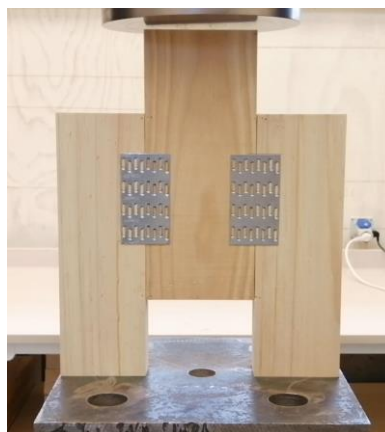


# CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE VIGAS RETICULADAS FABRICADAS CON MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE PINO RADIATA



**INSTITUTO FORESTAL**  
2021



Las fotografías e imágenes incorporadas en tapas o texto de la presente publicación provienen de archivo institucional o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación.

## **CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE VIGAS RETICULADAS FABRICADAS CON MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE PINO RADIATA**

Cristian Reyes <sup>1</sup>; Luis Vásquez; Javiera Padilla; Raúl Campos y Gonzalo Hernández

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**

---

<sup>1</sup> Investigadores Instituto Forestal, Sede Bio Bio. [cristian.reyes@infor.cl](mailto:cristian.reyes@infor.cl)



---

## **INSTITUTO FORESTAL**

Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago

Chile

F. 56 2 223667115

**[www.infor.cl](http://www.infor.cl)**

ISBN N° 978-956-318-194-4

Registro Propiedad Intelectual N° 2021-A-6342

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

**Reyes, Cristian; Vásquez, Luis; Padilla, Javiera; Campos, Raúl y Hernández, Gonzalo, 2021.** Caracterización Mecánica de Vigas Reticuladas Fabricadas con Madera Aserrada Estructural de Pino Radiata. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 239. 38p.

## PRÓLOGO

El Instituto Forestal (INFOR), en el marco del convenio de colaboración y transferencia suscrito el año 2020 con la Subsecretaría de Agricultura, ejecutó un proyecto que considera como principal objetivo diseñar vigas reticuladas fabricadas con madera aserrada estructural de pino radiata y placas dentadas como medio de unión, considerando la metodología de cálculo en NCh 1198 y la caracterización mecánica de la unión “madera y placa”, según TPI-1.

El uso adecuado de estructuras de madera en la construcción demanda la caracterización mecánica de los medios de unión que permiten la adecuada transferencia de cargas, aspecto que se respalda con metodologías de ensayos nacionales e internacionales.

INFOR desde sus inicios ha introducido nuevas aplicaciones y estructuras para la madera, destacando entre ellas las vigas laminadas fabricadas con madera aserrada de pino radiata. El año 1964 realizó la primera construcción científicamente controlada en el país, que continuó el mismo año con la fabricación de 12 arcos laminados del aserradero experimental de la Universidad Técnica del Estado en Concepción. El año 1965, en Talca, fueron fabricados arcos triarticulados para 5 naves de una construcción de la Sociedad Agrícola y Forestal Copihue SA.

En esta oportunidad se informan las propiedades mecánicas de la unión “madera/placa dentada”, considerando un programa de ensayos de laboratorio que consideró la determinación de resistencias al corte, lateral y tracción, además del cálculo y diseño de una tipología de viga reticulada, en función de distintas alturas, carga viva, carga muerta y restricción a la deformación.

Todos los ensayos mecánicos considerados en este estudio fueron ejecutados en el Laboratorio de Madera Estructural de INFOR, acreditado por INN como laboratorio de ensayos NCh-ISO 17025 e inscrito en el registro de laboratorios de control de calidad de los materiales de construcción del MINVU.

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.	OBJETIVO	1
3.	MATERIALES Y MÉTODO	1
3.1.	Materiales	1
3.2.	Diseño experimental	2
3.3.	Probetas de madera y placas dentadas	3
3.4.	Ensayos mecánicos	5
3.4.1.	Ensayo de corte	6
3.4.2.	Ensayo de tracción	7
3.4.3.	Ensayo de resistencia lateral	7
3.4.4.	Ensayo de flexión en viga completa	8
3.5.	Diseño y cálculo de vigas reticuladas	9
4.	RESULTADOS	10
4.1.	Estadística descriptiva	10
4.2.	Tensiones por tipo/tamaño placa y orientación	15
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	18
5.1.	Análisis estadístico de las medias para el ensayo de corte	18
5.2.	Análisis estadístico de las medias para el ensayo de tracción	19
5.3.	Análisis estadístico de las medias para el ensayo de resistencia lateral	20
5.4.	Capacidad mecánica de las placas P1 y P2	21
5.5.	Capacidades de diseño de las vigas fabricadas con la placa P1	21
5.6.	Análisis comparativo de la capacidad de servicio	22
6.	CONCLUSIONES	23
7.	REFERENCIAS	24
	ANEXO 1: Ensayo de corte: Análisis previo de los datos	25
	ANEXO 2: Ensayo de tracción: Análisis previo de los datos	30
	ANEXO 3: Ensayo de resistencia lateral: Análisis previo de los datos	34



## **1. INTRODUCCIÓN**

Una forma de resolver las exigencias estructurales que plantean las grandes luces en la construcción de viviendas es el uso de enrejados de madera, categoría en la que se considera a las vigas reticuladas.

La viga reticulada es un elemento estructural que se fabrica con madera aserrada de escuadría comercial y que permite transmitir de manera axial los esfuerzos internos a través de los materiales que la componen.

Una viga reticulada está conformada por un cordón superior, un cordón inferior y elementos de madera que los conectan, que se disponen de manera vertical y diagonal.

Las piezas de madera aserrada que componen el elemento reticulado se unen entre ellas para asegurar la correcta transmisión de cargas, siendo las placas dentadas uno de los elementos de fijación que mayormente se utilizan.

En los Estados Unidos, la norma TPI-1 señala los protocolos de los ensayos para obtener las propiedades mecánicas de la unión “madera/placa”, la metodología para el diseño estructural de las vigas reticuladas y además de consideraciones técnicas para su fabricación.

Chile cuenta con la materia prima necesaria para fabricar vigas reticuladas. Hay disponibilidad de madera aserrada estructural y oferta de placas de acero dentadas.

A pesar de la disponibilidad de recursos para fabricar vigas reticuladas en el país, la norma chilena que permite su diseño estructural (NCh 1198) no señala las propiedades mecánicas de la unión “madera/placa”, no describe los protocolos de ensayo para obtenerlas y como tampoco los aspectos específicos de fabricación del elemento.

## **2. OBJETIVO**

Diseñar vigas reticuladas fabricadas con madera aserrada estructural de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.) y placas dentadas como medio de unión, considerando la metodología de cálculo y diseño en NCh 1198 y la caracterización mecánica de la unión “madera y placa”, según TPI-1 2014.

## **3. MATERIALES Y MÉTODO**

### **3.1. Materiales**

Se utilizó madera aserrada de pino radiata, grado estructural C16, considerando una densidad normal de  $445 \text{ kg/m}^3$  (INFOR, 2017).

Las placas dentadas fueron adquiridas a 2 fabricantes que las comercializan en el país, que se identifican como placa 1 (P1) y placa 2 (P2). Las propiedades del acero de fabricación de las placas, incluyendo las que pertenecen a los ensayos adicionales (placa 1B), se registran en el Cuadro N°1.

**Cuadro N° 1  
PROPIEDADES DEL ACERO**

Propiedad <sup>1</sup>	Placa 1	Placa 1B	Placa 2
Denominación	SS <sup>2</sup>	HSLAS <sup>3</sup>	SS
Grado	40	60	33
Tensión de fluencia [MPa]	275	410	230
Tensión de ruptura [MPa]	380	480	310
Elongación en ruptura [%]	16	16	20

<sup>1</sup> Propiedades de acuerdo a norma ASTM A653

<sup>2</sup> Acero estructural (*Structural steel*)

<sup>3</sup> Acero de baja aleación y alta resistencia (*High strength low alloy steel*)

Las placas evaluadas consideran una densidad de dientes de 1,25 dientes/cm<sup>2</sup> y presentan una distribución simétrica simple, como se observa en la Figura N°1.



**Figura N° 1  
PLACAS DENTADAS ESTRUCTURALES, P1 y P2**

### 3.2. Diseño Experimental

El diseño experimental de la unión “madera/placa” consideró los ensayos de resistencia a los esfuerzos de corte, tracción y resistencia lateral que se indican en los Cuadros N° 2, N° 3 y N°4, fabricadas con los 2 tipos de placas identificadas. Además, se ejecutaron ensayos mecánicos a 20 vigas reticuladas del tipo Howe, de altura 400 mm, luz de ensayo 5.500 mm, fabricadas con madera cepillada de pino radiata, grado estructural mecánico C16, y placas dentadas estructurales del tipo P1. Considerando que los primeros ensayos a la flexión entregaron resultados más bajos que los esperados, una partida de las vigas (10 unidades) fue reforzada con placas 2x4” en las zonas de empalme de los cordones superior e inferior (reforzada).

**Cuadro N° 2  
CANTIDAD DE ENSAYOS AL CORTE POR PLACA Y ORIENTACIÓN**

Ensayo	Tamaño de placa	Placa 1						Placa 2						
		Orientación						Orientación						
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	
Resistencia en corte	2x4”	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	4x4”	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

**Cuadro N° 3  
CANTIDAD DE ENSAYOS EN TRACCIÓN POR PLACA Y ORIENTACIÓN**

Ensayo	Tamaño de placa	Placa 1			Placa 2		
		Orientación			Orientación		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°
Resistencia en tracción	2x4"	10	-	10	10	-	10
	4x4"	10	10	10	10	10	10
	3x6"	10	-	10	10	-	10
	3x6" B	10	-	10	-	-	-
	6x6"	10	-	10	-	-	-

**Cuadro N° 4  
CANTIDAD DE ENSAYOS DE RESISTENCIA LATERAL POR PLACA Y ORIENTACIÓN**

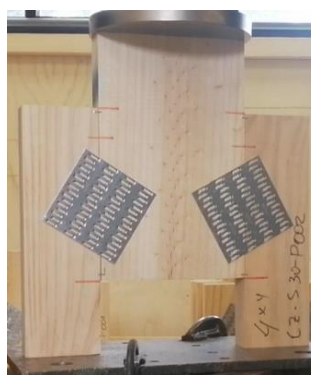
Ensayo	Tamaño de placa	Placa 1				Placa 2			
		Orientación				Orientación			
		AA (0°)	EA (90°)	AE (0°)	EE (90°)	AA (0°)	EA (90°)	AE (0°)	EE (90°)
Resistencia lateral	4x4"	5	5	-	-	5	5	-	-
	3x6"	-	-	5	5	-	-	5	5

### 3.3. Probetas de Madera y Placas Dentadas

Las características de las probetas “madera/placa” ensayadas a corte, tracción y resistencia lateral se registran en el Cuadro N° 5. Las líneas de tope de las piezas de madera que componen las probetas fueron unidas con placas dentadas hincadas, considerando distintas orientaciones. Las Figuras N° 2, N° 3 y N° 4 ilustran el tipo de probetas utilizado en cada ensayo. La Figura N° 5, en tanto, registra los tipos de vigas ensayadas a la flexión.



Placa P1, tamaño 2x4", orientación 0°



Placa P1, tamaño 4x4", orientación 30°

**Figura N° 2  
PROBETA PARA EL ENSAYO DE CORTE**



Placa P2, tamaño 4x4", orientación 0°



Placa P1, tamaño 6x6", orientación 0°

**Figura N° 3**

**PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN**



Placa P1, tamaño 4x4", orientación 0°



Placa P2, tamaño 4x4", orientación 90°



Placa P1, tamaño 3x6", orientación 0°



Placa P1, tamaño 3x6", orientación 90°.

**Figura N° 4**

**PROBETAS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL**



Viga con placa P1



Viga con placa P1, reforzada

**Figura N° 5**  
**VIGAS RETICULADAS ENSAYADAS A LA FLEXIÓN**

**Cuadro N° 5**  
**CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS ENSAYADAS**

Ensayo	Madera para Probetas	Placas Dentadas
Corte	Piezas laterales: Pino radiata, cepillado, grado estructural C16, escuadría 41x90 mm, largo 30 cm. Pieza central: Pino radiata, cepillado, grado estructural C16, escuadrías 41x114 mm y 41x185 mm, largo 30 cm.	Placas dentadas P1 y P2: 2x4", 4x4". Orientadas en ángulos de 0°, 30°, 60°, 90° 120° y 150° respecto de la línea de tope de la madera.
Tracción	2 piezas de 1 metro de largo, pino radiata, cepillado, grado estructural C16, escuadrías 41x90 mm, 41x114 mm y 41x185 mm.	Placas dentadas P1: 2x4", 4x4", 3x6", 6x6". Placas dentadas P2: 2x4", 4x4", 3x6". Placas dentadas P1B: 3x6". Orientadas en ángulos de 0°, 45° y 90° respecto de la línea de línea de tope de la madera.
Resistencia Lateral	Piezas laterales: Pino radiata, cepillado, grado estructural C16, escuadrías 41x114 mm, largo 1m (ensayos AA, EA, AE y EE). Pieza central: Pino radiata, cepillado, grado estructural C16, escuadría 41x185 mm, largo 30 cm (ensayos AE y EE).	Placas dentadas P1 y P2: 4x4", 6x6", 3x6". Orientadas en 0° y 90°.

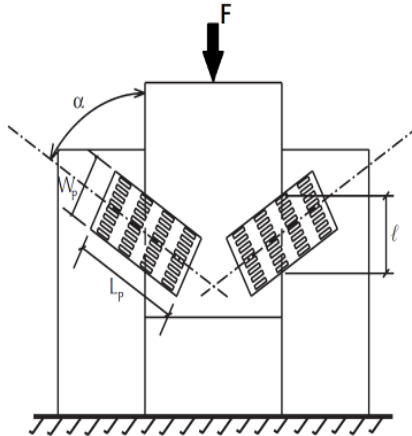
### 3.4. Ensayos Mecánicos

Las máquinas utilizadas en los ensayos mecánicos de las probetas "madera/placa" cumplen con los requerimientos de velocidad de carga señalados en TPI-1 y ASTM E4.

Se adaptó el ensayo de flexión en la NCh 3028-1, descrito para madera aserrada, para estudiar el comportamiento de la viga reticulada bajo cargas puntuales.

### 3.4.1. Ensayo de Corte

El ensayo TPI-1 (TPI, 2014) permite determinar los parámetros de resistencia máxima al esfuerzo de corte. Las Figuras N° 6 y N° 7 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.



**Figura N° 6**  
**ESQUEMA DEL ENSAYO DE CORTE**

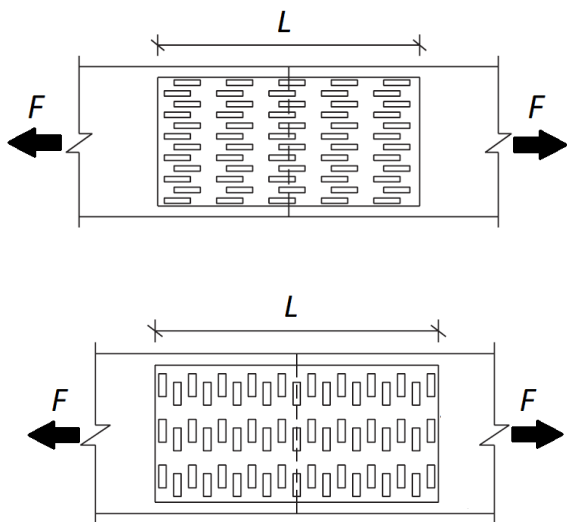


**Figura N° 7**  
**IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE CORTE**

### 3.4.2. Ensayo de Tracción

El ensayo TPI-1 (TPI, 2014) permite determinar los parámetros de resistencia máxima al esfuerzo de tracción.

Las Figuras N° 8 y N° 9 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.



**Figura N° 8**  
**ESQUEMA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN**

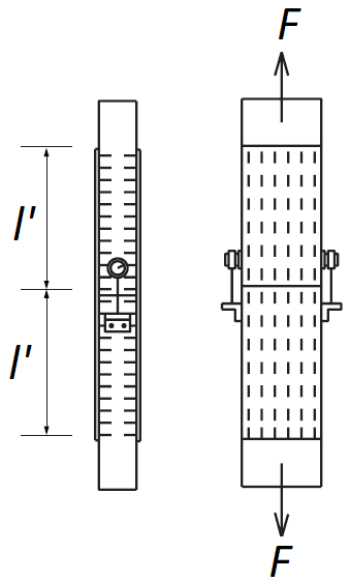


**Figura N° 9**  
**IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN**

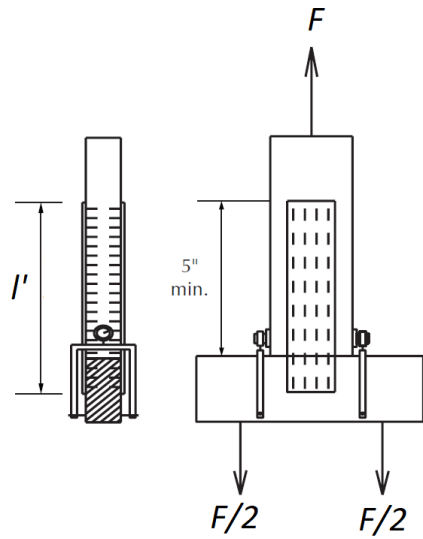
### 3.4.3. Ensayo de Resistencia Lateral

El ensayo TPI-1 (TPI, 2014) permite determinar los parámetros de resistencia máxima a la extracción lateral.

Las Figuras N° 10 y N° 11 registran los esquemas del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.



Esquema de ensayo AA y EA



Esquema de ensayo AE y EE

**Figura N° 10**  
**ESQUEMAS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL**



Ensayo AA, P2 tamaño 4x4"



Ensayo AE, P2 tamaño 3x6"

**Figura N° 11**  
**IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL**

### 3.4.4. Ensayo de Flexión en Viga Completa

El ensayo de flexión fue ejecutado según NCh3028-1 (NCh3028, 2017) y permite determinar los parámetros de resistencia máxima en flexión a través de un ensayo de 4 puntos.

Las Figuras N° 12 y N° 13 registran los esquemas del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

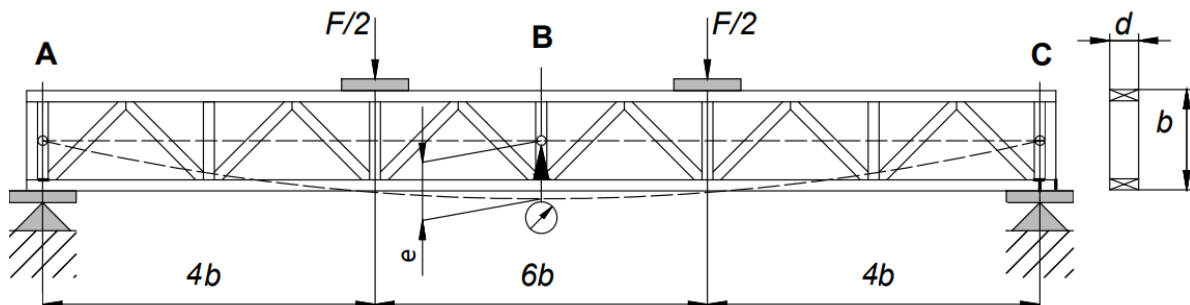


Figura N° 12  
ESQUEMA DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

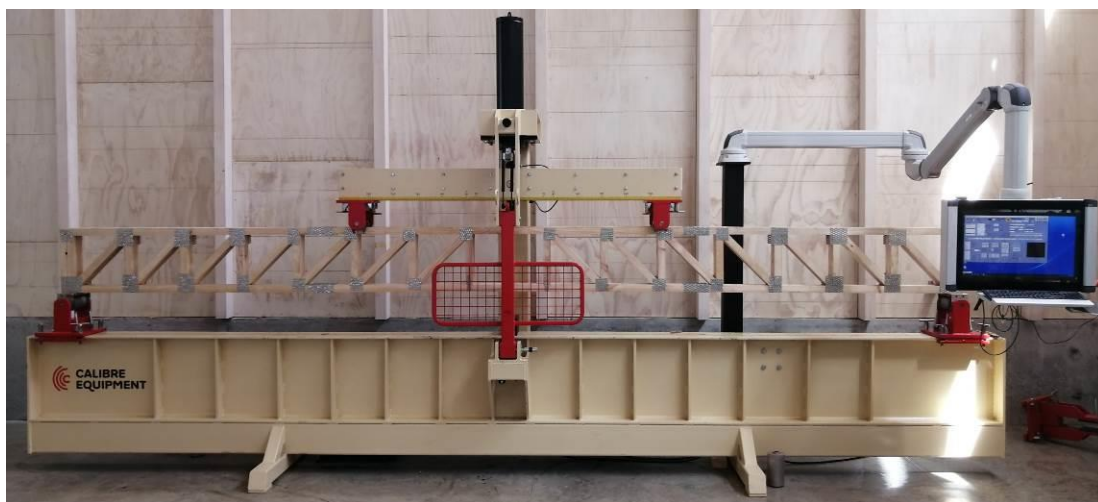


Figura N° 13  
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

### 3.5. Diseño y Cálculo de Vigas Reticuladas

La norma NCh 1198 entrega el procedimiento para el cálculo y diseño de vigas reticuladas fabricadas con madera aserrada estructural y placas dentadas.

Sin embargo, la norma no hace mención a los ensayos mecánicos que permiten caracterizar la unión "madera/placa", situación que fue cubierta con antecedentes de la norma Norteamericana TPI-1.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Estadística Descriptiva

Los Cuadros N° 6 al N° 19 registran la estadística descriptiva de las propiedades mecánicas de cada una de las configuraciones de la unión “madera/placa” evaluadas.

El Cuadro N° 20 resume la capacidad de carga en flexión para L/360 de las vigas fabricadas con las placas P1 y placas P1 reforzada.

**Cuadro N° 6  
ENSAYO AL CORTE CON P1 TAMAÑO 2X4**

Descripción	Tensión de Resistencia al Corte					
	Orientación de la Placa					
	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Promedio [kg/cm]*	87,5	87,2	133,5	111,7	82,3	73,7
Valor mínimo [kg/cm]	79,1	73,1	116,9	102,3	77,4	68,2
Valor máximo [kg/cm]	99,5	102,1	145,8	119,9	89,4	78,8
Rango [kg/cm]	20,4	28,9	28,9	17,6	12,0	10,6
Desviación estándar [kg/cm]	5,6	8,8	9,8	6,9	3,9	3,4
Coefficiente de variación (%)	6	10	7	6	5	5
Tamaño muestra	10	10	10	10	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	87,5	87,2	133,5	111,7	82,3	73,7

\*Para SI ocupar 1Kg/cm= 9,807N/cm

**Cuadro N° 7  
ENSAYO AL CORTE CON P1 TAMAÑO 4X4**

Descripción	Tensión de Resistencia al Corte					
	Orientación de la Placa					
	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Promedio [kg/cm]	121,2	116,5	138,6	133,5	106,2	137,0
Valor mínimo [kg/cm]	112,2	113,9	124,4	120,6	99,8	117,7
Valor máximo [kg/cm]	132,6	120,6	147,8	150,1	109,8	152,1
Rango [kg/cm]	20,4	6,7	23,4	29,5	10,0	34,5
Desviación estándar [kg/cm]	5,8	2,3	7,3	11,4	3,3	10,8
Coefficiente de variación (%)	5	2	5	9	3	8
Tamaño muestra	10	10	10	10	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	121,2	116,5	138,6	133,5	106,2	137,0

**Cuadro N° 8**  
**ENSAYO AL CORTE CON P2 TAMAÑO 2X4**

Descripción	Tensión de Resistencia al Corte					
	Orientación de la Placa					
	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Promedio [kg/cm]	43,2	46,3	65,3	55,9	58,0	41,3
Valor mínimo [kg/cm]	32,7	37,0	49,4	43,2	46,1	33,7
Valor máximo [kg/cm]	54,8	56,3	82,6	66,3	62,0	48,7
Rango [kg/cm]	22,1	19,3	33,2	23,1	15,9	15,0
Desviación estándar [kg/cm]	7,1	6,7	11,4	8,1	4,7	4,8
Coefficiente de variación	17	14	18	14	8	12
Tamaño muestra	10	10	10	10	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	43,2	46,3	65,3	55,9	58,0	41,3

**Cuadro N° 9**  
**ENSAYO AL CORTE CON P2 TAMAÑO 4X4**

Descripción	Tensión de Resistencia al Corte					
	Orientación de la Placa					
	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Promedio [kg/cm]	80,3	76,0	83,7	92,2	80,9	82,7
Valor mínimo [kg/cm]	54,2	59,4	77,5	83,8	63,1	65,2
Valor máximo [kg/cm]	95,8	95,4	103,7	100,4	88,0	90,5
Rango [kg/cm]	41,5	35,9	26,1	16,6	24,9	25,3
Desviación estándar [kg/cm]	13,6	11,7	7,9	6,1	7,6	6,9
Coefficiente de variación	17	15	9	7	9	8
Tamaño muestra	10	10	10	10	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	80,3	76,0	83,7	92,2	80,9	82,7

**Cuadro N° 10**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN CON P1 TAMAÑO 2X4**

Descripción	Tensión de Resistencia en Tracción	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	178,2	86,4
Valor mínimo [kg/cm]	170,5	77,5
Valor máximo [kg/cm]	183,9	95,9
Rango [kg/cm]	13,4	18,4
Desviación estándar [kg/cm]	4,6	7,0
Coefficiente de variación	3	8
Tamaño muestra	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	178,2	86,4

**Cuadro N° 11**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN CON P1 TAMAÑO 4X4**

Descripción	Tensión de Resistencia en Tracción		
	Orientación de la Placa		
	0°	90°	45°
Promedio [kg/cm]	156,8	179,1	81,7
Valor mínimo [kg/cm]	134,0	142,2	69,1
Valor máximo [kg/cm]	178,6	188,5	88,1
Rango [kg/cm]	44,6	46,3	19,0
Desviación estándar [kg/cm]	14,8	13,6	5,8
Coefficiente de variación	9	8	7
Tamaño muestra	10	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	156,8	179,1	81,7

**Cuadro N° 12**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN CON P1 TAMAÑO 3X6**

Descripción	Tensión de Resistencia en Tracción	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	191,4	146,3
Valor mínimo [kg/cm]	188,5	121,8
Valor máximo [kg/cm]	193,2	156,6
Rango [kg/cm]	4,8	34,8
Desviación estándar [kg/cm]	1,5	11,3
Coefficiente de variación	1	8
Tamaño muestra	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	191,4	146,3

**Cuadro N° 13**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN CON P1 TAMAÑO 6X6**

Descripción	Tensión de Resistencia en Tracción	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	173,7	171,6
Valor mínimo [kg/cm]	171,6	170,0
Valor máximo [kg/cm]	175,7	174,2
Rango [kg/cm]	4,0	4,2
Desviación estándar [kg/cm]	1,5	1,7
Coefficiente de variación	1	1
Tamaño muestra	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	173,7	171,6

**Cuadro N° 14**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN CON P1B TAMAÑO 3X6**

Descripción	Tensión de Resistencia en Tracción	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	241,9	160,6
Valor mínimo [kg/cm]	190,4	97,6
Valor máximo [kg/cm]	296,7	209,2
Rango [kg/cm]	106,3	111,6
Desviación estándar [kg/cm]	40,6	48,2
Coefficiente de variación	17	30
Tamaño muestra	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	241,9	160,6

**Cuadro N° 15**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN CON P2 TAMAÑO 2X4**

Descripción	Tensión de Resistencia en Tracción	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	134,7	44,8
Valor mínimo [kg/cm]	79,4	29,2
Valor máximo [kg/cm]	173,9	57,6
Rango [kg/cm]	94,5	28,5
Desviación estándar [kg/cm]	28,5	9,4
Coefficiente de variación	21	21
Tamaño muestra	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	134,7	44,8

**Cuadro N° 16**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN CON P2 TAMAÑO 4X4**

Descripción	Tensión de Resistencia en Tracción		
	Orientación de la Placa		
	0°	90°	45°
Promedio [kg/cm]	113,6	87,2	79,2
Valor mínimo [kg/cm]	85,2	81,8	54,1
Valor máximo [kg/cm]	131,7	91,2	88,1
Rango [kg/cm]	46,5	9,5	34,0
Desviación estándar [kg/cm]	13,3	3,2	10,6
Coefficiente de variación	12	4	13
Tamaño muestra	10	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	113,6	87,2	79,2

**Cuadro N° 17**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN CON P2 TAMAÑO 3X6**

Descripción	Tensión de Resistencia en Tracción	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	123,3	76,1
Valor mínimo [kg/cm]	72,1	63,5
Valor máximo [kg/cm]	164,2	89,5
Rango [kg/cm]	92,0	25,9
Desviación estándar [kg/cm]	30,5	8,0
Coeficiente de variación	25	11
Tamaño muestra	10	10
Tensión admisible [kg/cm]	123,3	76,1

**Cuadro N° 18**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL CON P1 TAMAÑO 4X4 Y 3X6**

Descripción	Tensión de Resistencia Lateral			
	Placa 4x4"		Placa 3x6"	
	AA ( 0°)	EA (90°)	AE ( 0°)	EE (90°)
Promedio [kg/cm <sup>2</sup> ]	44,0	37,4	49,2	59,1
Valor mínimo [kg/cm <sup>2</sup> ]	38,9	34,4	42,9	55,3
Valor máximo [kg/cm <sup>2</sup> ]	49,4	42,0	56,5	64,9
Rango [kg/cm <sup>2</sup> ]	10,5	7,6	13,6	9,6
Desviación estándar [kg/cm <sup>2</sup> ]	4,0	3,1	5,9	4,4
Coeficiente de variación	9	8	12	7
Tamaño muestra	5	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm <sup>2</sup> ]	13,8	11,7	15,4	18,5

**Cuadro N° 19**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL CON P2 TAMAÑO 4X4 Y 3X6**

Descripción	Tensión de Resistencia Lateral			
	Placa 4x4"		Placa 3x6"	
	AA ( 0°)	EA (90°)	AE ( 0°)	EE (90°)
Promedio [kg/cm <sup>2</sup> ]	21,9	19,7	36,4	33,8
Valor mínimo [kg/cm <sup>2</sup> ]	19,6	18,2	21,6	17,2
Valor máximo [kg/cm <sup>2</sup> ]	24,8	20,6	64,4	62,7
Rango [kg/cm <sup>2</sup> ]	5,2	2,5	42,8	45,4
Desviación estándar [kg/cm <sup>2</sup> ]	2,0	0,9	16,4	17,2
Coeficiente de variación (%)	9	5	45	51
Tamaño muestra	5	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm <sup>2</sup> ]	6,8	6,1	11,4	10,5

**Cuadro N° 20**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS FABRICADAS**

Descripción	Capacidad Carga Flexión L/360	
	Placa P1	Placa P1, reforzada
Promedio [kg]	815,5	924,8
Valor mínimo [kg]	747,4	834,0
Valor máximo [kg]	859,0	1031,0
Rango [kg]	111,6	197,0
Desviación estándar [kg]	38,6	70,8
Coefficiente de variación [%]	5	8
Tamaño muestra	10	10

#### 4.2. Tensiones por Tipo/Tamaño de Placa y Orientación

Los Cuadros N° 21, N° 22 y N° 23 resumen las tensiones de todos los ensayos mecánicos ejecutados a las uniones “madera/placa” evaluadas. El valor admisible a utilizar en el diseño estructural de las vigas reticuladas corresponde al resultado más conservador obtenido en los ensayos por tipo/tamaño placa y orientación, los cuales se registran en los Cuadros N° 24, N° 25 y N° 26. El Cuadro N° 27 registra las cargas asociadas a la deformación permitida por NCh 1198 y la deformación esperada por TPI-1, para un largo de viga de 5,5 m y altura de 400 mm.

**Cuadro N° 21**  
**RESISTENCIA AL CORTE**

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Tamaño de Placa	Resistencia al Corte [kg/cm]					
			Orientación de la Placa					
			0°	30°	60°	90°	120°	150°
Resistencia al Corte	P1	2x4	87,5	87,2	133,5	111,7	82,3	73,7
		4x4	121,2	116,5	138,6	133,5	106,2	137,0
	P2	2x4	43,2	46,3	65,3	55,9	58,0	41,3
		4x4	80,3	76,0	83,7	92,2	80,9	82,7

**Cuadro N° 22**  
**RESISTENCIA A LA TRACCIÓN**

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Tamaño de Placa	Resistencia a la Tracción [kg/cm]		
			Orientación de la Placa		
			0°	90°	45°
Resistencia a la Tracción	P1	2x4	178,2	86,4	-
		3x6	191,4	146,3	-
		4x4	156,8	179,1	81,7
		6x6	173,7	171,6	-
	P1 B	3x6	241,9	160,6	-
	P2	2x4	134,7	44,8	-
		3x6	123,3	76,1	-
4x4		113,6	87,2	79,2	

**Cuadro N° 23**  
**RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN LATERAL**

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Tamaño de Placa	Resistencia a la Extracción Lateral [kg/cm <sup>2</sup> ]			
			Orientación de la Placa			
			AA ( 0°)	EA (90°)	AE ( 0°)	EE (90°)
Resistencia Extracción Lateral	P1	4x4	13,8	11,7	15,4	18,5
		3x6				
	P2	4x4	6,8	6,1	11,4	10,5
		3x6				

**Cuadro N° 24**  
**RESISTENCIA ADMISIBLE AL CORTE POR TIPO DE PLACA**

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Resistencia al Corte [kg/cm]					
		Orientación de la Placa					
		0°	30°	60°	90°	120°	150°
Resistencia al Corte	P1	87,5	87,2	133,5	111,7	82,3	73,7
	P2	43,2	46,3	65,3	55,9	58,0	41,3

**Cuadro N° 25**  
**RESISTENCIA ADMISIBLE A LA TRACCION POR TIPO DE PLACA**

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Resistencia a la Tracción [kg/cm]		
		Orientación de la Placa		
		0°	90°	45°
Resistencia a la tracción	P1	156,8	179,1	81,7
	P2	113,6	87,2	79,2

**Cuadro N° 26**  
**RESISTENCIA ADMISIBLE A LA EXTRACCION LATERAL POR TIPO DE PLACA**

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Resistencia a la Extracción Lateral [kg/cm <sup>2</sup> ]			
		Orientación de la Placa			
		AA ( 0°)	EA (90°)	AE ( 0°)	EE (90°)
Resistencia a Extracción Lateral	P1	13,8	11,7	15,4	18,5
	P2	6,8	6,1	11,4	10,5

**Cuadro N° 27**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS RETICULADAS FABRICADAS CON PLACA P1**

Propiedad Mecánica	Tipo de Viga	Cargas asociadas a deformación [Kg]		
		Carga Última	NCh 1198*	TPI-1**
Flexión	Con P1	1.243,5	815,5	624,4
	Con P1 Reforzada	1.675,9	924,8	698,2

\* Deformación máxima para L/360 = 15,3 mm.

\*\* Deformación máxima esperada = 11,6 mm.

En las probetas ensayas al corte y tracción la falla se presentó en la línea de corte o línea de tope de las piezas de madera que componen la probeta. La falla se propagó a lo largo de la línea de tope y se manifestó con la deformación del acero o su rotura.

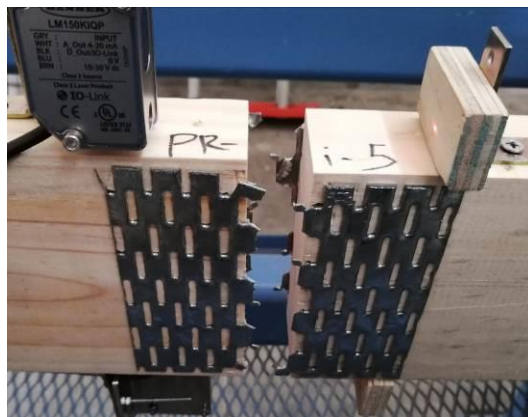
En el ensayo a la extracción lateral la falla se manifestó con el deslizamiento de los dientes fuera del área de trabajo de la placa.

En los primeros ensayos a la flexión de las vigas reticuladas de tamaño real la falla se presentó en el cordón inferior, causada por el esfuerzo de tracción en la zona del empalme. En los ensayos ejecutados a las vigas reforzadas, la falla se generó por corte en los nodos próximos al empalme del cordón inferior.

Las Figuras N° 14 a N° 17 muestran las fallas típicas de los ensayos ejecutados.



**Figura N° 14**  
**FALLA TÍPICA EN EL ENSAYO DE CORTE**



**Figura N° 15**  
**FALLA TÍPICA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN**



**Figura N° 16**  
**FALLAS TÍPICAS EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN LATERAL**

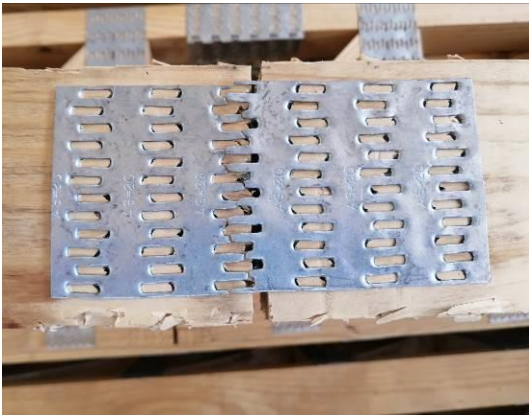


Figura N° 17

FALLAS TÍPICAS EN LOS ENSAYOS A FLEXIÓN DE LAS VIGAS, SIN REFORZAR Y REFORZADA

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Análisis Estadístico de las Medias de la Muestra para el Ensayo de Corte

El análisis ANOVA a dos vías permite determinar con sustento estadístico si las medias de una muestra separadas en categorías son significativamente diferentes. En este caso se evalúa si las tensiones obtenidas en los ensayos mecánicos de la unión “madera/placa”, fabricadas con P1 y P2 de tamaño 2x4, y entre los ángulos propios del ensayo de corte, evidencia diferencias significativas.

El Cuadro N° 28 presenta los valores P del análisis de varianza ejecutado que permiten aceptar o rechazar la hipótesis nula  $H_0$ .

Las hipótesis formuladas por el ANOVA son las que se indican:

Por tipo de placa:

$H_0$ : Las medias de la muestra P1 y P2 son iguales

$H_1$ : Las medias de la muestra P1 y P2 son diferentes

Por ángulo de orientación del ensayo:

$H_0$ : Las medias de la muestra  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  y  $150^\circ$  son iguales

$H_1$ : A lo menos una de las medias de las muestras de  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  y  $150^\circ$  es distinta

Por ángulo de orientación del ensayo y tipo de placa:

$H_0$ : Las medias de la muestra de la placa P1 y P2 en las orientaciones  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  y  $150^\circ$  son iguales

$H_1$ : A lo menos una de las medias de las muestras de la placa P1 y P2 en las orientaciones de 0°, 30°, 60°, 90°, 120° y 150° es distintas

Si el valor P calculado es menor al nivel de significancia ( $\alpha$ ) 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 el análisis de varianza realizado, considerando un nivel de significancia  $\alpha=0.05$  (5%), las propiedades de tensión de resistencia en corte, tensión de resistencia en tracción y tensión de resistencia lateral presentan medias con diferencias significativas tanto entre placas P1 y P2, como entre ángulos de orientación del ensayo.

Los análisis para determinar el cumplimiento de los supuestos se presentan en el anexo de este informe.

**Cuadro N° 28**  
**VALORES P OBTENIDO DE LA PRUEBA DEL ANOVA A DOS VIAS**

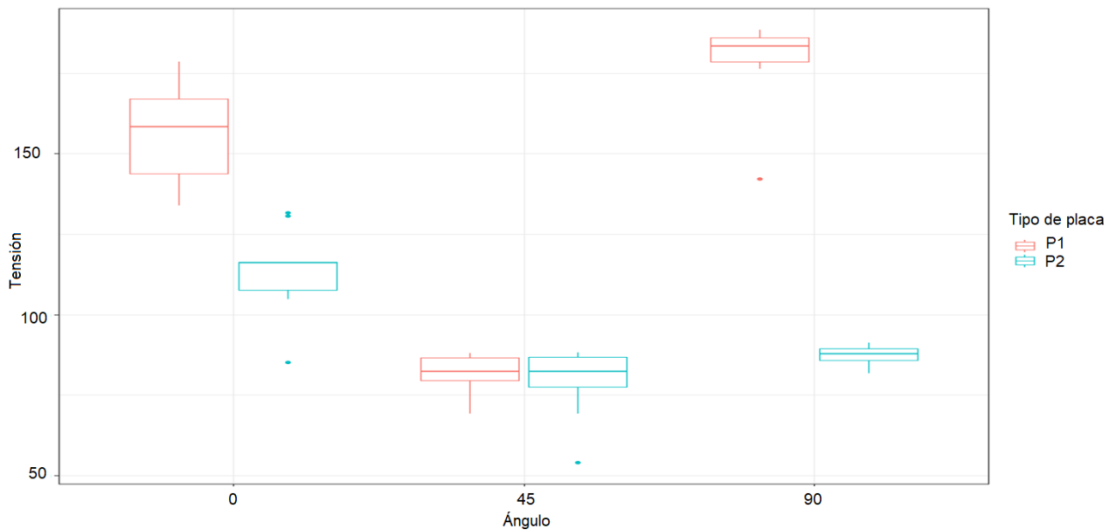
Propiedad Mecánica	Valor-P obtenido	Valor-P crítico ( $\alpha$ )	Diferencia de Medias
Por tipo de placa P1 y P2	<0,0001	0,03	Se rechaza $H_0$
Por orientación del ensayo 0°,30°,60°,90°,120°,150°	<0,0001	0,03	Se rechaza $H_0$
Por tipo de placa P1, P2 y orientación del ensayo 0°,30°,60°,90°,120°,150°	<0,0001	0,03	Se rechaza $H_0$

La verificación de los supuestos del ANOVA a dos vías (independencia, ausencia de valores atípicos univariados, homogeneidad y normalidad de los residuos), se puede encontrar de manera detallada en el Anexo 1.

## 5.2. Análisis Estadístico de las Medias de la Muestra para el Ensayo de Tracción

El gráfico de la Figura N°18 muestra la distribución de las tensiones para cada ángulo y tipo de placa en el ensayo de tracción; además de registrar la presencia de algunos valores atípicos para las placas P1 y P2, los cuales generan, para este caso en particular, que no sea susceptible de análisis mediante un análisis de ANOVA.

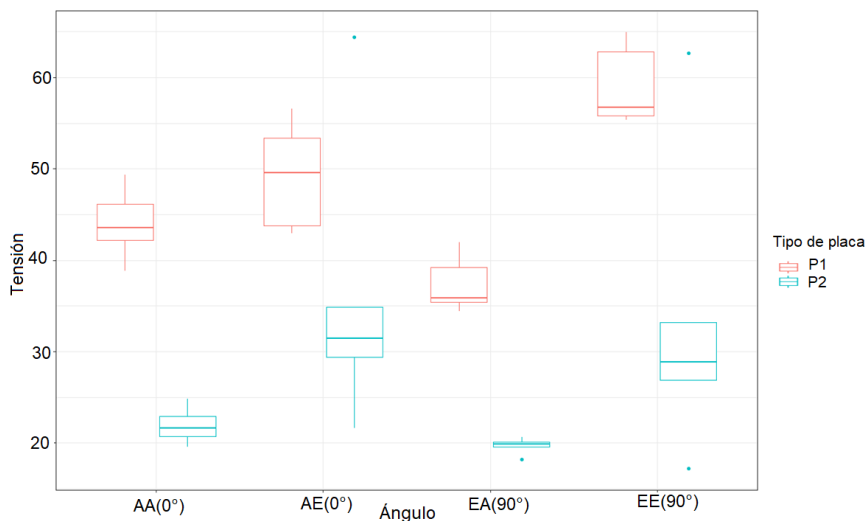
La verificación de los supuestos y el análisis de varianza se encuentran detallados en el Anexo 2.



**Figura N° 18**  
**GRAFICO BOXPLOT DEL ENSAYO DE TRACCION**

### 5.3. Análisis Estadístico de las Medias de la Muestra para Ensayo de Resistencia Lateral

El gráfico de la Figura N° 19, muestra la distribución las tensiones para cada ángulo y tipo de placa en el ensayo de resistencia lateral, en este grafico también se observa la presencia de algunos valores atípicos para la placa P2, los cuales generan que este caso no sea susceptible de análisis mediante un análisis de ANOVA. La verificación de los supuestos y el análisis de varianza se encuentra detallado en el Anexo 3.



**Figura N° 19**  
**GRAFICO BOXPLOT DEL ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL**

#### **5.4. Capacidad Mecánica de las Placas P1 y P2**

Al comparar las tensiones admisibles registradas en los Cuadros N° 21 al N° 23 para las placas P1 y P2, se observa para todos los ángulos de instalación, dimensiones y esfuerzos, que la placa P2 registra una menor capacidad que la placa P1.

Dependiendo de la angulación, la capacidad admisible de la placa P2, respecto de la P1, alcanza valores entre un 49% y un 76% para corte, entre un 49% y un 97% para tracción y entre un 50% y un 74% para extracción lateral.

La placa P1B presenta una capacidad en tracción de hasta 26% sobre la placa P1 y un 111% sobre la placa P2.

La norma TPI-1 señala que para obtener un nivel de confianza de un 75% en el valor promedio de los datos, el coeficiente de variación de los ensayos debe ser igual o menor al 13% cuando el número de repeticiones es 10, y menor al 8% cuando el número de repeticiones es 5, en base a los valores para el estadístico t, obtenidos de la norma ASTM 2915.

De acuerdo a la estadística descriptiva de los valores de capacidad por tamaño de placa, angulación y tipo de ensayo, se tiene que el coeficiente de variación de la placa P1 cumple en 25 de los 27 tipos de ensayos realizados. En el caso de la placa P2, ella cumple en 10 de 23 ensayos ejecutados, lo que implica que el 57% de los resultados obtenidos para la placa P2 no alcanzaron un nivel de confianza estadístico del 75% para el valor medido.

Respecto de los ensayos mecánicos de las vigas en tamaño real, al considerar el parámetro de deformación L/360 exigido por NCh 1198, y considerando un espaciamiento entre vigas de 610 mm, se tiene que las primeras vigas ensayadas alcanzaron una carga de 243 kg/m<sup>2</sup>, mientras que las vigas reforzadas registraron 276 kg/m<sup>2</sup>.

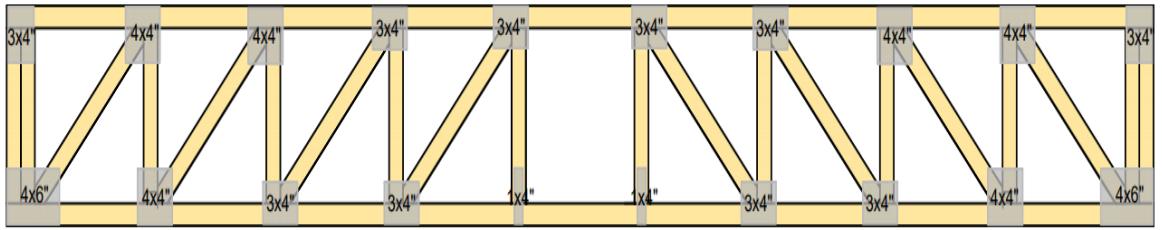
El mismo análisis ejecutado en el párrafo previo, esta vez con las indicaciones de TPI-1, que considera una capacidad de carga de 250 kg/m<sup>2</sup> para una deformación de 11,6 mm; señala que ella no fue alcanzada por los 2 tipos de vigas ensayadas.

En el caso de las vigas no reforzadas y reforzadas, dicha deformación se alcanzó con cargas de 186 kg/m<sup>2</sup> y 208 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. Esta situación se podría atribuir a que el hincado de las placas no alcanzó los parámetros de efectividad indicados en su diseño.

#### **5.5. Capacidades de Diseño de Vigas Fabricadas con la Placa P1**

Conocidas las propiedades mecánicas de la unión “placa/madera” se calculan y diseñan vigas reticuladas de acuerdo con NCh 1198, considerando cargas de diseño señaladas en la norma NCh 1537. De esta forma se determinan la escuadría de la madera aserrada estructural y el tamaño y orientación de las placas dentadas.

La Figura N° 20 ilustra la viga reticulada tipo Howe diseñada y la ubicación de las placas dentadas.



**Figura N° 20**  
**VIGA RETICULADA TIPO HOWE Y PLACAS DENTADAS ESTRUCTURALES**

El Cuadro N° 29 registra para 3 alturas de vigas reticuladas del tipo Howe, las luces máximas para una deformación L/360, siguiendo la metodología de cálculo y diseño de las normas NCh 1198 y TPI-1.

Se evaluaron 3 alturas de viga: 350, 400 y 450 mm, con 200 kg/m<sup>2</sup> de carga viva, 50 kg/m<sup>2</sup> de carga muerta (como carga de piso), y una restricción a la deformación de L/360, de acuerdo a NCh 1198.

**Cuadro N° 29**  
**LUCES MÁXIMAS PARA LA VIGA RETICULADA TIPO HOWE**

Luces Máximas para una Deformación de L/360 [m]				
Altura de la Viga [mm]	Espaciamiento [mm]			
	610	487	406	305
350	4,1	4,7	5,3	6,2
400	4,7	5,3	5,7	6,6
450	5,2	6,0	6,4	7,2

La tipología de viga reticulada del ejemplo considera su fabricación con madera aserrada estructural de pino radiata, grado visual C16, y placa dentada del tipo P1.

### 5.5. Análisis Comparativo de la Capacidad de Servicio

El Cuadro N° 30 registra las luces máximas para 2 tipos de vigas. Una del tipo reticulada, fabricada con madera estructural C16 de pino radiata, placa del tipo P1, y geometría tipo Howe; y una del tipo I, de alturas similares, fabricada con madera estructural G2 de pino radiata, cuyos detalles de diseño se registran en INFOR (2019).

**Cuadro N° 30**  
**LUCES MÁXIMAS PARA VIGAS RETICULADA E I FABRICADAS CON PINO RADIATA**

Luces máximas para una deformación de L/360 [m]					
Tipo de Viga	Altura Viga [mm]	Espaciamiento [mm]			
		610	487	406	305
Reticulada, grado C16	350	4,1	4,7	5,3	6,2
Reticulada, grado C16	400	4,7	5,3	5,7	6,6
Reticulada, grado C16	450	5,2	6,0	6,4	7,2
I, grado G2	241	3,5	3,9	4,0	4,4
I, grado G2	301	4,2	4,5	4,8	5,3

Nota: Consideró una carga de piso de 250 kg/m<sup>3</sup>, según NCh 1537; y madera aserrada estructural con 12% de contenido de humedad.

Del cuadro anterior se desprende que es posible utilizar madera estructural con grado C16, que posee características mecánicas inferiores al grado visual G2, para alcanzar luces superiores, comprometiendo el uso de una mayor altura de viga.

## 6. CONCLUSIONES

La capacidad mecánica de la placa dentada estructural está directamente relacionada con el tipo de acero y la calidad de fabricación del endentado. La gran dispersión de datos de la placa P2, reflejado en los valores del coeficiente de variación, podría atribuirse a defectos en la fabricación de sus dientes.

Del análisis de resultados se concluye que la placa P1 tiene un comportamiento adecuado para el diseño estructural de vigas reticuladas, ya que los valores de resistencia obtenidos se pueden garantizar con un nivel de confianza del 75%.

Al comparar las propiedades mecánicas de las uniones “madera/placa” evaluadas, se observa que para un mismo tamaño de placa, la placa P1 generó uniones más resistentes que la placa P2.

La capacidad en flexión de las vigas reticuladas, así como su deformación asociada, está relacionada con la calidad del hincado de la placa dentada, este condiciona su eficiencia para transmitir los esfuerzos y con ello genera la necesidad de una placa más grande para transmitir un mismo esfuerzo.

## 7. REFERENCIAS

**TPI 1 - 2014:** Truss Plate Institute. En: <https://www.tpinst.org/tpi-store/ansitpi-1-2014>

**ASTM International, 2016.** E4. Practices for force verification of testing machines. American Society for Testing and Materials. En: <https://www.astm.org/Standards>

**ASTM International, 2003.** D2915. Practices for evaluating allowable properties for grades of structural lumber. American Society for Testing and Materials. En: <https://www.astm.org/Standards>

**INFOR, 2017.** Tensiones admisibles de la madera de pino radiata proveniente de la región del Maule. Instituto Forestal. Chile. Informe Técnico N° 216.

**INFOR, 2019.** Caracterización mecánica de vigas I fabricadas con tableros OSB y madera aserrada estructural de pino radiata. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 226

**INN, 2009.** NCh 1537 Of. 2009. Diseño estructural, cargas permanentes y cargas de uso. Instituto Nacional de Normalización, Chile. En: <https://www.inn.cl/nch-aprobadas>

**INN, 2014.** NCh 1198: Madera. Construcciones en Madera. Cálculo. Instituto Nacional de Normalización, Chile. En: <https://www.inn.cl/nch-aprobadas>

**INN, 2017.** NCh 1207. Pino radiata. Clasificación visual para uso estructural. Especificaciones de los grados de calidad. Instituto Nacional de Normalización, Chile. En: <https://www.inn.cl/nch-aprobadas>

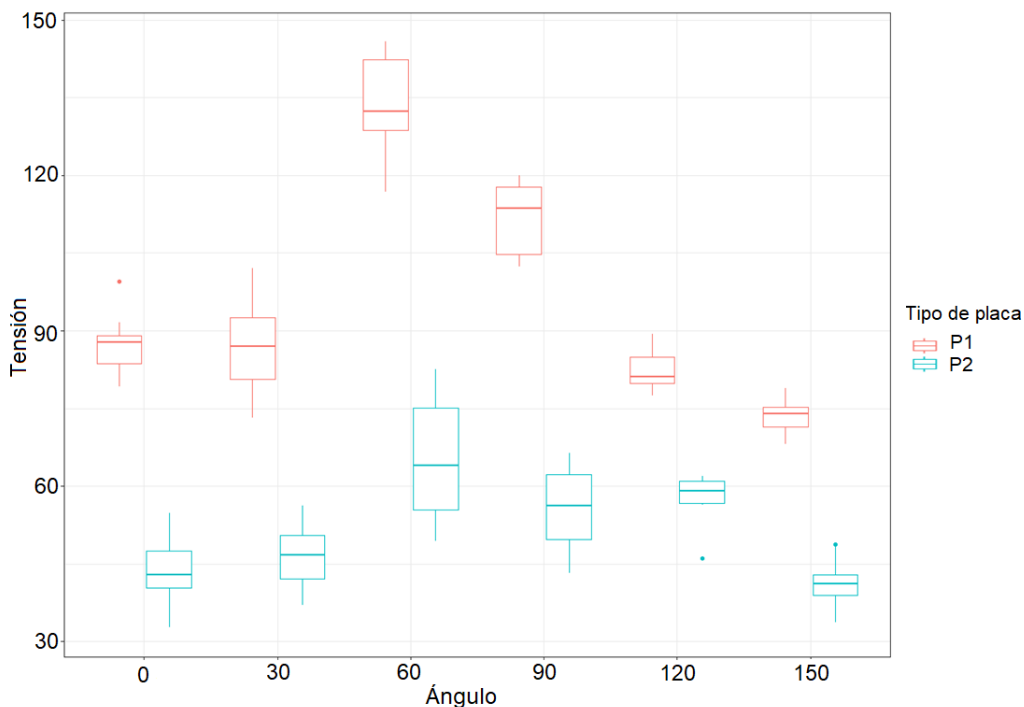
## ANEXO 1

### Ensayo de Corte: Análisis Previo de los Datos

En el Cuadro N° 31 se presenta una comparación entre los valores obtenidos para la media y desviación estándar del ensayo de corte realizado con la placa de tamaño 2x4. La Figura N° 21 presenta la información del ensayo dispuesta en un gráfico boxplot.

**Cuadro N° 31**  
**COMPARACIÓN DE MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA LA PLACA P1 Y P2**

Orientación	Número de repeticiones	Media		Desviación estándar	
		P1	P2	P1	P2
0°	10	87,47	43,22	5,60	7,15
30°	10	87,16	46,32	8,80	6,66
60°	10	133,55	65,33	9,76	11,44
90°	10	111,73	55,92	6,94	8,07
120°	10	82,34	58,00	3,88	4,71
150°	10	73,65	41,30	3,38	4,77

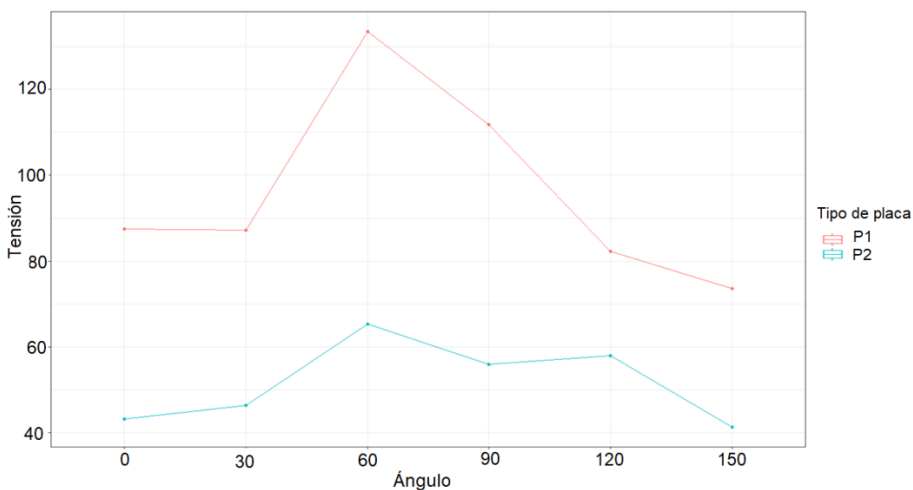


**Figura N° 21**  
**BOXPLOT TENSIÓN DE RESISTENCIA AL CORTE EN P1 TAMAÑO 2X4''**

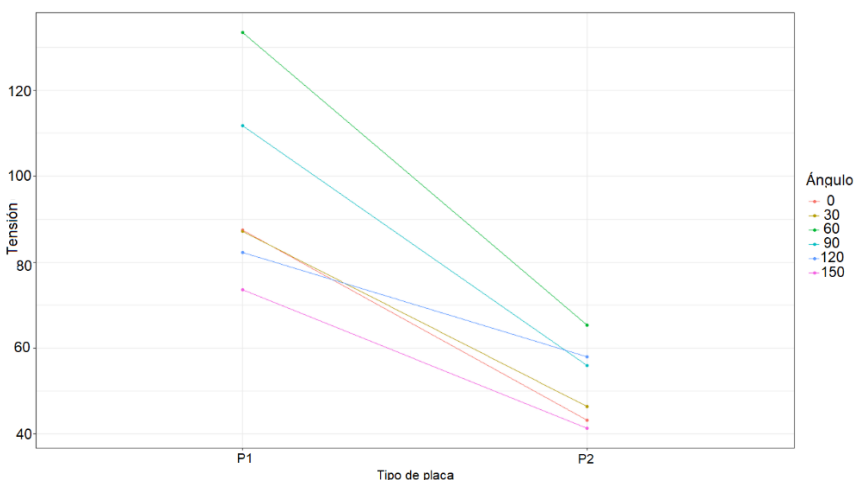
A partir de la representación gráfica y el cálculo de las medias se puede intuir que existe una diferencia en la tensión alcanzada dependiendo del tipo de placa. La tensión parece no incrementar a medida que aumenta el ángulo de orientación, si bien no está clara que la diferencia en las medias sea significativa. La distribución de las observaciones de cada nivel parece simétrica con presencia de valores atípicos. A priori parece que se satisfacen las condiciones necesarias para un ANOVA. Se observa además algunos datos atípicos los cuales deben ser analizados para determinar si son valores extremos.

### Gráficos para Determinar la Interacción

En la Figura N° 22 se observa la gráfica del perfil de la tensión media versus el ángulo de orientación de las placas P1 y P2. En la Figura N° 23 se compara la tensión media por tipo de placa para cada ángulo de orientación.



**Figura N° 22**  
**PERFIL DE TENSIÓN MEDIA VS ÁNGULO DE ORIENTACIÓN PARA P1 Y P2**

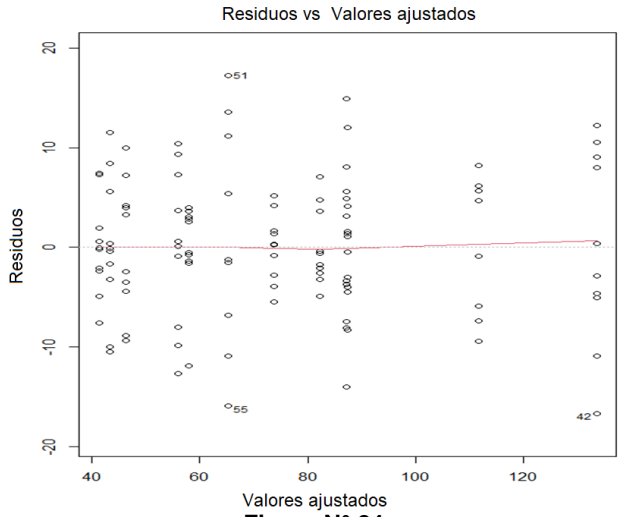


**Figura N° 23**  
**PERFIL TENSIÓN MEDIA VS TIPO PLACA P1 Y P2 PARA CADA ÁNGULO ORIENTACIÓN**

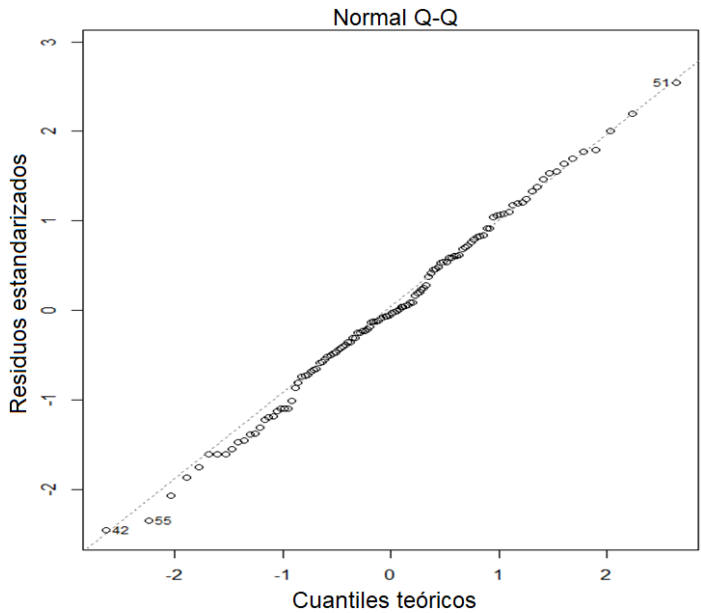
El análisis de varianza confirma que existe una influencia significativa sobre la tensión por parte de ambos factores (tipo de placa y ángulo) con dos tamaños de efecto, grande y mediano respectivamente, pero que no existe interacción significativa entre ellos.

### Verificación de los Supuestos Preliminares

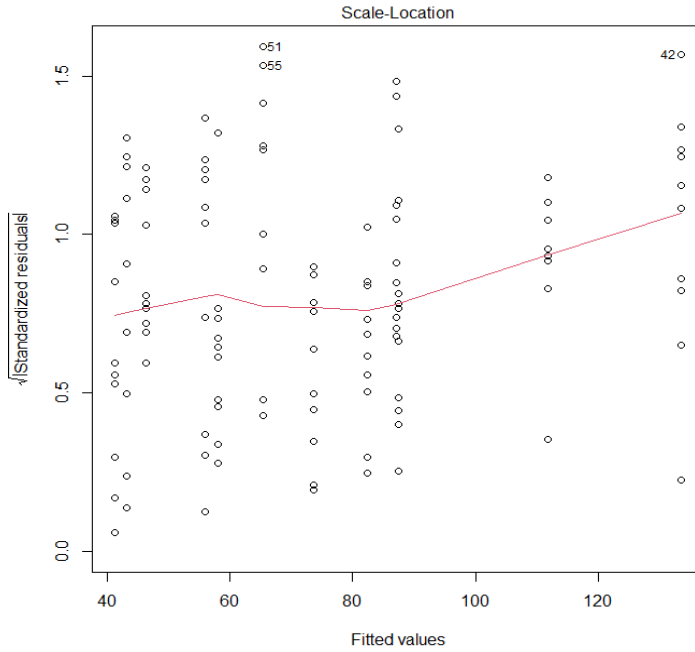
La información de las Figuras N° 24 a N° 27 permite determinar la homogeneidad de los residuos de los datos, su ajuste a la distribución normal y la existencia de valores atípicos.



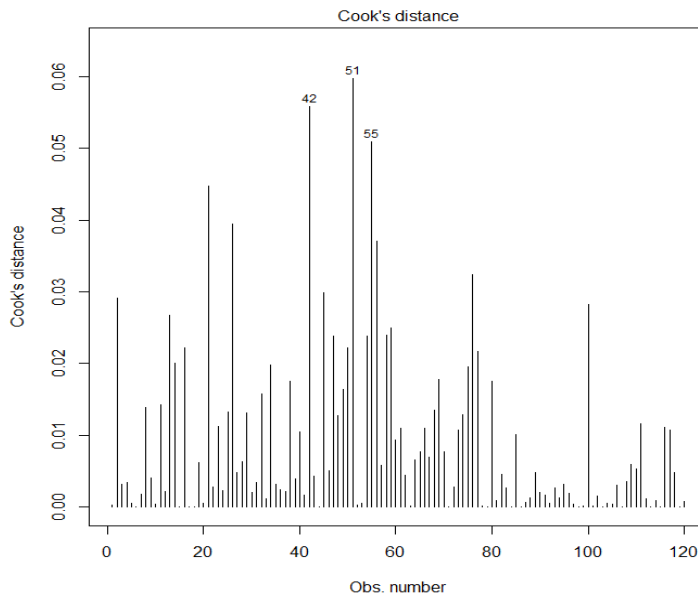
**Figura N° 24**  
**GRAFICO DE RESIDUOS VS VALORES AJUSTADOS**



**Figura N° 25**  
**PRUEBA DE NORMALIDAD**



**Figura N° 26**  
**PRUEBA DE HOMOGENEIDAD**



**Figura N° 27**  
**GRAFICO DE DISTANCIA DE COOK'S PARA DATOS ATIPICOS**

## Verificación de los Valores Atípicos Identificados

El Cuadro N° 32, y haciendo uso del software R, señala si los valores atípicos mostrados de manera gráfica son efectivamente datos atípicos y datos extremos.

**Cuadro N° 32**  
**VERIFICACIÓN DE LOS VALORES ATÍPICOS**

Tipo de placa	Orientación	Tension	Dato atipico	Dato extremo
P1	0	99,5	Verdadero	Falso
P2	120	46,1	Verdadero	Falso
P2	150	48,7	Verdadero	Falso

## Supuesto de Normalidad de la Muestra: Prueba de Shapiro- Wilks

El test de Shapiro-Wilks permite determinar el ajuste de los datos a una distribución de probabilidad. Se debe calcular el valor-P. Si este es superior al valor de significancia asociado  $\alpha=0,05$  se acepta la hipótesis nula, en caso contrario se rechaza.

Las hipótesis de la prueba de Shapiro-Wilks son las siguientes:

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal.

Con los residuos provenientes de los datos del ensayo de corte de la placa tamaño 2x4 se tiene que el valor P obtenido es 0,9714 y el valor W de la prueba es igual a 0,99. Con esto se verifica la distribución normal.

Los residuos muestran la misma varianza para los distintos niveles (homocedasticidad) y se distribuyen de forma normal.

## ANEXO 2

### Ensayo de Tracción: Análisis Previo de los Datos

En el Cuadro N° 33 se presenta una comparación entre los valores obtenidos para la media y desviación estándar del ensayo de corte realizado con la placa de tamaño 2x4.

**Cuadro N° 33**  
**COMPARACIÓN DE MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR, PLACAS P1 Y P2**

Orientación	Número de repeticiones	Media		Desviación estándar	
		P1	P2	P1	P2
0°	10	157	79,2	14,8	10,6
45	10	114	179	13,3	13,6
90	10	81,7	87,2	5,85	3,19

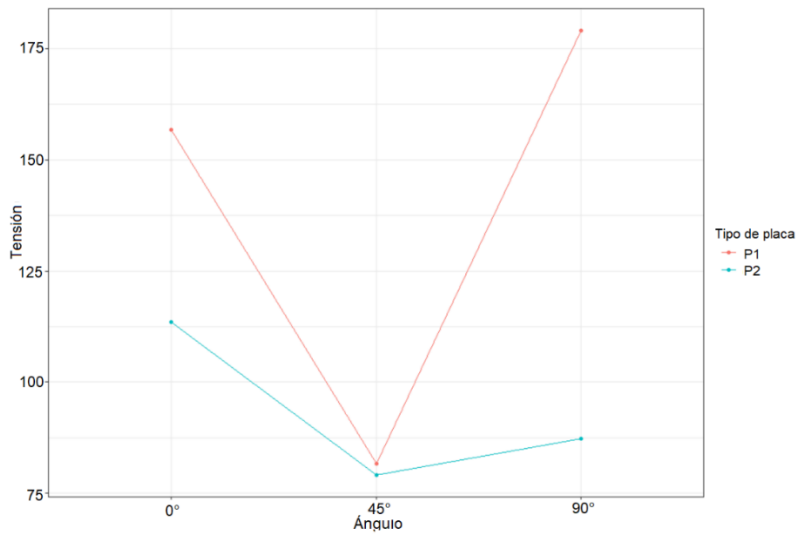
A partir de la representación gráfica y el cálculo de las medias se puede intuir que existe una diferencia en la tensión alcanzada, dependiendo del tipo de placa. La tensión parece no incrementar a medida que aumenta el ángulo, si bien no está clara que la diferencia en las medias sea significativa.

La distribución de las observaciones de cada nivel parece simétrica con presencia de valores atípicos. Inicialmente parece que se satisfacen las condiciones necesarias para un ANOVA.

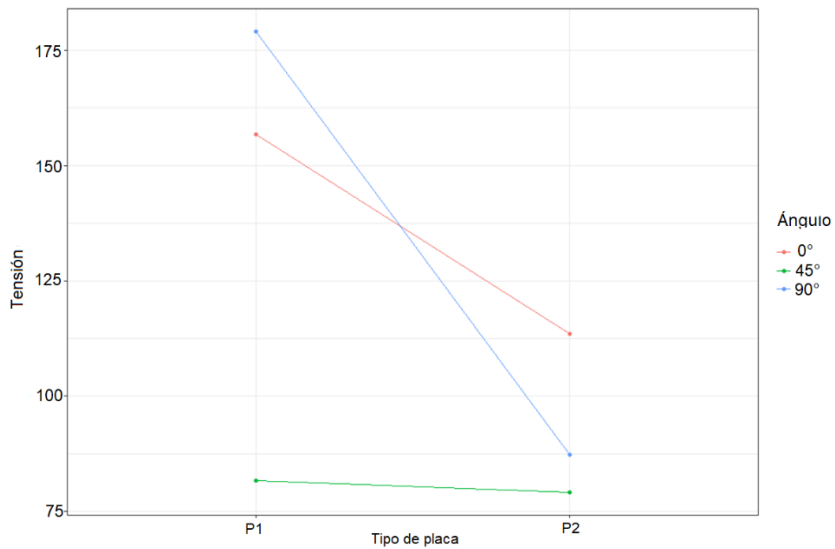
### Gráficos para Determinar la Interacción

En la Figura N° 28 se observa la gráfica del perfil de la tensión media versus el ángulo de orientación de las placas P1 y P2.

En la Figura N° 29 se compara la tensión media por tipo de placa para cada ángulo de orientación.



**Figura N° 28**  
**PERFIL DE TENSIÓN MEDIA VS ÁNGULO DE ORIENTACION PARA P1 Y P2**

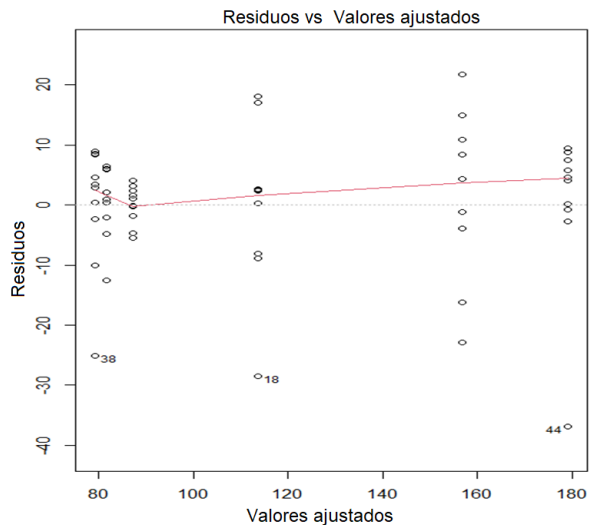


**Figura N° 29**  
**PERFIL DE TENSIÓN MEDIA VS TIPO DE PLACA P1 Y P2 PARA CADA ANGULO DE ORIENTACION**

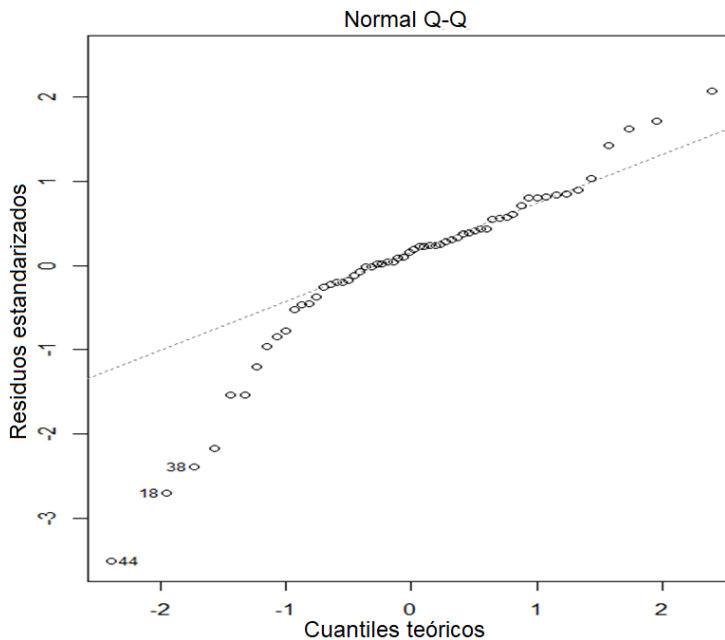
El análisis de varianza confirma que existe una influencia significativa sobre la tensión por parte de ambos factores (tipo de placa y ángulo) con dos tamaños de efecto, grande y mediano respectivamente, pero que no existe interacción significativa entre ellos.

## Verificación de los Supuestos Preliminares

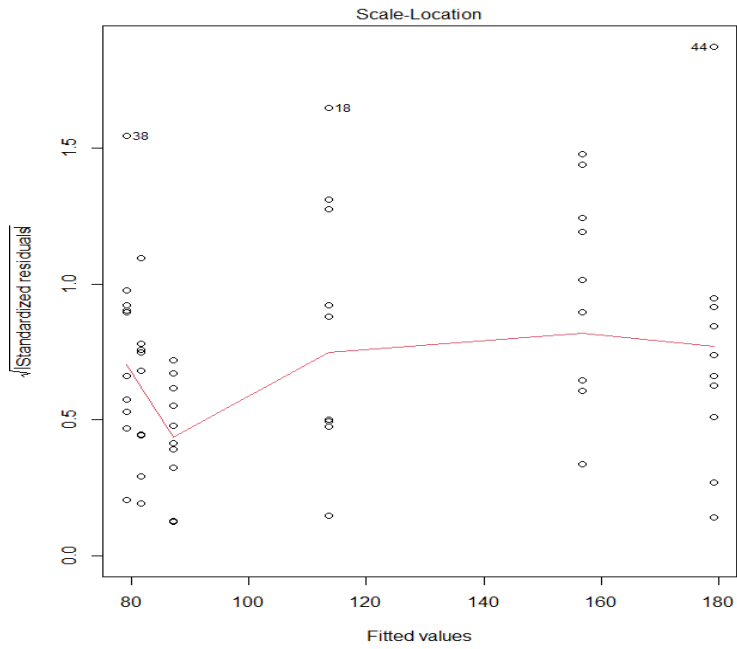
Las Figura N° 30 a N° 33 permiten determinar la homogeneidad de los residuos de los datos, su ajuste a la distribución normal y la existencia de valores atípicos.



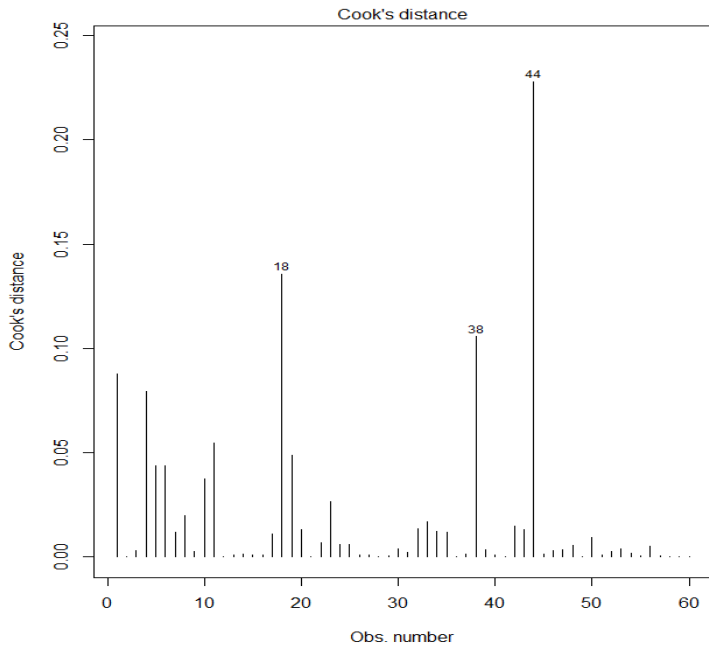
**Figura N° 30**  
**GRÁFICO DE RESIDUOS VS VALORES AJUSTADOS**



**Figura N° 31**  
**PRUEBA DE NORMALIDAD**



**Figura N° 32**  
**PRUEBA DE HOMOGENEIDAD**



**Figura N° 33**  
**GRÁFICO DE DISTANCIA DE COOK'S PARA DATOS ATÍPICOS**

## Verificación de los Valores Atípicos Identificados

El Cuadro N° 34, y haciendo uso del software R, señala si los valores atípicos identificados de manera gráfica son efectivamente datos atípicos y datos extremos.

**Cuadro N° 34**  
**COMPARACIÓN DE MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR, PLACAS P1 Y P2**

Tipo de placa	Orientación	Tension	Dato atipico	Dato extremo
P2	0°	132	Verdadero	Falso
P2	0°	85,2	Verdadero	Falso
P2	0°	131	Verdadero	Falso
P2	45°	54,1	Verdadero	Falso
P1	90°	142	Verdadero	Verdadero

Se verifica que uno de los valores atípicos detectados en el análisis previo es efectivamente un valor extremo y por lo tanto influye en el análisis de ANOVA, por esta razón, solo podemos hacer observaciones respecto de la estadística descriptiva en este caso.

## ANEXO 3

### Ensayo de Resistencia Lateral: Análisis Previo de los Datos

En el Cuadro N° 35 se presenta una comparación entre los valores obtenidos para la media y desviación estándar del ensayo de corte realizado con la placa de tamaño 2x4.

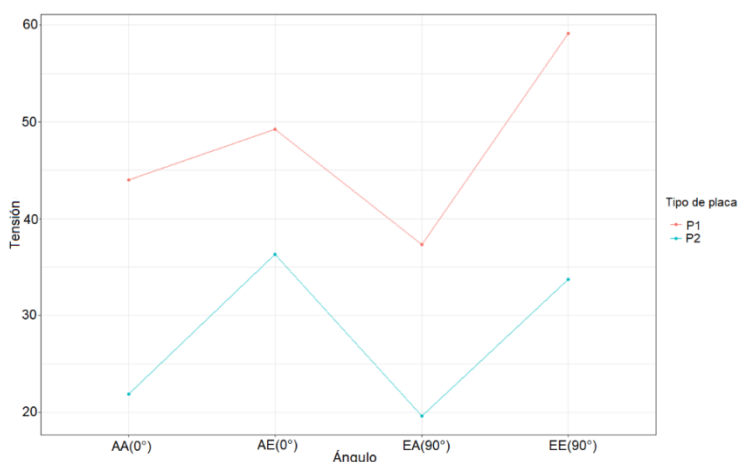
**Cuadro N° 35**  
**COMPARACIÓN DE MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR, PLACAS P1 Y P2**

Orientación	Número de repeticiones	Media		Desviación estándar	
		P1	P2	P1	P2
AA (0°)	5	44,0	21,9	3,97	2,01
AE (0°)	5	49,2	36,3	5,91	16,4
EA (90°)	5	37,4	19,6	3,14	0,93
EE (90°)	5	59,1	33,8	4,42	17,2

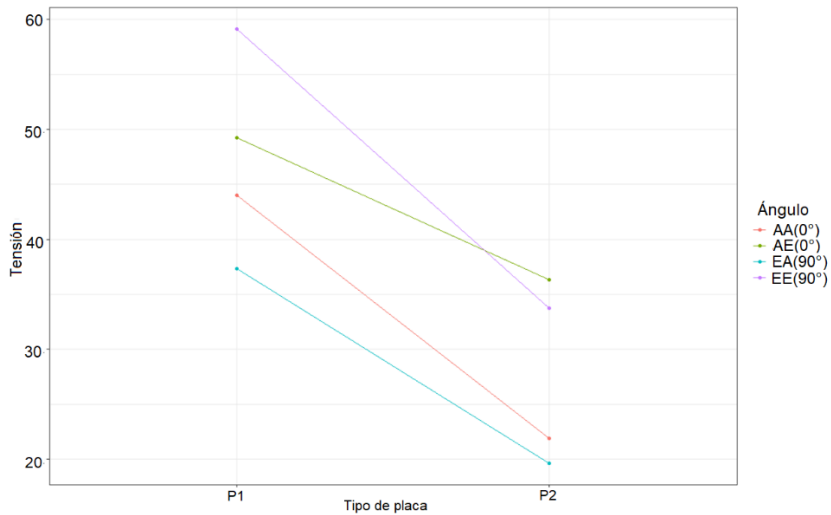
A partir de la representación gráfica y el cálculo de las medias se puede intuir que existe una diferencia en la tensión alcanzada, dependiendo del tipo de placa. La tensión parece no incrementar a medida que aumenta el ángulo, si bien no está clara que la diferencia en las medias sea significativa. La distribución de las observaciones de cada nivel parece simétrica con presencia de valores atípicos. Inicialmente parece que se satisfacen las condiciones necesarias para un ANOVA.

### Gráficos para Determinar la Interacción

En la Figura N° 34 se observa la gráfica del perfil de la tensión media versus el ángulo de orientación de las placas P1 y P2. En la Figura N° 35 se compara la tensión media por tipo de placa para cada ángulo de orientación.



**Figura N° 34**  
**PERFIL DE TENSIÓN MEDIA VS ÁNGULO DE ORIENTACIÓN PARA P1 Y P2**

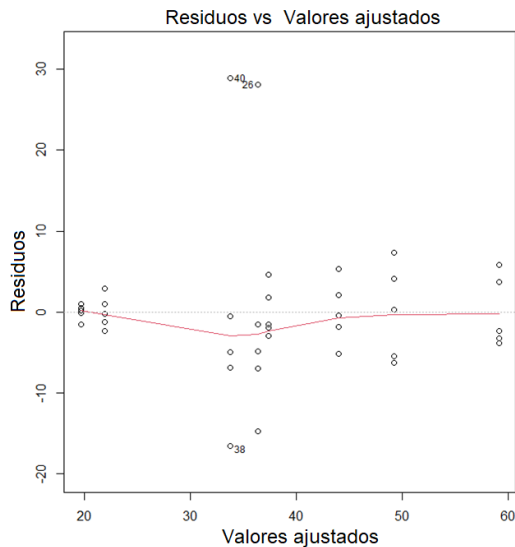


**Figura N° 35**  
**PERFIL DE TENSIÓN MEDIA VS TIPO DE PLACA P1 Y P2 PARA CADA ÁNGULO DE ORIENTACIÓN**

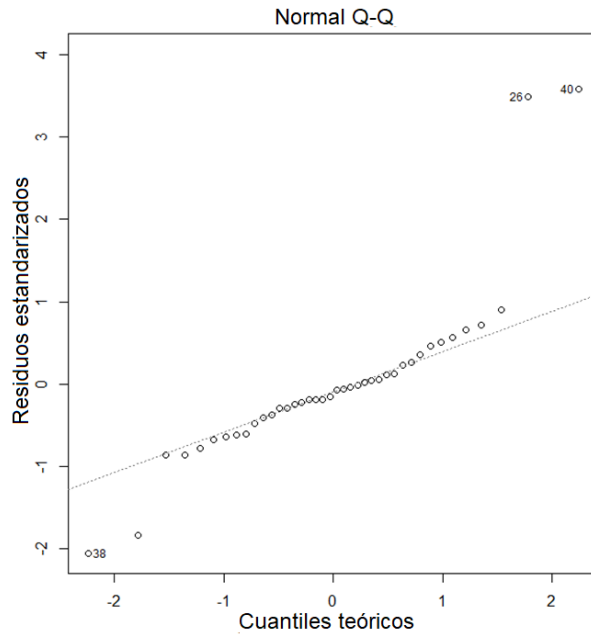
El análisis de varianza confirma que existe una influencia significativa sobre la tensión por parte de ambos factores (tipo de placa y ángulo) con dos tamaños de efecto, grande y mediano respectivamente, pero que no existe interacción significativa entre ellos.

**Verificación de los Supuestos Preliminares**

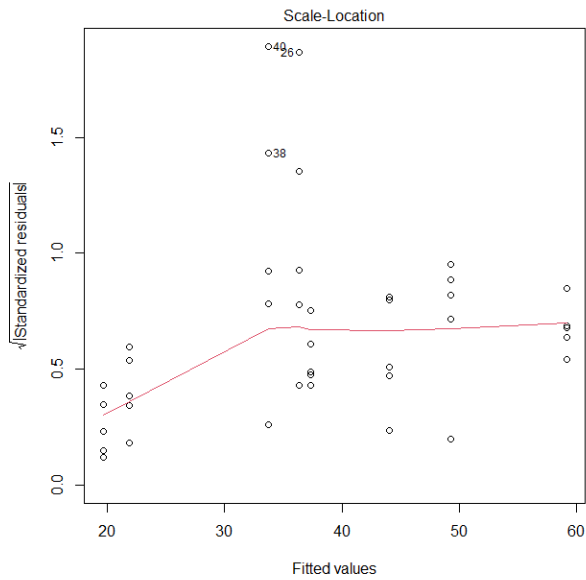
Las Figuras N° 36 a N° 39 permiten determinar la homogeneidad de los residuos de los datos, su ajuste a la distribución normal y la existencia de valores atípicos.



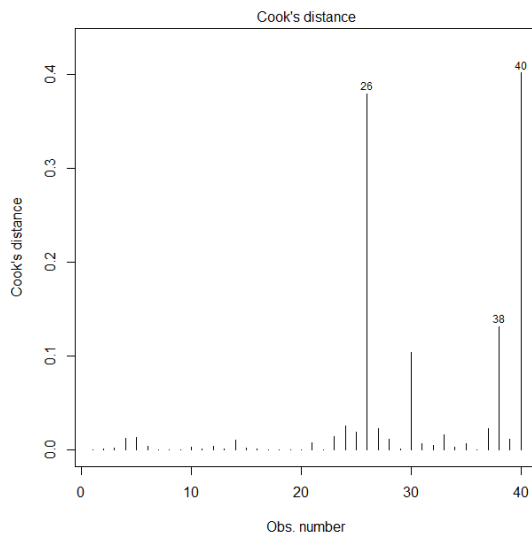
**Figura N° 36**  
**GRÁFICO DE RESIDUOS VS VALORES AJUSTADOS**



**Figura N° 37**  
**PRUEBA DE NORMALIDAD**



**Figura N° 38**  
**PRUEBA DE HOMOGENEIDAD**



**Figura N° 39**  
**GRÁFICO DE DISTANCIA DE COOK'S PARA DATOS ATÍPICOS**

### Verificación de los Valores Atípicos Identificados

El Cuadro N° 36, y haciendo uso del software R, señala si los valores atípicos identificados de manera gráfica son efectivamente datos atípicos y datos extremos.

**Cuadro N° 36**  
**COMPARACIÓN DE MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR, PLACAS P1 Y P2**

Tipo de placa	Orientacion	Tension	Dato atipico	Dato extremo
P2	AE (0°)	64,4	Verdadero	Verdadero
P2	EA (90°)	18,2	Verdadero	Falso
P2	EE (90°)	17,2	Verdadero	Falso
P2	EE (90°)	62,7	Verdadero	Verdadero

Se verifica que dos de los valores atípicos detectados en el análisis previo son efectivamente valores extremos y por lo tanto influyen en el análisis de ANOVA, por esta razón, solo se hacen observaciones respecto de la estadística descriptiva en este caso.



### **OFICINA DIAGUITAS**

Juan Georgini Runi 1507, Barrio Universitario, La Serena

Fono / Fax: (56-51) 2362600

### **SEDE METROPOLITANA**

Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago

Fono: (56-2) 23667100. Fax: (56-2) 23667120

### **SEDE BIO BIO**

Camino a Coronel km 7,5, San Pedro de la Paz, Concepción

Fono / Fax: (56-41) 2853260

### **SEDE LOS RÍOS**

Fundo Teja Norte s/n, Valdivia

Fono: (56-63) 335200

### **OFICINA PATAGONIA**

Camino Coyhaique Alto km 4,5 Coyhaique

Fono: (56-67) 2262500



[www.infor.cl](http://www.infor.cl)