Informe Técnico N° 236

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE PLACAS DENTADAS ESTRUCTURALES PARA EL DISEÑO DE VIGAS RETICULADAS DE PINO OREGÓN (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)





Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

INSTITUTO FORESTAL
2020

INFOR

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.

Informe Técnico N° 236

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE PLACAS DENTADAS ESTRUCTURALES PARA EL DISEÑO DE VIGAS RETICULADAS DE PINO OREGÓN (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)

Cristian Reyes[1]; Luis Vásquez; Javiera Padilla; Pablo Mardones; Raúl Campos; Jorge Catalán; Patricio Elgueta; Gonzalo Hernández.

INSTITUTO FORESTAL
2020

[1] Estudio financiado por convenio INFOR-MINAGRI 2020
[1] Investigadores Instituto Forestal, Sede Bio Bio. cristian.reyes@infor.cl



INSTITUTO FORESTAL
Sucre 3397, Ñuñoa, Santiago
Chile
F. 56 2 223667115
www.infor.cl

ISBN N° 978 956 318 179 - 1
Registro de Propiedad Intelectual N° 2021 A 703

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

Reyes, Cristian; Vásquez, Luis; Padilla, Javiera; Mardones, Pablo; Campos, Raúl; Catalán, Jorge; Elgueta, Patricio y Hernández, Gonzalo, 2020. Caracterización Mecánica de Placas Dentadas Estructurales para el Diseño de Vigas Reticuladas de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 236. P. 19.

PRÓLOGO

En el acuerdo de París del año 2015 todos los países miembros se comprometen a realizar acciones a nivel nacional para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, Consecuentemente, Chile el año 2019 se comprometió a alcanzar al año 2050 la condición de país carbono neutral.

Sabido es que los bosques para su crecimiento absorben CO_2 desde la atmosfera y lo retienen en su madera, y liberan oxígeno al ambiente. De acuerdo con el último inventario de gases de efecto invernadero (GEI), realizado por el Ministerio de Medio Ambiente el 2018, los bosques de Chile mitigaron el 62% de los GEI generados por el país.

No solo los bosques contribuyen a mitigar los gases de efecto invernadero, también lo hace la construcción con madera, en cuya fabricación de componentes se emite menos CO_2 que en el caso de aquellos con materiales alternativos, como el acero y el hormigón, y además la madera en uso mantiene el carbono retenido indefinidamente en su estructura.

A nivel nacional destacan dos iniciativas que tienen entre sus objetivos promover el uso de la madera en la construcción; el programa de CORFO Madera de Alto Valor y lo establecido en la Política Forestal de Chile para 2015 a 2035.

Desde sus inicios el Instituto Forestal (INFOR) ha estudiado las maderas provenientes de los bosques nativos y las plantaciones, determinando sus propiedades físicas y mecánicas y sus aptitudes de uso. Especial atención ha prestado más recientemente a la madera aserrada estructural destinada a la fabricación de elementos constructivos con valor agregado.

Este informe entrega una completa caracterización mecánica de la unión entre la madera aserrada y placas dentadas estructurales, antecedentes que se utilizan en el diseño de las vigas reticuladas fabricadas con madera aserrada estructural de pino oregón.

Todos los ensayos mecánicos considerados en este estudio fueron ejecutados en el Laboratorio de Madera Estructural de INFOR en Concepción, que cuenta con un sistema de gestión acreditado bajo la norma NCh-ISO 17025.



Fernando Raga Castellanos
Director Ejecutivo
Instituto Forestal

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	1
MATERIALES Y MÉTODO	1
Diseño Experimental	1
Materiales	2
Probetas Madera y Placa Dentada	3
Ensayos Mecánicos	6
Ensayo de Corte	6
Ensayo de Tracción	7
Ensayo de Resistencia Lateral	8
RESULTADOS	9
Resultados de los Ensayos	9
Estadística Descriptiva de los Resultados	11
ANÁLISIS DE RESULTADOS	16
Capacidad Mecánica de las Placas 1 y 2	16
Capacidades de Diseño con la Placa 1	18
Análisis Comparativo de la Capacidad de Servicio	18
CONCLUSIONES	18
REFERENCIAS	18

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 permite transmitir de manera axial los esfuerzos internos a través de los materiales que la componen. Típicamente, una viga reticulada está conformada por un cordón superior, un cordón inferior y elementos de madera que los conectan, dispuestos de manera vertical y diagonal. Cada una de las piezas de madera aserrada que componen el elemento reticulado se une adecuadamente 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 ANSI/TPI-1 (2014) señala los protocolos de ensayos para los materiales que conforman la viga reticulada, una metodología para el diseño estructural, 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. No obstante, la norma chilena NCh 1198 (INN, 2014) que permite el diseño de vigas reticuladas no señala las propiedades mecánicas de la unión madera/placa, los protocolos de ensayo para obtener estas propiedades mecánicas y tampoco aspectos específicos de fabricación del elemento.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es diseñar vigas reticuladas fabricadas con madera aserrada estructural de pino oregón y placas dentadas como medio de unión, considerando la metodología de cálculo en NCh 1198 y la caracterización de las propiedades mecánicas de la unión madera y placa según ANSI/TPI-1.

MATERIALES Y MÉTODO

Diseño Experimental

El diseño experimental del estudio se indica en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
DISEÑO EXPERIMENTAL

Variable	Cantidad
Proveedor de placa	2 (placa 1, placa 2)
Tipo de endentado	1 (1,25 dientes/cm^2)
Largo del endentado	1 (9,5 mm)
Grado estructural de la madera	1 (G2)
Ensayos	115 (60 corte, 35 tracción, 20 resistencia lateral)
Total de ensayos	**230**

Adicionalmente se realizaron 20 ensayos de tracción a la placa 1, que no se replican en la placa 2, que corresponden a 10 ensayos de tracción sobre la placa de tamaño 6x6" y 10 sobre la placa 3x6" B.

Los ensayos de resistencia bajo los esfuerzos de corte, tracción y resistencia lateral se efectuaron sobre los tamaños de placa y orientaciones que se describen en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2
TAMAÑOS DE PLACA Y ORIENTACION POR ENSAYO

Ensayo	Tamaño de placa	Orientación
Resistencia en corte	2x4" 4x4"	0° 30° 60° 90° 120° 150°
Resistencia en tracción	2x4" 3x6" 6x6" 4x4"	0° 90°
	4x4"	45°
Resistencia lateral	4x4" 3x6"	0° 90°

Materiales

Se utilizó madera aserrada de pino oregón, grado estructural visual G2, clasificada según NCh 1207 (INN, 2017), con una densidad normal tabulada de 464 kg/m^3, de acuerdo a INFOR (2019).

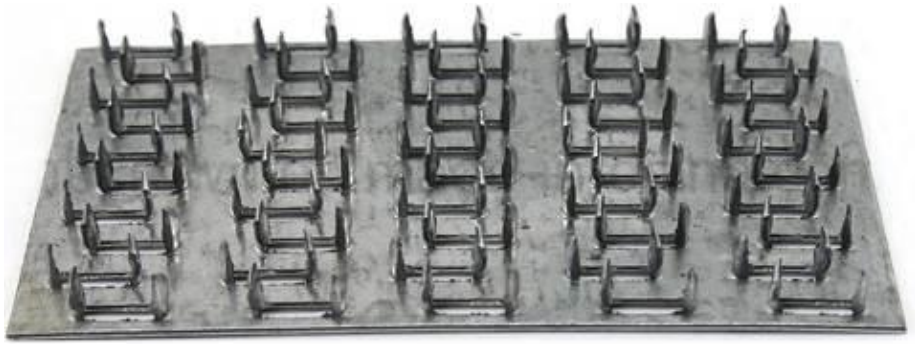
Las placas dentadas fueron adquiridas a 2 fabricantes que comercializan sus productos en el país, que se identifican como placa 1 (P1), y placa 2 (P2). Las propiedades del acero de fabricación de dichas placas, incluyendo las que pertenecen a los ensayos adicionales (placa 1B), se registran en el Cuadro N°3.

Cuadro N° 3
PROPIEDADES DEL ACERO

Propiedad[1]	Placa 1	Placa 1 B	Placa 2
Denominación	SS[2]	HSLAS[3]	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

[1] Propiedades de acuerdo a norma ASTM A653
[2] Acero estructural (Structural Steel)
[3] Acero de baja aleación y alta resistencia (High strength low alloy steel)

Las placas utilizan una densidad de dientes de 1,25 dientes/cm^2 y presentan una distribución simétrica simple, como se observa en la Figura N° 1.



Placa 1



Placa 2

Figura N° 1
PLACAS DENTADAS ESTRUCTURALES P1 y P2

Probetas Madera y Placa Dentada

Las características de las probetas ensayadas en corte, tracción y resistencia lateral se registran en el Cuadro N° 4.

Las líneas de tope de las piezas de madera, que componen la probeta, son unidas con placas hincadas con distintas orientaciones.

Las Figuras N° 2, N° 3 y N°4 muestran el tipo de probetas utilizado en cada ensayo.

Cuadro N° 4
CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS ENSAYADAS

Ensayo	Madera para Probetas	Placas Dentadas
Corte	Piezas laterales: Pino oregón, Cepillado, grado estructural G2, escuadría 41x90 mm y largo 30 cm. Pieza central: Pino oregón, cepillado, grado estructural G2, escuadrías (41x114 mm, 41x185 mm) y largo de 30cm.	Placas dentadas P1 y P2, de tamaño 2x4" y 4x4", orientadas en 0°, 30°, 60°, 90° 120° y 150° respecto de la línea de tope de las piezas de madera.
Tracción	2 Piezas de largo 1m de pino oregón, cepillado, grado estructural G2, escuadrías (41x90 mm, 41x114 mm, 41x185 mm).	Placas dentadas P1, en tamaño 2x4", 4x4", 3x6", 6x6". Placas dentadas P2, en tamaños 2x4", 4x4", 3x6". Placas dentadas P1B, en tamaño 3x6". Se ensayan en ángulos de 0°, 45° y 90° respecto de la línea de línea de tope de las piezas de madera.
Resistencia lateral	Piezas laterales: Pino oregón, cepillado, grado estructural G2, escuadrías 41x114 mm y largo 1 m. (Ensayos AA, EA, AE y EE) Pieza central: Pino oregón, cepillado, grado estructural G2, escuadría 41x185 mm y largo de 30 cm. (Ensayos AE y EE).	Placas dentadas P1 y P2, de tamaño 4x4" y 3x6", orientadas en 0°, 90°.



P1, tamaño 2x4" orientación 150°



P1, tamaño 4x4" orientación 120°

Figura N° 2
PROBETA PARA EL ENSAYO DE CORTE



P2 tamaño 4x4”, orientación 0°



P1 tamaño 6x6”, orientación 0°

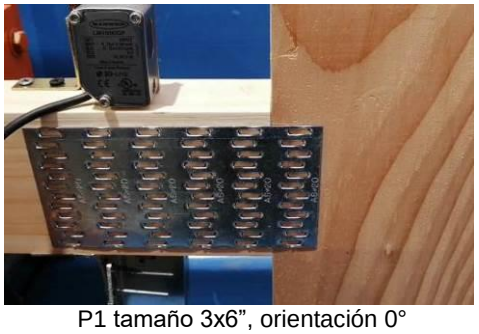
Figura N° 3
PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN



P1 tamaño 4x4”, orientación 0°



P1 tamaño 4x4”, orientación 90°



P1 tamaño 3x6”, orientación 0°



P1 tamaño 3x6”, orientación 90°.

Figura N° 4
PROBETAS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL

Ensayos Mecánicos

Las máquinas utilizadas en los ensayos mecánicos de las probetas permiten cumplir con los requerimientos de velocidad de carga de acuerdo a las indicaciones de los documentos ANSI/TPI-1 (2014) y ASTM E4 (ASTM, 2016).

La norma NCh 1198 (INN, 2014) entrega el procedimiento para el cálculo y diseño de vigas reticuladas fabricadas con madera estructural y placas dentadas. Sin embargo, la norma no hace mención a los ensayos mecánicos que permiten caracterizar la unión madera/placa dentada, situación que fue cubierta con antecedentes de la norma Norteamericana ANSI/TPI-1.

- **Ensayo de Corte**

El ensayo ANSI/TPI-1 (ANSI/TPI-1, 2014) permite determinar los parámetros de resistencia máxima al esfuerzo de corte. Las Figuras N° 5 y N° 6 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

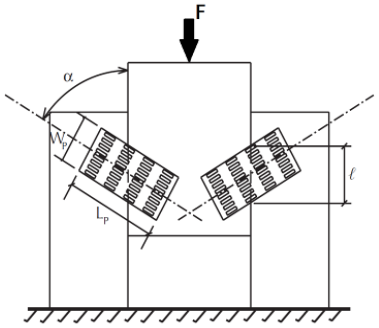


Figura N° 5
ESQUEMA DEL ENSAYO DE CORTE



Figura N° 6
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE CORTE

- **Ensayo de Tracción**

El ensayo ANSI/TPI-1 (2014) permite determinar los parámetros de resistencia máxima al esfuerzo de tracción. Las Figuras N° 7 y N° 8 registran el esquema del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

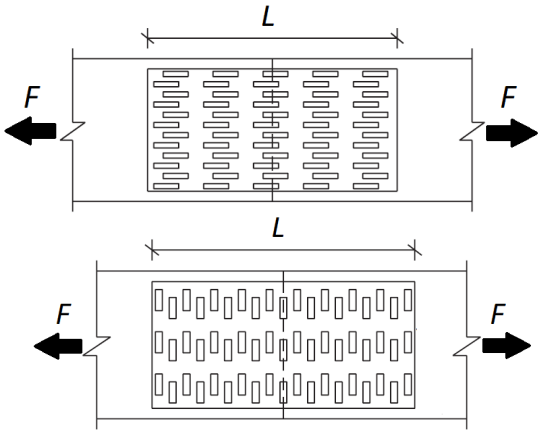


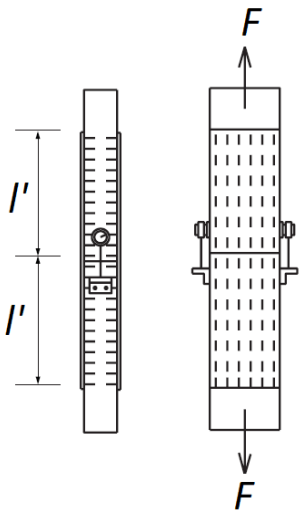
Figura N° 7
ESQUEMA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN



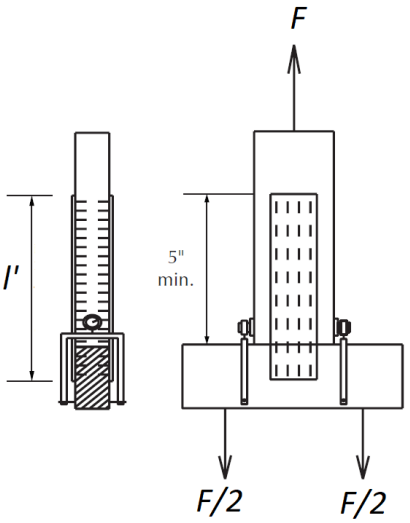
Figura N° 8
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

- **Ensayo de Resistencia Lateral**

El ensayo ANSI/TPI-1 (2014) permite determinar los parámetros de resistencia máxima a la extracción lateral. Las Figuras N° 9 y N° 10 registran los esquemas del ensayo y su implementación en el laboratorio, respectivamente.

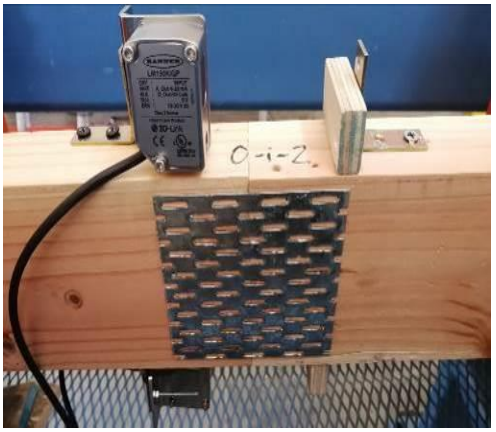


Esquema de ensayo AA y EA



Esquema de ensayo AE y EE

Figura N° 9
ESQUEMAS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL



Ensayo AA, P2 tamaño 4x4”



Ensayo AE, P2 tamaño 3x6”

Figura N° 10
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL

RESULTADOS

Resultados de los Ensayos

Los Cuadros N° 5, N° 6 y N° 7 registran los resultados de los ensayos mecánicos al corte, tracción y extracción lateral ejecutados a las placas dentadas estudiadas. El valor utilizado para el diseño estructural está dado por el promedio menor de los resultados bajo un mismo esfuerzo en cada uno de los tipos de placa, P1 o P2, los cuales se observan en los Cuadros N° 8, N° 9 y N° 10.

Cuadro N° 5
RESISTENCIA AL CORTE

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Tamaño	Resistencia al Corte [kg/cm]					
			Orientación					
			0°	30°	60°	90°	120°	150°
Resistencia al Corte	P1	2x4	83,7	103,2	139,5	113,8	88,4	79,4
		4x4	118,3	107,9	129,6	126,4	104,3	124,0
	P2	2x4	29,7	56,9	65,1	53,5	73,5	50,8
		4x4	70,9	60,7	76,9	92,5	76,3	60,1

Cuadro N° 6
RESISTENCIA A LA TRACCION

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Tamaño	Resistencia a la Tracción [kg/cm]		
			Orientación		
			0°	90°	45°
Resistencia a la Tracción	P1	2x4	181,5	98,3	-
		3x6	189,1	146,2	-
		4x4	157,8	185,1	125,4
		6x6	167,1	207,3	-
	P1 B	3x6	289,8	161,8	-
	P2	2x4	150,5	40,1	-
		3x6	118,9	70,7	-
		4x4	102,9	83,2	50,7

Cuadro N° 7
RESISTENCIA A LA EXTRACCION LATERAL

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Tamaño	Resistencia a la Extracción Lateral [kg/cm^2]			
			Orientación			
			AA (0°)	EA (90°)	AE (0°)	EE (90°)
Resistencia Extracción Lateral	P1	4x4	13,0	12,8	9,8	11,2
		3x6				
	P2	4x4	6,7	5,5	9,5	7,1
		3x6				

Cuadro N° 8
RESISTENCIA AL CORTE POR TIPO DE PLACA

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Resistencia al Corte [kg/cm]					
		Orientación					
		0°	30°	60°	90°	120°	150°
Resistencia al Corte	P1	83,7	103,2	139,5	113,8	88,4	79,3
	P2	29,7	56,9	65,1	53,5	73,5	50,8

Cuadro N° 9
RESISTENCIA A LA TRACCION POR TIPO DE PLACA

Propiedad mecánica	Tipo de placa	Resistencia a la Tracción [kg/cm]		
		Orientación		
		0°	90°	45°
Resistencia a la Tracción	P1	157,8	185,1	125,4
	P2	102,9	83,2	50,7

Cuadro N° 10
RESISTENCIA A LA EXTRACCION LATERAL POR TIPO DE PLACA

Propiedad Mecánica	Tipo de Placa	Resistencia a la Extracción Lateral [kg/cm^2]			
		Orientación			
		AA (0°)	EA (90°)	AE (0°)	EE (90°)
Resistencia a Extracción Lateral	P1	13,0	12,8	9,8	11,2
	P2	6,7	5,5	9,5	7,1

En las probetas ensayas al corte y tracción, la falla se presenta en la línea de corte o línea de tope de las piezas de madera que componen la probeta. La falla se propaga a lo largo de la línea de tope y se manifiesta con la deformación del acero o la rotura.

En el ensayo de extracción lateral, la falla se manifiesta con la salida de los dientes en el área de trabajo de la placa.

Las Figuras N° 11 a N° 13 muestran las fallas típicas de los ensayos ejecutados.



Figura N° 11
FALLA TÍPICA EN EL ENSAYO DE CORTE



Figura N° 12
FALLA TÍPICA EN EL ENSAYO DE TRACCION



Figura N° 13
FALLAS TÍPICAS EN EL ENSAYO DE EXTRACCION LATERAL

Estadística Descriptiva de los Resultados

Los Cuadros N°11 al N°24 registran la estadística descriptiva de las propiedades mecánicas medidas en cada uno de los ensayos ejecutados.

Cuadro N° 11
ENSAYO DE CORTE EN P1, TAMAÑO 2X4

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio					
	Orientación de la Placa					
	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Promedio [kg/cm]*	83,7	103,2	139,5	113,8	88,4	79,3
Valor mínimo [kg/cm]	79,9	95,9	131,6	107,8	83,8	73,0
Valor máximo [kg/cm]	86,3	109,2	146,3	116,9	92,3	85,6
Rango [kg/cm]	6,3	13,4	14,7	9,1	8,5	12,6
Desviación estándar [kg/cm]	2,9	5,4	5,8	3,6	3,3	4,7
Coeficiente de variación (%)	3	5	4	3	4	6
Tamaño muestra	5	5	5	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	83,7	103,2	139,5	113,8	88,4	79,3

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

Cuadro N° 12
ENSAYO DE CORTE EN P1, TAMAÑO 4X4

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio					
	Orientación de la Placa					
	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Promedio [kg/cm]	118,3	107,9	129,6	126,4	104,3	124,0
Valor mínimo [kg/cm]	109,0	104,1	123,9	118,5	98,5	115,5
Valor máximo [kg/cm]	129,8	114,7	136,9	136,3	107,4	139,7
Rango [kg/cm]	20,8	10,6	13,1	17,8	8,9	24,2
Desviación estándar [kg/cm]	7,7	4,0	5,3	8,9	3,7	10,4
Coeficiente de variación (%)	7	4	4	7	4	8
Tamaño muestra	5	5	5	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	118,3	107,9	129,6	126,4	104,3	124,0

Cuadro N° 13
ENSAYO DE CORTE EN P2, TAMAÑO 2X4

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio					
	Orientación de la Placa					
	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Promedio [kg/cm]	29,7	56,9	65,1	53,5	73,5	50,8
Valor mínimo [kg/cm]	20,0	37,5	54,1	34,9	60,6	34,7
Valor máximo [kg/cm]	40,2	66,0	86,5	74,1	82,3	56,7
Rango [kg/cm]	20,2	28,5	32,4	39,2	21,6	22,0
Desviación estándar [kg/cm]	7,4	11,7	12,6	16,7	8,0	9,1
Coeficiente de variación	25	21	19	31	11	18
Tamaño muestra	5	5	5	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	29,7	56,9	65,1	53,5	73,5	50,8

Cuadro N° 14
ENSAYO DE CORTE EN P2, TAMAÑO 4X4

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio					
	Orientación de la Placa					
	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Promedio [kg/cm]	70,9	60,7	76,9	92,5	76,3	60,1
Valor mínimo [kg/cm]	58,6	40,2	66,6	85,1	57,6	57,0
Valor máximo [kg/cm]	86,2	81,6	90,7	98,7	92,6	61,9
Rango [kg/cm]	27,5	41,3	24,1	13,6	35,0	4,8
Desviación estándar [kg/cm]	11,9	15,4	9,0	5,4	12,5	1,9
Coeficiente de variación	17	25	12	6	16	3
Tamaño muestra	5	5	5	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	70,9	60,7	76,9	92,5	76,3	60,1

Cuadro N° 15
ENSAYO DE TRACCION EN P1, TAMAÑO 2X4

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	181,4	98,2
Valor mínimo [kg/cm]	174,9	84,4
Valor máximo [kg/cm]	185,1	114,4
Rango [kg/cm]	10,3	30,0
Desviación estándar [kg/cm]	3,9	11,3
Coeficiente de variación	2	12
Tamaño muestra	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	181,4	98,2

Cuadro N° 16
ENSAYO DE TRACCION EN P1, TAMAÑO 4X4

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio		
	Orientación de la Placa		
	0°	90°	45°
Promedio [kg/cm]	157,8	185,1	125,4
Valor mínimo [kg/cm]	148,7	173,1	108,9
Valor máximo [kg/cm]	175,1	190,7	134,3
Rango [kg/cm]	26,5	17,7	25,4
Desviación estándar [kg/cm]	11,1	7,4	9,7
Coeficiente de variación	7	4	8
Tamaño muestra	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	157,8	185,1	125,4

Cuadro N° 17
ENSAYO DE TRACCION EN P1, TAMAÑO 3X6

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	189,0	146,1
Valor mínimo [kg/cm]	186,5	120,1
Valor máximo [kg/cm]	187,3	208,7
Rango [kg/cm]	0,7	88,6
Desviación estándar [kg/cm]	1,9	19,7
Coeficiente de variación	1	13
Tamaño muestra	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	189,0	146,1

Cuadro N° 18
ENSAYO DE TRACCION EN P1, TAMAÑO 6X6

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	167,0	207,2
Valor mínimo [kg/cm]	153,9	203,2
Valor máximo [kg/cm]	172,2	213,5
Rango [kg/cm]	18,4	10,3
Desviación estándar [kg/cm]	7,9	4,1
Coeficiente de variación	5	2
Tamaño muestra	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	167,0	207,2

Cuadro N° 19
ENSAYO DE TRACCION EN P1B, TAMAÑO 3X6

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	289,6	161,7
Valor mínimo [kg/cm]	263,2	144,8
Valor máximo [kg/cm]	306,0	173,4
Rango [kg/cm]	42,8	28,6
Desviación estándar [kg/cm]	19,2	11,5
Coeficiente de variación	7	7
Tamaño muestra	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	289,6	161,7

Cuadro N° 20
ENSAYO DE TRACCION EN P2, TAMAÑO 2X4

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	150,5	40,1
Valor mínimo [kg/cm]	102,5	27,9
Valor máximo [kg/cm]	265,2	57,2
Rango [kg/cm]	162,7	29,3
Desviación estándar [kg/cm]	65,5	10,7
Coeficiente de variación	44	27
Tamaño muestra	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	150,5	40,1

Cuadro N° 21
ENSAYO DE TRACCION EN P2, TAMAÑO 4X4

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio		
	Orientación de la Placa		
	0°	90°	45°
Promedio [kg/cm]	102,9	83,2	50,7
Valor mínimo [kg/cm]	77,1	76,0	31,5
Valor máximo [kg/cm]	130,1	91,6	78,1
Rango [kg/cm]	53,0	15,6	46,7
Desviación estándar [kg/cm]	19,3	6,5	20,7
Coeficiente de variación	19	8	41
Tamaño muestra	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	102,9	83,2	50,7

Cuadro N° 22
ENSAYO DE TRACCION EN P2, TAMAÑO 3X6

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio	
	Orientación de la Placa	
	0°	90°
Promedio [kg/cm]	118,9	70,7
Valor mínimo [kg/cm]	112,5	63,0
Valor máximo [kg/cm]	126,4	77,3
Rango [kg/cm]	13,9	14,3
Desviación estándar [kg/cm]	5,1	5,3
Coeficiente de variación	4	8
Tamaño muestra	5	5
Tensión admisible [kg/cm]	118,9	70,7

Cuadro N° 23
ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL EN P1

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio			
	Orientación de la Placa			
	AA (0°)	EA (90°)	AE (0°)	EE (90°)
Promedio [kg/cm^2]	41,7	40,9	31,3	35,9
Valor mínimo [kg/cm^2]	35,5	38,7	25,8	26,8
Valor máximo [kg/cm^2]	46,7	42,3	33,8	44,5
Rango [kg/cm^2]	11,2	3,6	8,1	17,7
Desviación estándar [kg/cm^2]	4,3	1,5	3,2	7,6
Coeficiente de variación	10	4	10	21
Tamaño muestra	5	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm^2]	13,0	12,8	9,77	11,2

Cuadro N° 24
ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL EN P2

Descripción	Tensión de Resistencia Promedio			
	Orientación de la Placa			
	AA (0°)	EA (90°)	AE (0°)	EE (90°)
Promedio [kg/cm^2]	21,5	17,4	30,2	22,7
Valor mínimo [kg/cm^2]	17,5	12,1	22,5	16,4
Valor máximo [kg/cm^2]	26,3	19,8	43,2	28,9
Rango [kg/cm^2]	8,8	7,7	20,7	12,5
Desviación estándar [kg/cm^2]	3,6	3,3	8,1	4,7
Coeficiente de variación (%)	17	19	27	20
Tamaño muestra	5	5	5	5
Tensión admisible [kg/cm^2]	6,7	5,5	9,5	7,1

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Capacidad Mecánica de las Placas 1 y 2

Al comparar las tensiones admisibles registradas en los Cuadros N°5 al N°7 para las placas P1 y P2, se observa que para todos los ángulos de instalación y esfuerzos la placa P2 registra una menor capacidad.

Dependiendo de la angulación, la capacidad admisible de la placa P2 respecto de la P1 alcanza valores entre un 35% y un 83% para corte, entre un 40% y un 65% para tracción y entre un 43% y un 97% para extracción lateral.

La placa P1B presenta una capacidad en tracción de hasta 84% sobre la placa P1 y un 182% sobre la placa P2.

La ANSI/TPI-1 señala que para un nivel de confianza de un 75%, el coeficiente de variación de los ensayos debe ser igual o menor al 8%. 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 21 de los 25 tipos de ensayos realizados. En el caso de la placa P2 cumple en 5 de 23 ensayos.

Capacidades de Diseño con la Placa 1

Conocidas las propiedades mecánicas de la unión placa/madera se calculan y diseñan vigas reticuladas de acuerdo con NCh 1198 (INN, 2014), considerando cargas de diseño impuestas por la norma NCh 1537 (INN, 2009). De esta forma se obtienen la escuadría de la madera aserrada estructural y la ubicación, dimensión y orientación de las placas dentadas.

La Figura N° 14 presenta un ejemplo de diseño de viga reticulada y sus placas dentadas.

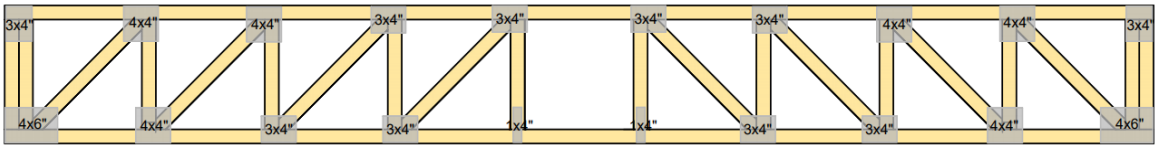


Figura N° 14
VIGA RETICULADA TIPO HOWE DISEÑADA CON MADERA ASERRADA DE PINO OREGÓN Y PLACAS DENTADAS ESTRUCTURALES

El cuadro N° 25 registra ejemplos de las capacidades estructurales de una viga reticulada del tipo Howe, siguiendo la metodología de cálculo y diseño de la norma NCh 1198 y ANSI/TPI-1.

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

Cuadro N° 25
LUCES MÁXIMAS FACTIBLES PARA UNA VIGA RETICULADA TIPO HOWE

Luces máximas alcanzables en [m] para una deformación de L/360				
Altura de la viga [mm]	Espaciamiento			
	610 mm	487 mm	406 mm	305 mm
350	4,5	5,1	5,8	6,7
400	5,1	5,8	6,2	7,2
450	5,6	6,5	7,0	7,8

La tipología de viga reticulada del ejemplo considera el uso de madera aserrada estructural de pino oregón, grado visual G2, y placa dentada del tipo P1.

Análisis Comparativo de la Capacidad de Servicio

El Cuadro N° 26 registra las luces máximas factibles para una viga reticulada fabricada con madera estructural G2 de pino oregón, con la geometría señalada en la Figura N° 14, utilizando la placa 1; y una "Viga I" de dimensiones similares, fabricada con madera estructural G2 de Pino radiata, según los resultados disponibles en el Informe Técnico N°226 de INFOR.

Cuadro N° 26
LUCES MÁXIMAS FACTIBLES PARA UNA VIGA RETICULADA DE PINO OREGÓN Y UNA VIGA I DE PINO RADIATA

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

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

6. CONCLUSIONES

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

Del análisis de resultados se puede concluir que la placa P1 tiene un comportamiento adecuado para el diseño estructural de vigas reticuladas, ya que los valores de resistencia garantizan el nivel de confianza del 75%.

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, reflejada en los valores del coeficiente de variación, podría atribuirse a defectos en la fabricación de sus dientes.

7. REFERENCIAS

ANSI/TPI-1, 2014. National Design Standard for Metal Plate Connected Wood Truss Construction – Standard & Commentary.

ASTM, 2016. ASTM E4. Practices for force verification of testing machines. American Society of Testing Materials.

INFOR, 2019. Informe Técnico N° 226. 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.

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

INN, 2017. NCh 1207**.** Pino radiata. Clasificación visual para uso estructural. Especificaciones de los grados de calidad.



www.infor.cl