Normal
MOEf, grado N°1	0,409	0,05	Normal
MOEf, grado N°2	0,0955	0,05	Normal
Tracción paralela, grado N°1	0,00000326	0,05	No Normal
Tracción paralela, grado N°2	0,481	0,05	Normal
Cizalle paralela, grado N°1	0,449	0,05	Normal
Cizalle paralelo, grado N°2	0,768	0,05	Normal
Compresión paralela, grado N°1	0,0108	0,05	Normal
Compresión paralela. grado N°2	0,176	0,05	Normal

Homocedasticidad: Prueba de Levene

El test de Levene permite determinar si las Varianzas son homogéneas. En este caso si el valor-P obtenido es mayor que el valor-P crítico se acepta la hipótesis nula, en caso contrario ella se rechaza.

Las hipótesis asociadas al test de Levene son las que se indican:

H_0 : Las varianzas son homogéneas

H_1 : Las varianzas no son homogéneas

El Cuadro A2 presenta los resultados obtenidos.

Cuadro A2
RESULTADOS TEST DE LEVENE

Origen de las Variaciones entre Grupos	Valor-P obtenido	Valor-P crítico	Prueba de Varianzas
Módulo de rotura en flexión (Rf)	0.982	0,05	Homogénea
Módulo de elasticidad en flexión (MOEf)	0.897	0,05	Homogénea
Módulo de rotura en cizalle (Rcz)	0.375	0,05	Homogénea
Módulo de rotura en tracción (Rtp)	0.0133	0,05	No Homogénea
Módulo de rotura en compresión paralela (Rcp)	0.683	0,05	Homogénea



www.infor.cl