



LA MADERA ASERRADA DE PINO PONDEROSA (*Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws) COMO MATERIAL DE CONTRUCCIÓN

**LA MADERA ASERRADA DE PINO PONDEROSA
(*Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws)
COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN¹**

Víctor Barrera², Carlos Castillo³, Stefania Sepúlveda⁴,
Gonzalo Hernández⁵, Patricio Elgueta⁶, Marcelo González⁷,
Luis Vásquez⁸, Raúl Campos⁹ y Jorge Catalán¹⁰

**INSTITUTO FORESTAL
2017**

¹ Publicación financiada por recursos provenientes del Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) de la Región de Aysén, año 2014.

² Instituto Forestal, Sede Patagonia. victor.barrera@infor.cl

³ Instituto Forestal, Sede Patagonia. carlos.castillo@infor.cl

⁴ Instituto Forestal, Sede Patagonia. stefania.sepulveda@infor.cl

⁵ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. gonzalo.hernandez@infor.cl

⁶ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. patricio.elgueta@infor.cl

⁷ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. marcelo.gonzalez@infor.cl

⁸ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. luis.vasquez@infor.cl

⁹ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. raul.campos@infor.cl

¹⁰ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. jorge.catalan@infor.cl



INSTITUTO FORESTAL

Sucre 2397 Ñuñoa

Santiago. Chile

Tel. 56 2 23667115

www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-131-9

Registro de Propiedad Intelectual N° A-281471

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

Barrera, Victor; Castillo, Carlos; Sepúlveda, Estefanía; Hernández, Gonzalo; Elgueta, Patricio; González, Marcelo; Vásquez, Luis; Campos, Raúl y Catalán, Jorge, 2017. La Madera Aserrada de Pino Ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws) como Material de Construcción. Instituto Forestal. Chile. Informe Técnico N° 212. P. 112

PRÓLOGO

A diciembre del año 2014 Chile cuenta con 25.287 hectáreas cubiertas con pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws), lo que lo constituye en la quinta especie con más presencia en el catastro de plantaciones forestales del país. La región de Aysén concentra la mayor superficie de este recurso con el 85% del total, la superficie restante se encuentra en las Regiones de Bio Bio a Los Lagos, principalmente en La Araucanía.

En el presente trabajo se integran resultados de estudios tecnológicos relacionados con el secado, aserrío y clasificación visual estructural de la madera de pino ponderosa, con la determinación de tensiones admisibles de la madera, con la caracterización mecánica de muros fabricados con ella y con la determinación de parámetros de habitabilidad de soluciones constructivas (aislación térmica y acústica, y resistencia al fuego).

Se entrega además la base técnica para la incorporación de la madera aserrada de la especie en la normativa chilena del Instituto Nacional de Normalización (INN) que regula el uso de la madera en la construcción en el país (NCh 1198, NCh 789-1; NCh 1207) y se proporcionan todos los antecedentes técnicos de la construcción de una vivienda piloto en la ciudad de Coyhaique.

Esta publicación complementa distintos estudios técnicos anteriores del Instituto Forestal sobre la especie, relacionados con su manejo silvícola, las propiedades de su madera, el inventario de las plantaciones existentes y la proyección de la disponibilidad futura de madera en estas, trabajos que se encuentran disponibles tanto en la biblioteca institucional como en el sitio www.infor.cl.

Se espera que la información proporcionada sobre la madera de pino ponderosa, sus propiedades, su clasificación estructural y su uso en soluciones constructivas, además de su habilitación para estos fines mediante su incorporación en la normativa vigente para esto, sea una base que permita incrementar el uso de la madera en la construcción, tanto en la región de Aysén como en el país, y el uso de la madera de pino ponderosa con estos fines, siguiendo el ejemplo de iniciativas como la de la casa piloto construida en la Sede Patagonia de INFOR en Coyhaique, que desde ya queda disponible como elemento de difusión y transferencia para los diferentes grupos de interés regionales y nacionales.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. ASERRÍO, SECADO Y CLASIFICACIÓN VISUAL ESTRUCTURAL DE LA MADERA ASERRADA

- 1.1 OBJETIVO GENERAL
- 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS
- 1.3 METODOLOGÍA
- 1.4 RESULTADOS
- 1.5 CONCLUSIONES

CAPÍTULO II. DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

- 2.1 OBJETIVO GENERAL
- 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS
- 2.3 METODOLOGÍA
 - 2.3.1 Madera
 - 2.3.2 Clasificación Visual
 - 2.3.3 Ensayos Físicos y Mecánicos
 - 2.3.3.1 Flexión
 - 2.3.3.2 Tracción Paralela a las Fibras
 - 2.3.3.3 Compresión Paralela a las Fibras
 - 2.3.3.4 Cizalle Paralelo a las Fibras
 - 2.3.3.5 Compresión Normal a las Fibras
 - 2.3.4 Densidad
 - 2.3.5 Determinación de los Valores Admisibles
- 2.4 RESULTADOS
 - 2.4.1 Clasificación Visual Estructural
 - 2.4.2 Ensayos Físicos y Mecánicos
 - 2.4.3 Valores Admisibles
- 2.5 CONCLUSIONES

CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS

- 3.1 OBJETIVO GENERAL
- 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS
- 3.3 METODOLOGÍA
 - 3.3.1 Tipologías de Muros con Estructura de Madera
 - 3.3.2 Metodología de Ensayo de Carga Vertical
 - 3.3.3 Metodología de Ensayo a Carga Horizontal
 - 3.3.4 Metodología de Ensayo de Flexión
 - 3.3.5 Metodología de Ensayo de Impacto
- 3.4 RESULTADOS
 - 3.4.1 Ensayo de Carga Lateral en Muros con Estructura de Madera
 - 3.4.2 Ensayo de Impacto en Muros con Estructura de Madera
 - 3.4.3 Ensayo de Carga Vertical de Muros con Estructura de Madera
 - 3.4.4 Ensayo de Flexión en Muros con Estructura de Madera
- 3.5 CONCLUSIONES

CAPÍTULO IV. PARÁMETROS DE HABITABILIDAD DE MUROS

- 4.1 OBJETIVOS GENERAL
- 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS
- 4.3 METODOLOGÍA

- 4.3.1 Ensayo de Aislamiento Acústico
 - 4.3.1.1 Medición del Nivel de Presión Acústica Promedio
 - 4.3.1.2 Medición del Tiempo de Reverberación
 - 4.3.1.3 Medición y Corrección del Ruido de Fondo
 - 4.3.1.4 Evaluación del Aislamiento al Ruido Aéreo y Términos de Adaptación de Espectros
- 4.3.2 Ensayo de Resistencia al Fuego
- 4.3.3 Ensayo de Conductividad Térmica
- 4.4 RESULTADOS
 - 4.4.1 Ensayo de Aislamiento Acústico
 - 4.4.2 Ensayo de Resistencia al Fuego
 - 4.4.3 Ensayo de Conductividad Térmica
- 4.5 CONCLUSIONES

CAPÍTULO V. MODIFICACIÓN DE NORMATIVA CHILENA

- 5.1 OBJETIVOS GENERAL
- 5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS
- 5.3 METODOLOGÍA
- 5.4 RESULTADOS
 - 5.4.1 Norma NCh 789
 - 5.4.2 Norma NCh 1198
 - 5.4.3 Norma NCh 1207
- 5.5 CONCLUSIONES

CAPÍTULO VI. CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA SOCIAL PATAGONICA

- 6.1 OBJETIVOS GENERAL
- 6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS
- 6.3 METODOLOGÍA
- 6.4 RESULTADOS
 - 6.4.1 Descarga de los Componentes en Coyhaique
 - 6.4.2 Nivelación de Terreno y Envigado de Piso
 - 6.4.3 Instalación de Muros
 - 6.4.4 Cerchas y Techumbre
 - 6.4.5 Revestimiento Exterior e Interior
 - 6.4.6 Ceremonia de Inauguración
- 6.5 COSTOS ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN
- 6.6 OPORTUNIDADES
- 6.7 CONCLUSIONES

7. REFERENCIAS

APÉNDICES

- APÉNDICE N° 1. CÁLCULOS TÉRMICOS PARA LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS
- APÉNDICE N° 2. SOLICITUD DE NORMALIZACIÓN
- APÉNDICE N° 3. ANTERPROYECTO NORMA NCH 789/1
- APÉNDICE N° 4. FRAGMENTO DE ANTEPROYECTO DE NORMA NCH 1198
- APÉNDICE N° 5. FRAGMENTO DE ANTEPROYECTO DE NORMA NCH 1207
- APÉNDICE N° 6. PLANOS ARQUITECTURA Y PLANOS INGENIERÍA CASA PILOTO

CAPÍTULO I

ASERRÍO, SECADO Y CLASIFICACIÓN VISUAL ESTRUCTURAL DE LA MADERA ASERRADA

Patricio Elgueta; Gonzalo Hernández; Raúl Campos;
Victor Barrera y Carlos Castillo

1.1 OBJETIVO GENERAL

Generar madera aserrada, seca y cepillada de pino ponderosa de Aysén para ensayos de laboratorio y fabricación de componentes de viviendas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Procesar trozas, secar y cepillar madera aserrada.

Clasificar visualmente madera aserrada estructural según NCh 1207 (INN, 2005).

1.3 METODOLOGÍA

Los árboles de pino ponderosa fueron seleccionados de un rodal de 39 años de edad establecido en 1975 en la Reserva Coyhaique, Región de Aysén, Chile (Figura N° 1). Los tratamientos silvícolas de poda y raleo se efectuaron a los 20 años aproximadamente. Durante la faena de cosecha se extrajeron 263 trozas con largos de 3,35 y 4,10 m, y diámetros entre 36 y 47 cm, y entre 35 y 49 cm, respectivamente. Posteriormente las trozas fueron despachadas a la ciudad de Los Ángeles para su procesamiento industrial.



Figura N° 1
ZONA DE EXTRACCIÓN DE LAS TROZAS DE PINO PONDEROSA

El aserrío se ejecutó en las instalaciones industriales de Maderas Río Colorado SA, cercanas a la ciudad de Los Ángeles, región del Bio Bio, donde fueron recibidas 4 cargas equivalentes a un volumen JAS de 92,7 m³. En el Cuadro N° 1 se indica el detalle de las trozas recibidas según diámetro y largo.

Cuadro N° 1
DIMENSIONES Y VOLÚMENES DE TROZAS

Largo (m)	Diámetro (cm)												Total	Volumen JAS (m ³)
	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44		
3,35	0	11	20	21	31	26	22	23	5	8	3	1	171	58,1
4,10	5	4	12	14	21	13	9	7	3	2	2	0	92	34,6
Total	5	15	32	35	52	39	31	30	8	10	5	1	263	92,7

Las trozas fueron mantenidas bajo riego por aspersión para evitar el desarrollo de hongos manchadores de la madera (Figura N° 2).



Figura N° 2
TROZAS BAJO RIEGO POR ASPERSIÓN

Los 4 esquemas de corte utilizados en el proceso de aserrío se ilustran en las Figuras N° 3 a N° 6 y en ellos se privilegió la obtención de madera aserrada en escuadrías de 1" x 4", 2" x 3" y 2" x 4", en largos de 3,35 m y 4,10 m.

En las Figuras N° 7 a N° 14 se muestra el proceso en algunas estaciones de trabajo.

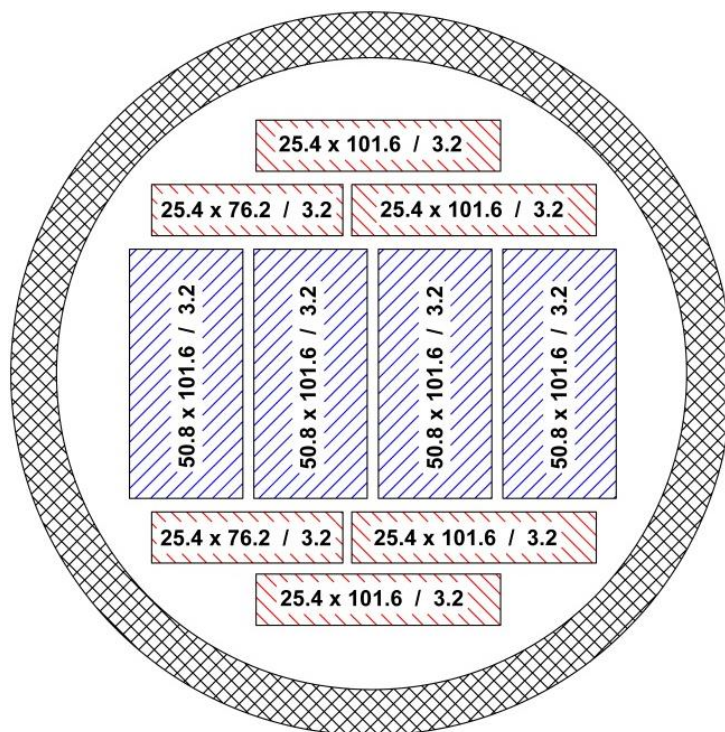


FIGURA N° 3
ESQUEMA DE CORTE, DIÁMETROS 22 A 26 CM

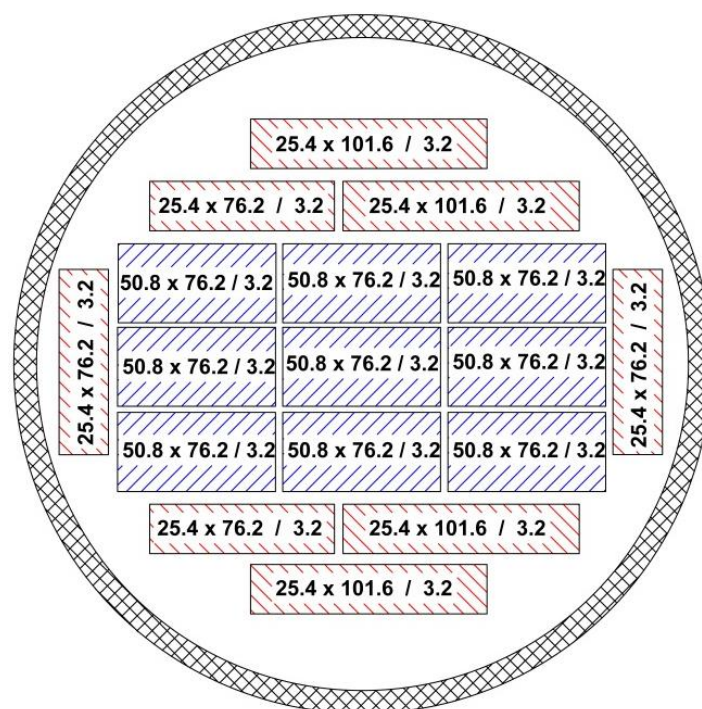


Figura N° 4
ESQUEMA DE CORTE, DIÁMETROS 28 A 32 cm

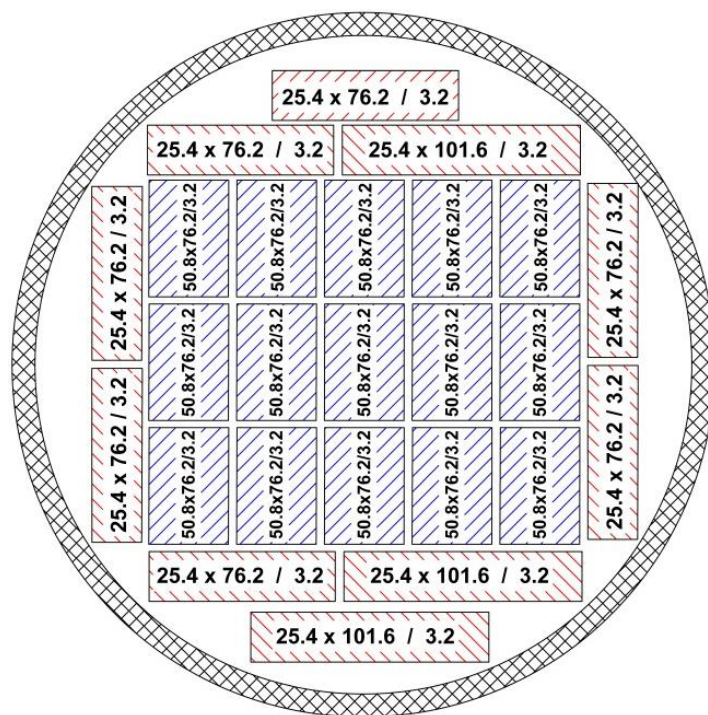


Figura N° 5
ESQUEMA DE CORTE, DIÁMETROS 34 A 38 cm

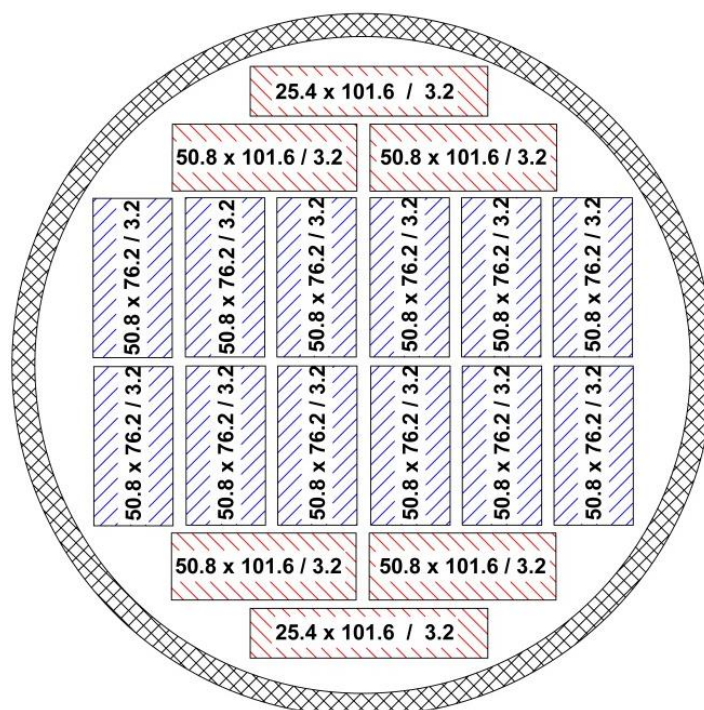


Figura N° 6
ESQUEMA DE CORTE, DIÁMETROS 36 cm



Figura N° 7
INGRESO DE TROZOS AL ASERRADERO



Figura N° 8
MÁQUINA PRINCIPAL CARRO HUINCHA



Figura N° 9
SIERRA HUINCHA REASERRADORA 1



Figura N° 10
SIERRA HUINCHA REASERRADORA 2



Figura N° 11
DESPUNTADORA



Figura N° 12
BAÑO ANTIMANCHA

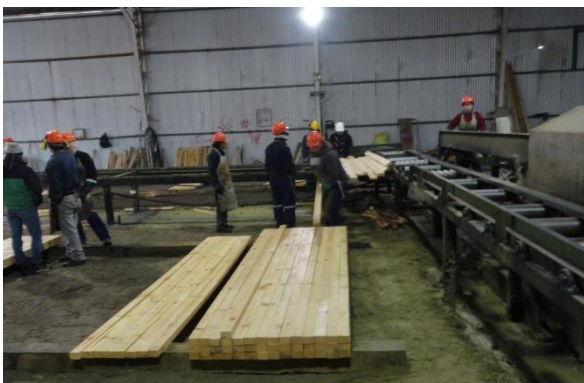


Figura N° 13
CLASIFICACIÓN MADERA, LATERAL Y CENTRAL



Figura N° 14
EMPAQUETADO Y ALMACENAJE

Para evitar la presencia de hongos manchadores, previo al proceso de secado la madera aserrada fue bañada con el producto antimanchas “Antiblu”, aplicado mediante el método de arrastre (Figura N° 12).

Durante el proceso de empaquetado, la madera lateral fue separada de la central, se armaron paquetes según las escuadrías obtenidas y fueron almacenados bajo techo (Figuras N° 13 y N° 14).

La madera aserrada fue secada en las instalaciones de Agrícola y Forestal Bagaro Ltda., Planta Masti-Gane, ubicada en la comuna de Mulchén, Los Ángeles. Se armaron lingas conformadas por 16 corridas de alto y 1,20 m de ancho, con sobrepesos para restringir la aparición de alabeos (Figuras N° 15 y N° 16) y listones separadores cada 40 cm.



Figura N° 15
SENSORES DE HUMEDAD EN LINGAS



Figura N° 16
SOBREPESO EN CASTILLO

Se utilizó un programa de secado 80°C/60°C (TBS/TBH), considerando humectaciones permanentes para mantener húmeda la superficie de la madera. Las humectaciones se efectuaron cada 1 h, incrementándose cada 2 o 3 h, dependiendo de la velocidad del secado. Para mantener la TBH se utilizó vapor de tina y humedad por aspersores. El contenido de humedad objetivo se estableció en $12\% \pm 3\%$.

El proceso de secado tuvo una duración de aproximadamente 4 días, obteniéndose un contenido de humedad final entre el 9% y 14% ($12\% \pm 2\%$).

Posterior al secado, la madera aserrada fue cepillada a las dimensiones efectivas que señala la norma NCh 2824 (INN, 2003a) (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
DIMENSIONES EFECTIVAS, NCh 2824

Escuadría (")	Seco, Cepillado (mm)
1x4	19 x 90
2x2	41 x 41
2x3	41 x 65
2x4	41 x 90

La madera seca y cepillada fue despachada al aserradero Río Colorado SA (Figuras N° 17 y N° 18). Solo las piezas con escuadrías 2" x 3" y 2" x 4" fueron clasificadas visualmente para uso estructural, según NCh 1207 (INN, 2005).



Figura N° 17
RECEPCIÓN MADERA SECA Y CEPILLADA PARA LA CLASIFICACIÓN VISUAL ESTRUCTURAL



Figura N° 18
IDENTIFICACIÓN DE LOS GRADOS ESTRUCTURALES POR COLORES

1.4 RESULTADOS

En los cuadros siguientes se muestran los volúmenes verde y seco de la madera aserrada de pino ponderosa. En el Cuadro N° 3 se resumen las escuadrías, calidades y cantidades de madera verde. El proceso de aserrío arrojó un rendimiento de un 60,1%, equivalente a 4.147 piezas (55,72 m³).

Cuadro N° 3
ESCUADRÍAS, CALIDADES Y CANTIDADES DE MADERA VERDE

Origen	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (m)	Piezas (Cantidad)	Volumen (m ³)
Lateral	50	75	3,35	877	11,017
Lateral	50	102	3,35	674	11,515
Central	50	50	3,35	15	0,126
Central	50	102	3,35	87	1,486
Lateral	25	75	3,35	362	2,274
Lateral	25	105	3,35	506	4,450
Central	50	75	3,35	343	4,309
Sub-total 3,35 m largo				2.864	35,177
Lateral	50	75	4,05	480	6,804
Lateral	50	102	4,10	341	8,05
Central	50	75	4,05	194	2,977
Central	50	102	4,10	33	0,69
Lateral	25	75	4,10	67	0,73
Lateral	22	105	4,05	168	1,291
Sub-total 4,0 m largo				1.283	20,543
TOTAL				4.147	55,720

En el Cuadro N° 4 se resume el volumen de madera seca y cepillada producida, según escuadría y origen (lateral, central). Se generaron 43,127 m³ de madera lateral y 9,588 m³ de madera central, con un total de 52,715 m³.

Cuadro N° 4
VOLUMEN DE MADERA SECA Y CEPILLADA SEGÚN ORIGEN Y ESCUADRÍA

Escuadría	Origen		Total (m ³)
	Lateral (m ³)	Central (m ³)	
1x4	5,741	-	5,741
2x2	-	0,126	0,126
2x3	17,821	7,286	25,107
2x4	19,565	2,176	21,741
Total	43,127	9,588	52,715

En los Cuadros N° 5 a N° 9 se indican las cantidades de madera aserrada estructural producida, según escuadría y largo. La clasificación visual estructural de la madera seca y cepillada se aplicó a 3.017 piezas, equivalentes a 15,5 paquetes de madera. Solo se clasificaron visualmente las piezas con escuadría 2" x 3" y 2" x 4".

Cuadro N° 5
RESULTADOS CLASIFICACIÓN ESCUADRÍA 2" X 3" EN 3,35 m

Grado	GS	G1	G2	Rechazo	Sin Clasificar	Total
Piezas	12	58	205	917	32	1.224
%	1	4,7	16,7	75,0	2,6	100

Cuadro N° 6
RESULTADOS CLASIFICACIÓN ESCUADRÍA 2" X 3" EN 4,00 m

Grado	GS	G1	G2	Rechazo	Sin Clasificar	Total
Piezas	5	19	100	491	36	651
%	0,8	2,9	15,4	75,4	5,5	100

Cuadro N° 7
RESULTADOS CLASIFICACIÓN ESCUADRÍA 2" X 4" EN 3,35 m

Grado	GS	G1	G2	Rechazo	Sin Clasificar	Total
Piezas	33	134	286	285	30	768
%	4,3	17,5	37,2	37,1	3,9	100

Cuadro N° 8
RESULTADOS CLASIFICACIÓN ESCUADRÍA 2" X 4" EN 4,00 m

Grado	GS	G1	G2	Rechazo	Sin Clasificar	Total
Piezas	7	70	130	124	43	374
%	1,9	18,7	34,8	33,2	11,5	100

Cuadro N° 9
RESUMEN RESULTADOS CLASIFICACIÓN ESCUADRÍAS 2" X 3" Y 2" X 4" EN 3,35 Y 4,00 m

Grado	GS	G1	G2	Rechazo	Sin Clasificar	Total
Piezas	57	281	721	1.817	141	3.017
%	1,9	9,3	23,9	60,2	4,7	100

Del total de piezas inspeccionadas, un 60,2% clasificó como Rechazo, lo que se atribuye a la presencia de nudos individuales de gran tamaño, nudos alargados y alabeos excesivos (Figuras N° 19 a N° 21). Un 23,9%, equivalente a 721 piezas, se clasificó como

grado estructural G2. Un 9,3%, equivalente a 281 piezas, se clasificó como grado estructural G1, mientras que un 1,9% se clasificó como grado estructural GS.

Independiente del largo, la escuadría 2" x 3" fue la que presentó la mayor cantidad de piezas clasificadas como Rechazo, con un 75,1%, equivalente a 1.408 piezas. El caso contrario ocurrió con la escuadría 2" x 4", que presentó la mayor cantidad de piezas clasificadas como grado estructural G2, con un 36,4%, equivalente a 416 piezas.



Figura N° 19
NUDO INDIVIDUAL DE GRAN TAMAÑO



Figura N° 20
NUDO ALARGADO



Figura N° 21
ALABEOS EXCESIVOS

1.5 CONCLUSIONES

Ingresó a proceso de aserrío un total de 263 trozas, 171 y 92 en 3,35 y 4,10 metros, respectivamente, equivalente a 92,7 m³ JAS.

El proceso de aserrío generó 4.147 piezas de madera aserrada verde, equivalente a 55,72 m³, lográndose un rendimiento de un 60,1%.

El proceso de secado se llevó a cabo sin inconvenientes, logrando un contenido de humedad levemente inferior al objetivo y un volumen total de 52,715 m³ de madera aserrada seca y cepillada.

La clasificación visual estructural permitió obtener piezas para la fabricación de componentes de viviendas y para los ensayos de caracterización mecánica (Cizalle, Flexión, Tracción, Compresión paralela, Compresión perpendicular).

Se inspeccionaron 3.017 piezas, obteniéndose un rechazo de un 60,2%, influenciado principalmente por la presencia de nudos individuales de gran tamaño, nudos alargados y alabeos excesivos.

CAPÍTULO II

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

Luis Vásquez; Marcelo González y Jorge Catalán

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las tensiones admisibles de dos grados estructurales visuales de madera aserrada, seca y cepillada, de Pino ponderosa proveniente de la Región de Aysén.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar propiedades físicas y mecánicas de dos grados estructurales visuales, según NCh 3028-1 (INN, 2006).

Analizar estadísticamente los resultados obtenidos, según NCh 3028-2 (INN, 2008).

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 Madera

Los árboles de pino ponderosa fueron seleccionados de un rodal de 39 años de edad, establecido en 1975 en la Reserva Coyhaique, Región de Aysén, Chile. Los tratamientos silvícolas de poda y raleo se efectuaron a los 20 años aproximadamente. Durante la faena de cosecha se extrajeron 263 trozas con largos de 3,35 y 4,10 metros, y diámetros entre 36 y 47 cm, y entre 35 y 49 cm, respectivamente. Posteriormente las trozas fueron despachadas a la ciudad de Los Ángeles para su procesamiento.

2.3.2 Clasificación Visual

La madera seca y cepillada de escuadrías 2" x 3" y 2" x 4" fueron clasificadas visualmente según la norma NCh 1207 (INN, 2005) (GS, G1 y G2).

2.3.3 Ensayos Físicos y Mecánicos

Se realizaron ensayos mecánicos con madera seca y cepillada bajo diferentes solicitaciones de carga, tales como la flexión y cizalle paralelo a las fibras, tracción paralela a las fibras, compresión paralela y normal a las fibras. Además, se determinó la densidad y contenido de humedad de cada muestra de madera ensayada.

Todos los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), bajo las especificaciones de la norma chilena NCh 3028/1

(INN, 2006). La determinación de la humedad se realizó mediante xilohigrómetros portátiles calibrados bajo la norma chilena NCh 2827 (INN, 2003b).

2.3.3.1 Flexión

El esquema del ensayo en flexión se registra en la Figura N° 1. A una pieza de madera de luz $18d$ se le aplica una carga en dos puntos a igual distancia entre los apoyos de los extremos, con cada carga igual a $F/2$. Se debe elegir al azar un canto de la probeta como canto flexo-traccionado. En la Figura N° 2 se observa el montaje de un ensayo que mide la resistencia y rigidez en flexión, observando la utilización de restricciones laterales para impedir el volcamiento de la pieza, apoyos móviles y un cilindro hidráulico para la aplicación de la carga.

El ensayo consiste en medir la carga aplicada en los tercios de la luz, junto con el desplazamiento del eje neutro de la probeta en el centro de la luz. De este ensayo se determina el módulo de elasticidad (E) y la tensión de rotura en flexión (f_m), siendo calculados como sigue:

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

Donde:

E : Módulo de elasticidad en flexión
 L : Luz de la pieza de madera entre apoyos
 d : Espesor de la pieza de madera
 b : Ancho de la pieza de madera
 $\left(\frac{\Delta F}{\Delta e} \right)$: Pendiente de la recta, prolongada del rango elástico de la curva carga-desplazamiento, que se forma de los datos tomados entre el 10% y 40% de la carga máxima.

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

Donde:

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

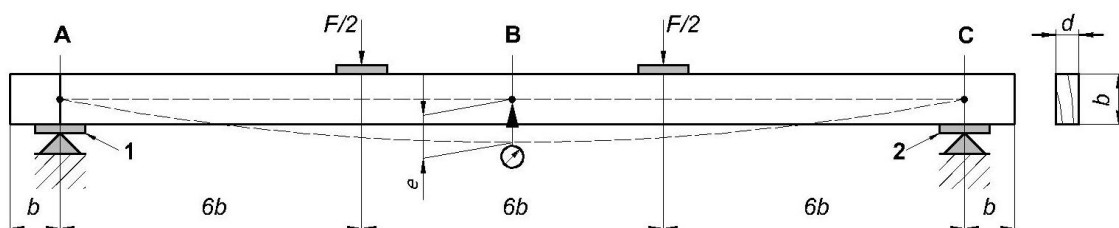


Figura N° 1
ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN



Figura N° 2
APLICACIÓN DEL ENSAYO DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ EN FLEXIÓN EN LME-INFOR

2.3.3.2 Tracción Paralela a las Fibras

El esquema de carga aplicada en el ensayo de tracción paralela a las fibras se ilustra en la Figura N° 3. La longitud (L) de la pieza de madera entre las mordazas es 2.000 mm más 8 veces el ancho (b). La probeta es cargada hasta la falla. En la Figura N° 4 se observa el montaje de un ensayo a la tracción paralela a las fibras.

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

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

Donde:

- $f_{t,0}$: Resistencia a la tracción paralela a las fibras
- $F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima
- d : Espesor de la pieza de madera
- b : Ancho de la pieza de madera

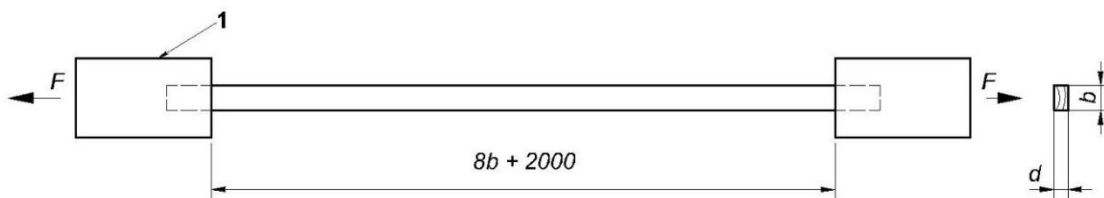


Figura N° 3
ESQUEMA DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS.



Figura N° 4

APLICACIÓN ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS EN LME-INFOR

2.3.3.3 Compresión Paralela a las Fibras

El esquema de carga aplicada en el ensayo de compresión paralela a las fibras se ilustra en la Figura N° 5. La pieza de madera debe tener una longitud total de 2.000 mm más 8 veces el ancho (b) de la probeta; siendo comprimida axialmente hasta la falla. El pandeo se controla con restricciones laterales distanciadas a 10 veces el ancho (b) para el pandeo respecto al eje menor, y de 10 veces el espesor (d) para el pandeo respecto al eje mayor. En la Figura N° 6 se aprecia el montaje de un ensayo de compresión paralela, observándose la zona de carga y los dispositivos de fijación lateral.

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

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

Donde:

- $f_{c,0}$: Resistencia a la compresión paralela a las fibras
- $F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima
- d : Espesor de la pieza de madera
- b : Ancho de la pieza de madera

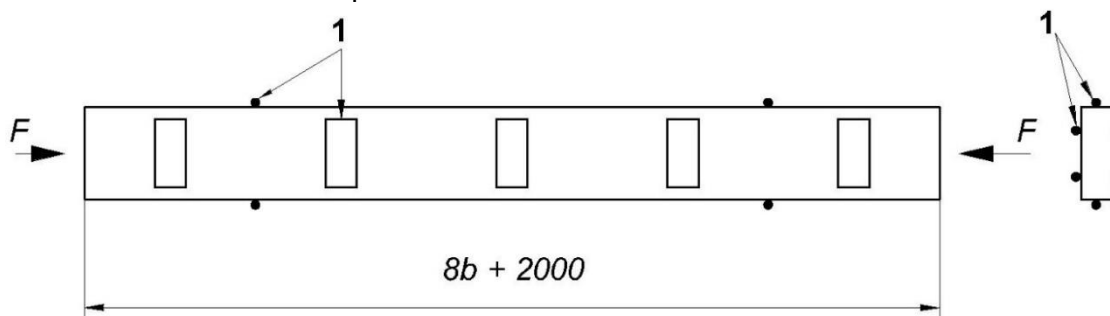


Figura N° 5

ESQUEMA DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS



Figura N° 6
APLICACIÓN ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS EN LME-INFOR

2.3.3.4 Cizalle Paralelo a las Fibras

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

La pieza de madera debe tener una longitud total 8 veces el ancho (b) de la probeta, y una luz de ensayo de 6 veces el ancho (b); siendo sometida a una carga central puntual hasta que se produzca la falla.

En la Figura N° 8 se observa la aplicación de un ensayo de cizalle paralelo.

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

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

Donde:

- f_v : Resistencia al cizalle paralelo a las fibras
- $F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla o carga máxima
- d : Espesor de la pieza de madera
- b : Ancho de la pieza de madera

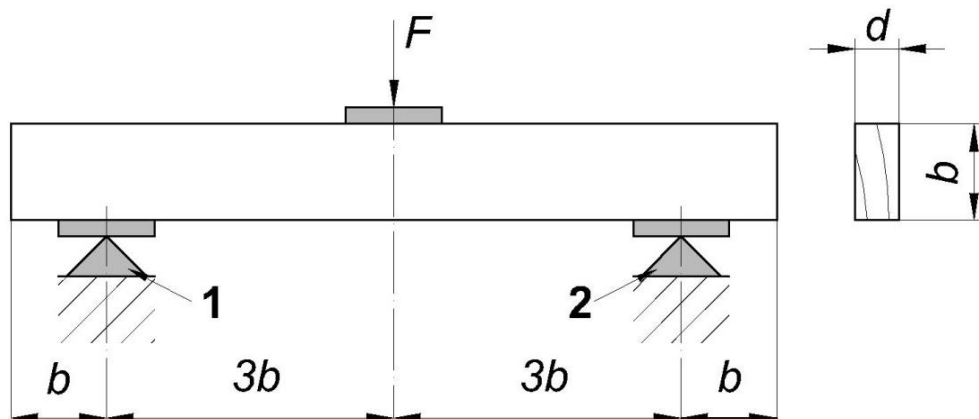


Figura N° 7
ESQUEMA DEL ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO A LAS FIBRAS



Figura N° 8
APLICACIÓN ENSAYO DE RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO A LAS FIBRAS EN LME-INFOR

2.3.3.5 Compresión Normal a las Fibras

El esquema general y la disposición del ensayo de compresión normal a la fibra se presentan en las Figuras N° 9 y N°10, respectivamente.

El ensayo consiste en la aplicación de una fuerza en el centro de la probeta mediante placas de acero de 90 x 50 mm, registrando de manera continua el par carga-deformación durante el ensayo.

Las mediciones de deformación por aplastamiento de las probetas se realizaron mediante un transductor de posición.

La resistencia a la compresión normal obtiene del menor valor de:

$$F_{c,90} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{90d} \text{ y } F_{c,90} = \frac{F_{20}}{90d}$$

Dónde:

$F_{m\acute{a}x}$: Valor de la carga aplicada en la falla (carga máxima).

$F_{c,90}$: Carga a una deformación de 20 mm.

La rigidez a la compresión perpendicular a la fibra $K_{c,90}$, se debe calcular de:

$$K_{c,90} = \frac{\left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right)}{90d}$$

Dónde:

$\frac{\Delta F}{\Delta e}$: Pendiente elástica de la curva carga-deformación.

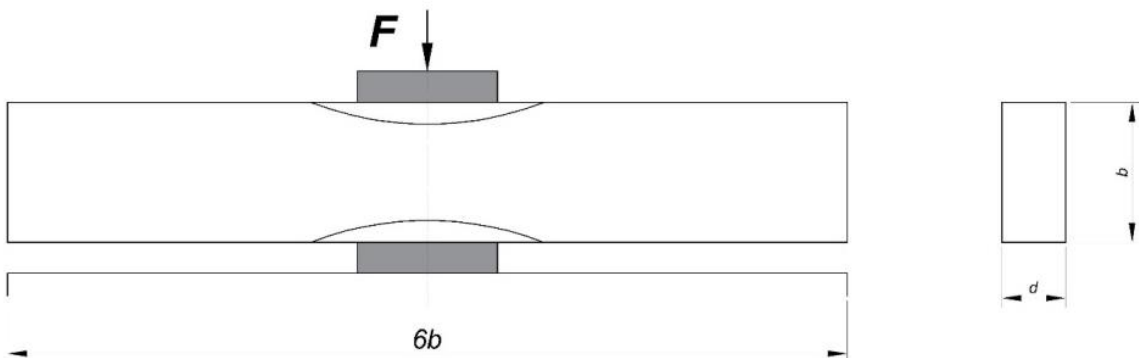


Figura N° 9

ESQUEMA ENSAYO DE COMPRESIÓN NORMAL A LA FIBRA EN NCh 3028/1 (INE, 2006)



Figura N° 10

ENSAYO DE COMPRESIÓN NORMAL A LA FIBRA. EN LME-INFOR.

2.3.4 Densidad

Las probetas para determinar la densidad de las piezas de madera ensayadas deben incluir la sección transversal completa y tener una longitud de por lo menos el ancho de la pieza (b). La masa (m) y el contenido de humedad (H) son medidos para cada probeta de ensayo. La densidad al momento del ensayo (ρ_e) se calcula como sigue:

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

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

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

Donde:

ρ_e : Densidad de ensayo
 ρ_{12} : Densidad al 12% de humedad
d : Espesor de la pieza de madera
b : Ancho de la pieza de madera
L : Largo de la probeta de madera para densidad
H : Humedad de la madera al momento del ensayo

2.3.5 Determinación de los Valores Admisibles

Los valores admisibles para los grados estructurales visuales de pino ponderosa se determinaron según el análisis estadístico y especificaciones de la norma chilena NCh 3028/2 (INN, 2008a): *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*.

Los resultados de los ensayos realizados de acuerdo a la metodología establecida en la norma chilena NCh 3028/1 (INN, 2006) deben ser ajustados a las siguientes condiciones:

- Contenido de humedad único, que generalmente es de un 12%. Las fórmulas de ajuste para el módulo de rotura en flexión, la resistencia a la tracción paralela y la resistencia a la compresión paralela son:

Para valores de módulo de rotura en flexión $\leq 16,6$ MPa; resistencia a la tracción paralela $\leq 21,7$ MPa; y resistencia a la compresión paralela $\leq 9,65$ MPa.

$$P_2 = P_1$$

Para valores de módulo de rotura en flexión $>16,6$ MPa; resistencia a la tracción paralela $> 21,7$ MPa; y resistencia a la compresión paralela $> 9,65$ MPa.

$$P_2 = P_1 + \left\{ \frac{(P_1 - B_1)}{(B_2 - H_1)} \right\} (H_1 - H_2)$$

Donde:

- P_1 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 1
 P_2 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 2
 H_1 : Contenido de humedad 1, expresado en [%]
 H_2 : Contenido de humedad 2, expresado en [%]
 B_1, B_2 : Constantes según Cuadro N° 1

Cuadro N° 1
CONSTANTES PARA EL AJUSTE DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Constantes	Resistencia en Flexión	Resistencia en Tracción Paralela	Resistencia en Compresión Paralela
B_1	16,65	21,72	9,65
B_2	40	80	34

(Fuente: INN, 2008)

La fórmula de ajuste para el módulo de elasticidad en flexión y la resistencia al cizalle paralelo a la fibra es:

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

Donde,

- P_1 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 1
 P_2 : Valor de la propiedad al contenido de humedad 2
 H_1 : Contenido de humedad 1, expresado en [%]
 H_2 : Contenido de humedad 2, expresado en [%]
 B_1, B_2 : Constantes según Cuadro N° 2

Cuadro N° 2
CONSTANTES DE AJUSTE DEL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA ELASTICIDAD EN FLEXIÓN

Constantes	Elasticidad en Flexión	Resistencia al Cizalle Paralelo
B_1	1,857	1,33
B_2	0,0237	0,0167

(Fuente: INN, 2008)

La validez de las fórmulas de ajuste por contenido de humedad se restringe a un rango de 10% a 23%. Para valores inferiores o superiores a los límites, se deben considerar estos últimos en las fórmulas.

Estandarización del módulo de elasticidad, para que refleje las condiciones de uso previstas para el material (relación luz/profundidad y configuración de carga). Para determinar el módulo de elasticidad aparente, se debe resolver la siguiente expresión:

$$E_{ai2} = \frac{1 + K_1 \left(\frac{h_1}{L_1} \right)^2 \left(\frac{E}{G} \right)}{1 + K_2 \left(\frac{h_2}{L_2} \right)^2 \left(\frac{E}{G} \right)} E_{ai1}$$

Donde,

E_{ai2} : Módulo de elasticidad aparente

E_{ai} : Módulo de elasticidad de ensayo

h : Altura de la sección transversal de la viga

L : Distancia total entre los apoyos de la viga

E : Módulo de elasticidad libre del efecto del esfuerzo cortante

G : Módulo de rigidez

K_i : Factor de ajuste del módulo de elasticidad aparente (Cuadro N° 3)

Cuadro N° 3
FACTORES DE AJUSTE PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD APARENTE

Carga	Lugar de Medición de la Deflexión	K_i
Concentrada en la mitad del tramo	Mitad del tramo	1,200
Concentrada en los puntos tercios	Mitad del tramo	0,939
Concentrada en los puntos tercios	Puntos de carga	1,080
Concentrada en los puntos cuartos extremos	Mitad del tramo	0,873
Concentrada en los puntos cuartos extremos	Puntos de carga	1,200
Uniformemente distribuida	Mitad del tramo	0,960

(Fuente: INN, 2008a)

- Ajuste de los datos experimentales mediante factores de reducción, que incluyen factores de seguridad y el efecto de duración acumulada de carga de 10 años según la propiedad considerada (Cuadro N° 4).

Cuadro N° 4
FACTORES DE REDUCCIÓN

Propiedad	Factor
Módulo de elasticidad	1
Módulo de rotura en flexión	1 / 2,1
Resistencia a la tracción	1 / 2,1
Resistencia a la compresión paralela	1 / 1,9
Resistencia al cizalle	1 / 4,1
Resistencia a la compresión normal	1 / 1,67

(Fuente: INN, 2008a)

El método no paramétrico establece que se debe estimar el punto porcentual no paramétrico de la muestra (EPN) mediante interpolación. El proceso se lleva a cabo

ordenando los valores experimentales en forma ascendente y calculando, a partir de la menor resistencia, para cada valor la expresión: $i / (n+1)$, hasta verificar que:

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

Donde:

i : Ordinal del valor
k : Nivel de exclusión o percentil considerado
n : Tamaño de la muestra

Al valor correspondiente al percentil considerado se le asignará el ordinal “j”, interpolándose el estimador porcentual de punto no paramétrico mediante la expresión:

$$EPN = \left[\frac{k}{100} (n+1) - (j-1) \right] [x_j - x_{(j-1)}] + x_{(j-1)}$$

Para el caso del módulo de elasticidad y compresión normal a las fibras, se debe tomar el valor promedio de la muestra.

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Clasificación Visual Estructural

La clasificación visual estructural de la madera seca y cepillada se aplicó a 3.017 piezas, equivalentes a 15½ paquetes de madera, escuadría 2x4 (41x90 mm), obteniendo 57 piezas del grado GS, 281 del grado G1, y 721 del grado G2.

2.4.2 Ensayos Físicos Y Mecánicos

Las 560 piezas clasificadas en los grados G1 y G2, según norma NCh 1207 (INN, 2005), se utilizaron para realizar los ensayos físicos y mecánicos según la distribución que se indica en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5
CANTIDAD DE PIEZAS POR TIPO DE ENSAYO SEGÚN NCH 1207

Tipo de ensayo	Grado G1	Grado G2	Total
Flexión	70	70	140
Tracción paralela	70	70	140
Compresión paralela	70	70	140
Cizalle paralelo	70	70	140
Compresión normal*	60		60

(*) En compresión normal se utilizaron probetas libres de defectos, sin grado estructural (G1, G2)

En los Cuadro N° 6 a N° 12 se muestra la estadística descriptiva de los resultados de los ensayos de resistencia en flexión, rigidez en flexión, resistencia a la tracción paralela, resistencia a la compresión paralela y resistencia al cizalle paralelo.

En todas las propiedades se observa una tendencia clara de una mayor resistencia o rigidez promedio al mejorar la calidad del grado estructural bajo norma NCh 1970/1 (INN, 1970).

Para el caso de la resistencia en flexión se observaron valores promedio que fluctuaron entre 26,8 MPa y 21,4 MPa, con variaciones entre 41,9% y 55,2% (Cuadro N° 6).

La rigidez en flexión presentó valores promedio entre 5.056 MPa y 5.042 MPa, con variaciones de 23,6% y 29% (Cuadro N° 7).

La resistencia a la tracción paralela presentó promedios entre 14,0 MPa y 9,8 MPa, con coeficientes de variación de 35,3% y 38,9% respectivamente (Cuadro N° 8).

La resistencia a la compresión paralela obtuvo valores promedio entre 14,1 MPa y 12,3 MPa, con variaciones entre 23,5% y 17,9%, respectivamente (Cuadro N° 9).

La resistencia al cizalle paralelo presentó promedios entre 2,5 MPa y 2,0 MPa, con variaciones entre 32,3% y 41,1%, respectivamente (Cuadro N° 10).

La resistencia a la compresión normal a la fibra presentó un promedio de 7,0 MPa y una variación de un 20% (Cuadro N° 11).

Finalmente el índice de aplastamiento de la fibra registró un promedio de 2,9 MPa/mm y una variación de un 42% (Cuadro N° 12).

En cuanto a la densidad, los valores obtenidos ajustados al 12% de humedad se registran en el Cuadro N° 13. Se registra una densidad promedio de 389,9 kg/m³, con un coeficiente de variación de 8,91%.

En relación a los tipos de falla, el ensayo de flexión evidencia fallas típicas por tracción en las fibras inferiores de las vigas y compresión en las fibras sobre el eje neutro (Figura N° 11).

En los ensayos de tracción paralela se observan fallas por desgarramiento de fibras (Figura N° 12).

En los ensayos de compresión paralela se observa la aparición de “costras” en la madera producto del esfuerzo o rotura total por presencia de nudos (Figura N° 13).

En los ensayos de cizalle paralelo se observa la falla inducida por corte paralelo a las fibras de la madera y por la presencia de nudos (Figura N° 14).

Finalmente en los ensayos de compresión normal, la falla característica se produce por aplastamiento de la fibra (Figura N° 15).

Una vez alcanzada la resistencia máxima, la madera se deforma progresivamente en la zona cargada para pequeños o nulos incrementos de carga.

Cuadro N° 6
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN, POR GRADO ESTRUCTURAL, 12% DE HUMEDAD

Descripción	MORf, 12% Grado G1 NCh 1207	MORf, 12% Grado G2 NCh 1207
Promedio [MPa]	26,8	21,4
Valor mínimo [MPa]	9,8	3,1
Valor máximo [MPa]	55,1	56,9
Rango [MPa]	45,2	53,8
Desviación estándar [MPa]	11,2	11,8
Tamaño muestra	70	70
Valor percentil 5 [MPa]	11,4	7,1
Factor de seguridad + duración carga	2,1	2,1
Tensión Admisible	5,4	3,4
Coefficiente de variación	41,9%	55,2%

Cuadro N° 7
RIGIDEZ EN FLEXIÓN POR GRADO ESTRUCTURAL 12% DE HUMEDAD

Descripción	Ef, 12% Grado G1 NCh 1207	Ef, 12% Grado G2 NCh 1207
Promedio [MPa]	5.055,9	5.042,4
Valor mínimo [MPa]	2.981,0	2.511,6
Valor máximo [MPa]	8.161,7	11.079,4
Rango [MPa]	5.180,7	8.567,9
Desviación estándar [MPa]	1.193,4	1.462,5
Coefficiente de variación	23,6%	29,0%

Cuadro N° 8
RESISTENCIA EN TRACCIÓN PARALELA POR GRADO ESTRUCTURAL 12% DE HUMEDAD

Descripción	Rtp, 12% Grado G1 NCh 1207	Rtp, 12% Grado G2 NCh 1207
Promedio [MPa]	14,0	9,8
Valor mínimo [MPa]	6,0	0,4
Valor máximo [MPa]	31,2	18,4
Rango [MPa]	25,2	17,9
Desviación estándar [MPa]	4,9	3,8
Tamaño muestra	70	70
Valor percentil 5 [MPa]	7,8	4,5
Factor de seguridad + duración carga	2,1	2,1
Tensión admisible	3,7	2,2
Coefficiente de variación	35,3%	38,9%

Cuadro N° 9
RESISTENCIA EN COMPRESIÓN PARALELA POR GRADO ESTRUCTURAL 12% DE HUMEDAD

Descripción	Rcp, 12% Grado G1 NCh 1207	Rcp, 12% Grado G2 NCh 1207
Promedio [MPa]	14,1	12,3
Valor mínimo [MPa]	1,8	1,3
Valor máximo [MPa]	25,0	15,5
Rango [MPa]	23,2	14,2
Desviación estándar [MPa]	3,3	2,2
Tamaño muestra	70	70
Valor percentil 5 [MPa]	11,0	10,1
Factor de seguridad + duración carga	1,9	1,9
Tensión admisible	5,8	5,3
Coefficiente de variación	23,5%	17,9%

Cuadro N° 10
RESISTENCIA AL CIZALLE PARALELO POR GRADO ESTRUCTURAL 12% DE HUMEDAD

Descripción	Rcz, 12% Grado G1 NCh 1207	Rcz, 12% Grado G2 NCh 1207
Promedio [MPa]	2,5	2,0
Valor mínimo [MPa]	0,9	0,5
Valor máximo [MPa]	4,4	3,9
Rango [MPa]	3,4	3,4
Desviación estándar [MPa]	0,8	0,8
Tamaño muestra	70	70
Valor percentil 5 [MPa]	1,1	0,6
Factor de seguridad + duración carga	4,1	4,1
Tensión admisible	0,26	0,15
Coefficiente de variación	32,3%	41,1%

Cuadro N° 11
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NORMAL A LA FIBRA

Descripción	Fcn 12%
Promedio [MPa]	7,0
Valor mínimo [MPa]	4,6
Valor máximo [MPa]	10,5
Rango [MPa]	5,8
Desviación estándar [MPa]	1,41
Tamaño de muestra	60
Valor percentil 5 [MPa]	5,0
Factor seguridad + duración carga	1,67
Tensión admisible	3,0
Coefficiente de variación (%)	20

Cuadro N° 12
ÍNDICE DE APLASTAMIENTO

Descripción	Índice Aplastamiento
Promedio [MPa/mm]	2,9
Valor mínimo [MPa/mm]	1,36
Valor máximo [MPa/mm]	6,70
Rango [MPa/mm]	5,34
Desviación estándar [MPa/mm]	1,22
Tamaño muestra	60
Coefficiente de variación [%]	42%

Cuadro N° 13
DENSIDAD DE REFERENCIA AL 12% DE HUMEDAD POR GRADO ESTRUCTURAL

Descripción	Densidad 12% NCh 1207
Promedio [Kg/m ³]	389,6
Valor mínimo [Kg/m ³]	314,4
Valor máximo [Kg/m ³]	535,2
Rango [Kg/m ³]	220,8
Desviación estándar [Kg/m ³]	34,7
Tamaño de muestra	560
Valor percentil 5% [Kg/m ³]	339,5
Coefficiente de variación %	8,9



Figura N° 11
FALLA TÍPICA POR FLEXIÓN



Figura N° 12
FALLA TÍPICA DE TRACCIÓN



Figura N° 13
FALLA DE COMPRESIÓN INDUCIDA POR LA
PRESENCIA DE NUDOS



Figura N° 14
FALLA TÍPICA POR CIZALLE INFLUENCIADA
POR LA PRESENCIA DE NUDOS



(Fuente: LME-INFOR)

Figura N° 15
FALLA TÍPICA POR COMPRESIÓN NORMAL

2.4.3 Valores Admisibles

En el Cuadro N° 14 se presentan los resultados del análisis estadístico para la determinación de las tensiones admisibles de la madera. Se observa una resistencia menor que las tensiones admisibles del pino radiata (Cuadro N° 15). Además, se aprecia una disminución importante del módulo de elasticidad en flexión. Lo anterior implica que los diseños de elementos sometidos a este tipo de solicitación, tienen una mayor probabilidad de estar condicionados por deformaciones antes que por capacidad de carga.

Cuadro N° 14
VALORES ADMISIBLES DE LOS GRADOS G1 Y G2 PARA MADERA DE PINO PONDEROSA

Grado Estructural	Tensiones Admisibles (MPa)					Módulo de Elasticidad en Flexión E_f (MPa)	Índice Aplastamiento Compresión Normal [MPa/mm]
	Flexión F_f	Compresión Paralela F_{cp}	Compresión Normal F_{cn}	Tracción Paralela F_{tp}	Cizalle F_{cz}		
G1	5,4	5,8	3,0	3,7	0,26	5.056	2,9
G2	3,4	5,3	3,0	2,2	0,15	5.042	2,9

Cuadro N° 15
TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA (NCh 1198 INN, 2014)

Grado Estructural	Tensiones Admisibles (MPa)					Módulo de Elasticidad en Flexión E_f (MPa)	Índice Aplastamiento Compresión Normal [MPa/mm]
	Flexión F_f	Compresión Paralela F_{cp}	Compresión Normal F_{cn}	Tracción Paralela F_{tp}	Cizalle F_{cz}		
GS	11,0	8,5	2,5	6,0	1,1	10.500	5,65
G1	7,5	7,5	2,5	5,0	1,1	10.000	5,65
G1 y mejor	9,5	7,8	2,5	5,5	1,1	10.100	5,65
G2	5,4	6,5	2,5	4,0	1,1	8.900	5,65

2.5 CONCLUSIONES

Los ensayos mecánicos evidenciaron que las propiedades de resistencia y rigidez aumentaron al mejorar la calidad estructural de la madera de pino ponderosa. Además, se evidenciaron tipos de falla típicas en los ensayos de flexión y tracción paralela a la fibra, mientras que en los ensayos de compresión paralela a la fibra y cizalle las fallas fueron influenciadas por la presencia de nudos en la madera.

Los valores admisibles de resistencia y rigidez de los grados estructurales visuales de pino ponderosa, según norma NCh 1207 (INN, 2005), son inferiores a los grados visuales de pino radiata, según esta misma normativa de clasificación.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS

Luis Vásquez, Raúl Campos,
Jorge Catalán y Patricio Elgueta

3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las propiedades mecánicas de 2 tipologías de muros fabricados con madera aserrada de pino ponderosa de Aysén.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la resistencia en carga vertical de 2 tipologías de muros, según NCh 801 (INN, 2003c).

Determinar la capacidad de carga horizontal de 2 tipologías de muros, según NCh 802 (INN, 2003d).

Determinar la resistencia en flexión de 2 tipologías de muros, según NCh 803 (INN, 2003e).

Determinar la resistencia al impacto de 2 tipologías de muros, según NCh 804 (INN, 2003f).

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Tipologías de Muros con Estructura de Madera

Todos los ensayos mecánicos de los muros de madera se realizaron en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR).

Los equipos utilizados en la ejecución de los ensayos se encuentran incorporados en el sistema de gestión del Laboratorio, acreditado bajo norma NCh-ISO 17025 (INN, 2005a).

Se sometió a ensayos de carga vertical, horizontal, flexión, e impacto a 2 tipologías de muros. La descripción de cada una de ellas se presenta en el Cuadro N° 1.

Las dimensiones de los muros ensayados fueron de 1,22 x 2,44 m, considerando 3 y 4 pie derechos para las tipologías M2x4 y M2x3, respectivamente.

Todos los muros fueron anclados a una losa de fundación con herraje marca Simpson Strong-Tie modelo HTT4.

Cuadro N° 1
TIPOLOGÍAS DE MUROS DE MADERA SOMETIDOS A ENSAYOS DE CARGA HORIZONTAL

Tipología	Estructura	Placa de Arriostre	Espaciamiento
M2x3	Madera 2x3" pino ponderosa estructural G2, cepillada, seca en cámara y pie derechos separados 406 mm a eje uno de otro.	Placa de OSB de 9,5 mm de espesor la zona interior.	Clavos helicoidales de 2", espaciados a 150 mm en el perímetro y 300 mm en el interior.
M2x4	Madera 2x4" pino ponderosa estructural G2, cepillada, seca en cámara y pie derechos separados 610 mm a eje uno de otro.	Placa de OSB de 9,5 mm de espesor la zona interior.	Clavos helicoidales de 2", espaciados a 150 mm en el perímetro y 300 mm en el interior.

3.3.2 Metodología de Ensayo de Carga Vertical

El método de ensayo aplicado es el descrito en la norma chilena NCh 801 (INN, 2003c): Elementos de construcción – Paneles – Ensayo de compresión; con las consideraciones indicadas a continuación. La implementación y aplicación del ensayo se muestra en la Figura N° 1.

- Por cada tipología se evaluaron 5 probetas.
- La primera probeta de cada tipología fue ensayada en régimen monotónico de manera continua hasta la falla.
- Las 4 probetas restantes fueron ensayadas realizando incrementos discretos registrando la deformación residual de cada uno de ellos.



Figura N° 1
APLICACIÓN ENSAYO CARGA VERTICAL EN LME-INFOR

3.3.3 Metodología de Ensayo a Carga Horizontal

El método de ensayo aplicado está descrito en la norma chilena NCh 802 (INN, 2003d): Arquitectura y construcción – Paneles prefabricados – Ensayo de carga horizontal; que señala las siguientes consideraciones:

- La restricción horizontal y vertical inferior de los muros se generó a través del anclaje a una viga de fundación.
- Por cada tipología de muro se ensayaron 5 probetas.
- A la primera probeta de cada tipología se le aplicó una carga monotónica hasta la falla, que permite determinar los incrementos de los ciclos de carga en los siguientes ensayos.
- A las cuatro probetas restantes de cada tipología de muro se le aplicaron cargas cíclicas, con un mínimo de 5 incrementos discretos de carga.
- Se registró la deformación bajo carga y la deformación residual permanente que experimentaron los muros una vez retirada la carga, además de la carga de rotura.

La implementación del ensayo se muestra en la Figura N° 2.



Figura N° 2
APLICACIÓN ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL EN LME-INFOR

3.3.4 Metodología de Ensayo de Flexión

El método de ensayo empleado es el descrito en la norma chilena NCh 803 (INN, 2003e): Elementos de construcción – Paneles – Ensayos de flexión; bajo las siguientes consideraciones:

- La carga se aplicó realizando incrementos discretos y se registraron los desplazamientos verticales residuales para cada uno de ellos.
- Todas las tipologías se ensayaron a flexión tanto en su cara superior como inferior.

La implementación y aplicación del ensayo se muestra en la Figura N° 3.

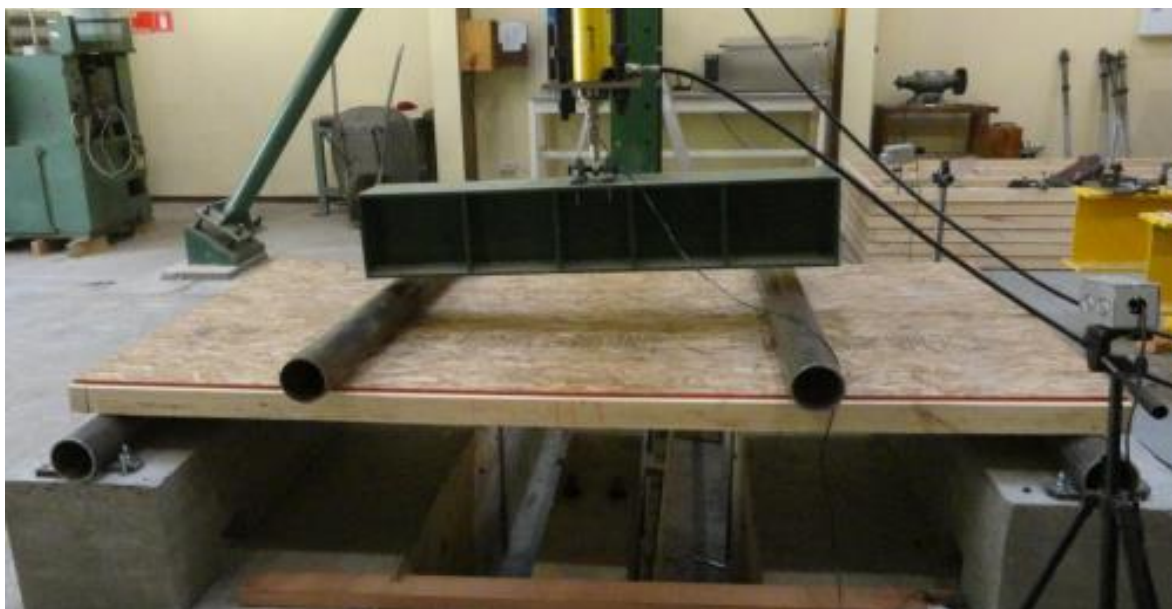


Figura N° 3
IMPLEMENTACIÓN ENSAYO FLEXIÓN EN LME-INFOR

3.3.5 Metodología de Ensayo de Impacto

El método de ensayo empleado es el descrito en la norma chilena NCh 804 (INN, 2003f): Elementos de construcción – Paneles – ensayo de impacto; con las siguientes consideraciones:

- Cada una de las tipologías fue ensayada a impacto en sus dos caras.
- Se evalúa la resistencia al nivel mínimo de energía normativo de 250 J.
- Se utilizó un saco de impacto para aplicar la sollicitación de un peso de 35 kg.
- La energía de impacto varió en incrementos de 15 cm de altura del saco hasta alcanzar los 90 cm.

La implementación del ensayo se muestra en la Figura N° 4.



Figura N° 4
APLICACIÓN ENSAYO IMPACTO EN CARA FRONTAL (OSB) Y POSTERIOR EN LME-INFOR

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Ensayo de Carga Lateral en Muros con Estructura de Madera

Los resultados de los ensayos de carga lateral monotónicos se presentan en el LA Figura N° 5. Se observa que los muros materializados con pies derechos de escuadría 2x3" y 2x4" alcanzaron cargas máximas similares de 10.736 (N) y 10.274 (N), respectivamente.

En el Cuadro N° 2, se presenta un resumen con las cargas máximas registradas para cada ensayo para las 2 tipologías de muros. Siguiendo la tendencia de los ensayos monotónicos, se aprecia que en promedio ambas tipologías alcanzaron cargas similares, lo cual se atribuye a que la influencia de la escuadría de pies derechos no es relevante en cuanto a la capacidad a carga lateral de muros.

Si bien la cantidad de uniones placa-madera es mayor en la tipología M2x3, debido a la existencia de un pie derecho adicional en la tipología M2x4, son las uniones perimetrales las que contribuyen en la resistencia a carga lateral y como ambas tienen la misma configuración de clavado, los resultados no presentaron variaciones importantes.

Para obtener información de las deformaciones permanentes experimentadas por los muros, las probetas 2 a 5 de cada tipología fueron sometidas a ensayos del tipo cíclico con incrementos discretos de 1500 (N).

Los resultados se presentan en las Figuras N° 6 y N° 7, donde se muestran las curvas promedio de las deformaciones bajo carga y residuales. Ambas tipologías presentaron un comportamiento similar y se registraron deformaciones residuales aún para la fase temprana de carga.

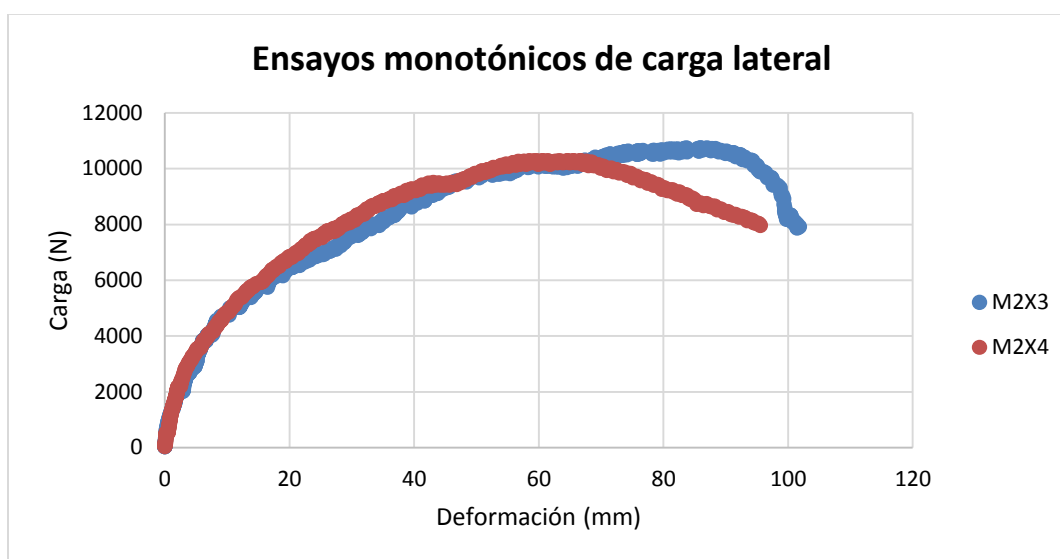


Figura N° 5
RESULTADOS ENSAYOS MONOTÓNICOS MUROS TIPOLOGÍA M2X3 Y M2X4

Cuadro N° 2
CARGAS MÁXIMAS REGISTRADAS DE LOS ENSAYOS DE CARGA LATERAL DE MUROS

Ensayo (N°)	M2x3 Carga Máx. (N/m)	M2x4 Carga Máx. (N/m)
1	10.736	10.274
2	9.227	12.319
3	9.713	7.669
4	8.594	9.324
5	7.863	9.519
Promedio	9.227	9.821
Desviación Estándar	1.093	1.689
Coefficiente de Variación	11,8%	17,2%

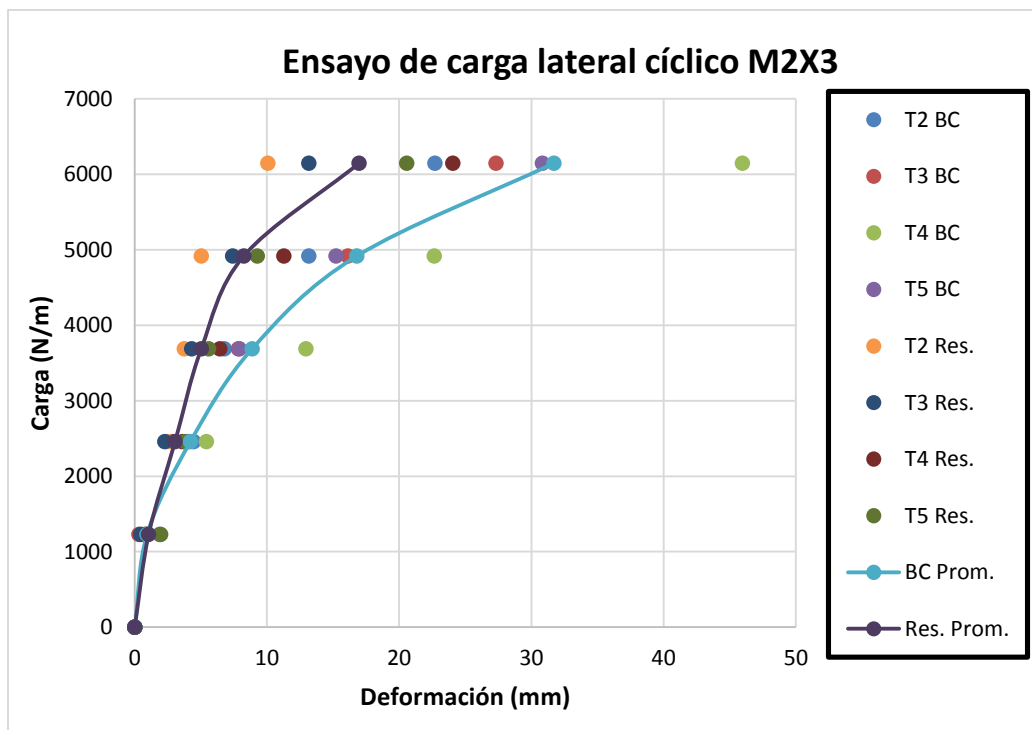


Figura N° 6
RESULTADOS ENSAYOS DE CARGA LATERAL CÍCLICOS A MUROS DE TIPOLOGÍA M2X3

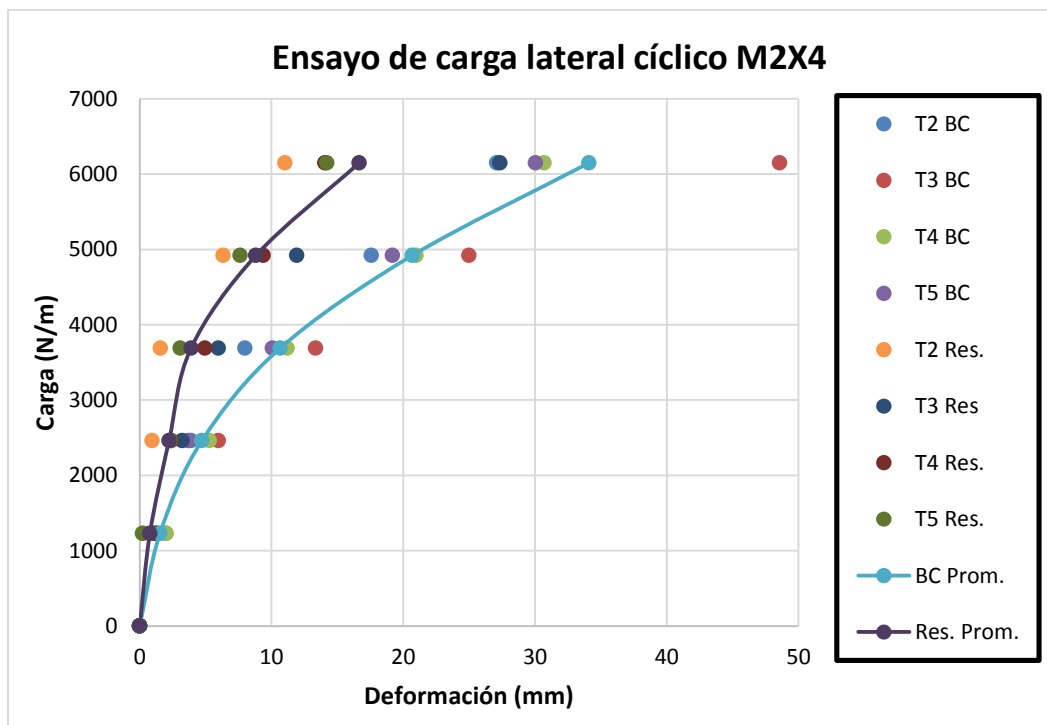


Figura N° 7
RESULTADOS ENSAYOS DE CARGA LATERAL CÍCLICOS A MUROS DE TIPOLOGÍA M2X4

En la Figura N° 8 se observan los modos de falla característicos de las tipologías de muros. La falla se concentra en el borde inferior susceptible al levantamiento del pie derecho traccionado. Esta falla característica responde a la siguiente secuencia: desclavado parcial del pie derecho-solera inferior; plastificación, aplastamiento y desgarramiento en zona de clavado unión OSB-madera.

Debido a que el muro se encuentra anclado en la base no se observaron fallas en el sistema de conexión muro-fundación, por lo que esta solución constructiva demuestra ser competente para fines estructurales.



Figura N° 8
FALLAS CARACTERÍSTICAS DE MUROS SOMETIDOS A CARGA LATERAL EN LME-INFOR

3.4.2 Ensayo de Impacto en Muros con Estructura de Madera

Los resultados del ensayo de impacto se presentan en los Cuadros N° 3 y N° 4 para muros materializados con madera de pino ponderosa de tipologías M2X3 y M2X4, respectivamente. En ella se muestran las deformaciones instantáneas de cada muro ensayado para el nivel de energía respectivo al que fue solicitado. Además se registran aquellos muros que presentaron algún tipo de desperfecto para el nivel de energía correspondiente.

La importancia de este ensayo es garantizar que el muro es capaz de resistir un nivel de energía solicitante mínimo, definido por normativa en 250 J, con el fin de determinar si es apto para ser utilizado en una estructura y resistir solicitaciones de impacto accidentales.

De los 12 muros ensayados, ninguno presentó un cambio en su estructura para el nivel mínimo de energía de impacto y 3 presentaron falla para el nivel de energía siguiente (310 J). Estos desperfectos corresponden principalmente a una falla en el pie derecho central. Esto se debe al impacto directo en este elemento y a la presencia de nudos en la misma zona de impacto, o bien a una falla parcial de extracción directa de la unión placa madera, como ilustra la Figura N° 9. El resto de los muros superaron el nivel máximo de energía del ensayo sin problemas (310 J).

Cuadro N° 3
RESULTADOS ENSAYO DE IMPACTO MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA ESCUADRÍA 2X3

Energía (J)	Deformación Instantánea Cara Frontal (mm)			Deformación Instantánea Cara Posterior (mm)		
	M2X3 (1)	M2X3 (2)	M2X3 (3)	M2X3 (1)	M2X3 (2)	M2X3 (3)
52	14,6	19,0	18,9	17,6	20	15,8
103	31,2	30,0	32,2	34,5	34,1	31,5
155	40,1	39,7	46,4	40,7	42,2	39,6
206	45,2	46,7	52,0	48,8	51,3	46,4
258	54,6	53,3	59,1	54,2	57,4	52,5
310	58,2	55,5	Falla	59,7	65,2	Falla

Cuadro N° 4
RESULTADOS ENSAYO DE IMPACTO MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA ESCUADRÍA 2X4

Energía (J)	Deformación Instantánea Cara frontal (mm)			Deformación Instantánea Cara Posterior (mm)		
	M2X4 (1)	M2X4 (2)	M2X4 (3)	M2X4 (1)	M2X4 (2)	M2X4(3)
52	18,0	16,0	15,0	20,1	14,3	17,0
103	32,0	28,0	26,7	32,4	30,4	27,0
155	37,0	38,0	37,6	40,1	37,9	33,0
206	44,0	45,0	45,3	44,1	40	39,0
258	49,0	56,0	61,8	47,1	46,3	44,0
310	57,0	59,0	Falla	48,5	51,5	47,0



Figura N° 9
FALLAS TÍPICAS PRESENTADAS EN ENSAYO DE IMPACTO EN LME-INFOR

3.4.3 Ensayo de Carga Vertical de Muros con Estructura de Madera

Los resultados de la carga en compresión máxima alcanzada por las tipologías ensayadas se muestran en el Cuadro N° 5, en el cual se observa que la resistencia de la tipología conformada por madera de escuadría 2x3" resultó ser en promedio de 45.662 (N). En el caso de la escuadría materializada con piezas de escuadría 2x4", esta alcanzó valores de resistencia en promedio de 82.590 (N).

Esta diferencia significativa entre las tipologías puede ser visualizada gráficamente en la Figura N° 10, en la cual se exponen los resultados de los ensayos monotónicos realizados.

Los resultados correspondientes a las deformaciones bajo carga y residuales de las tipologías M2X3 y M2x4 se presentan en las Figuras N° 11 y N° 12, respectivamente. En ellas se observa claramente que los niveles de deformación experimentados por muros sometidos a carga vertical son bajos (inferiores a un centímetro). Esto indica que existe una gran rigidez de los muros a este tipo de solicitaciones.

Cuadro N° 5
CARGAS MÁXIMAS VERTICALES PARA MUROS DE MADERA ENSAYADOS

Ensayo (N°)	Carga Máxima Vertical (N)	
	M2X3	M2X4
1	39.785	83.989
2	51.847	86.786
3	42.263	77.171
4	46.142	92.030
5	48.274	72.975
Promedio	45.662	82.590
Desviación Estándar	4.780	7.591
Coeficiente de variación	10,5%	9,2%

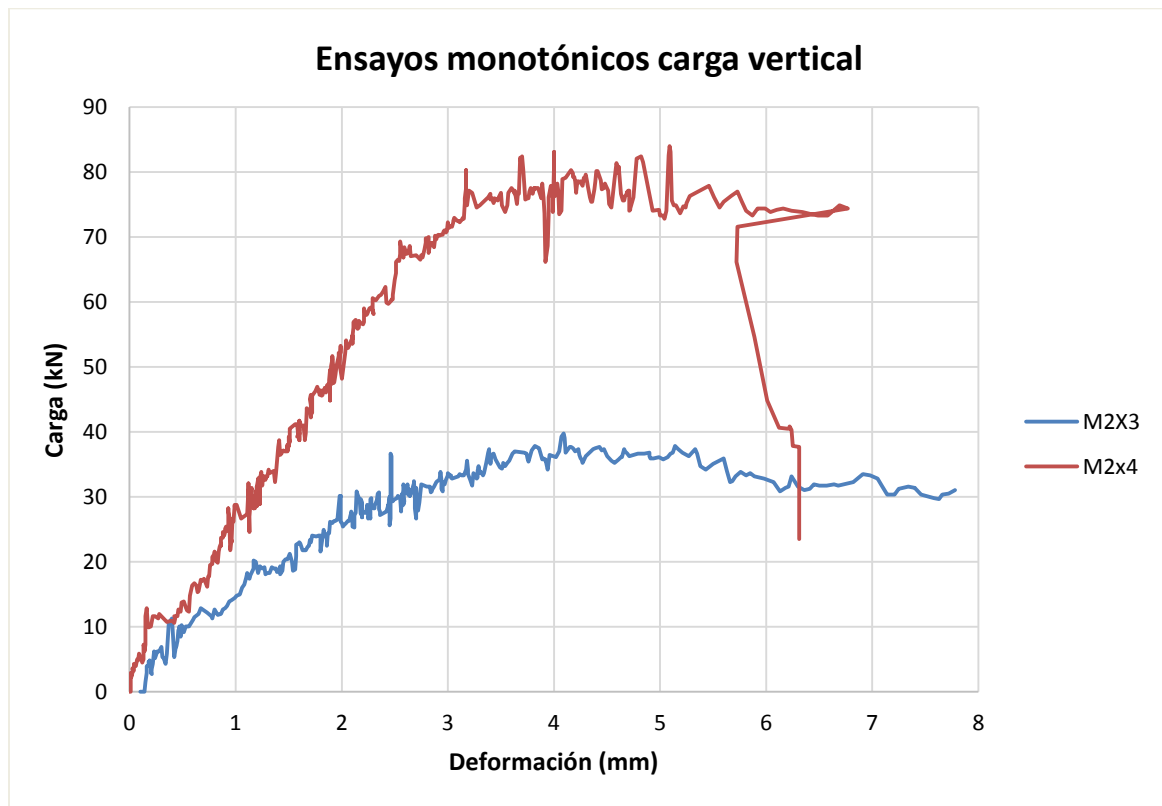


Figura N° 10
CARGA VERTICAL-DEFORMACIÓN MONOTÓNICO MUROS TIPOLOGÍA M2X3 Y M2X4

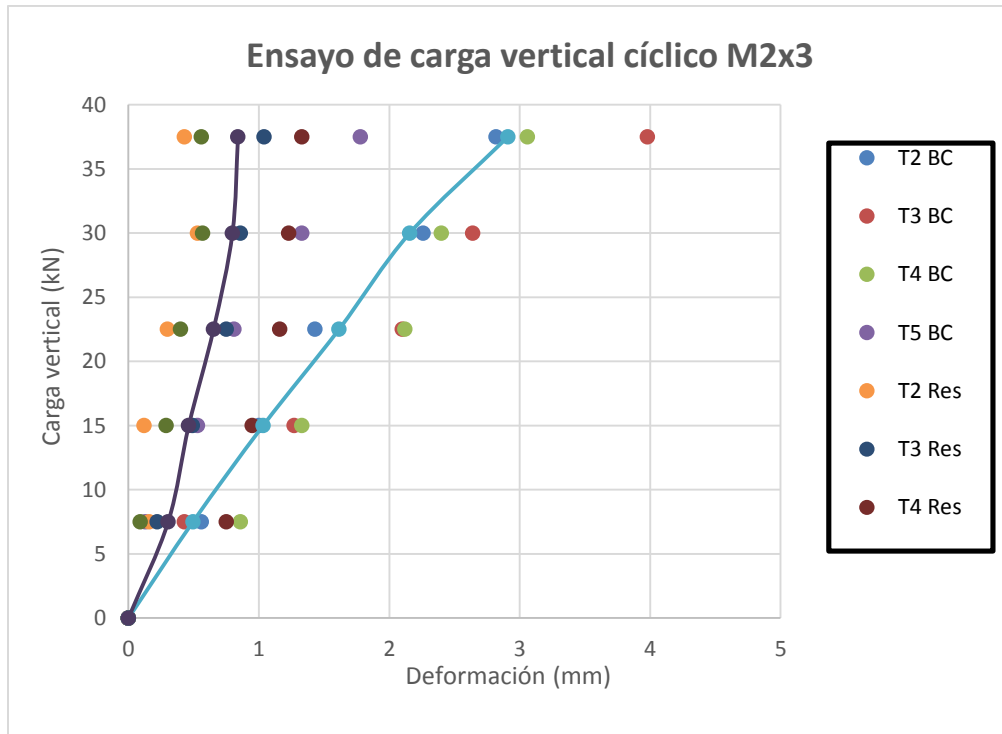


Figura N° 11
CARGA VERTICAL-DEFORMACIÓN CÍCLICO DE MUROS TIPOLOGÍA M2X3

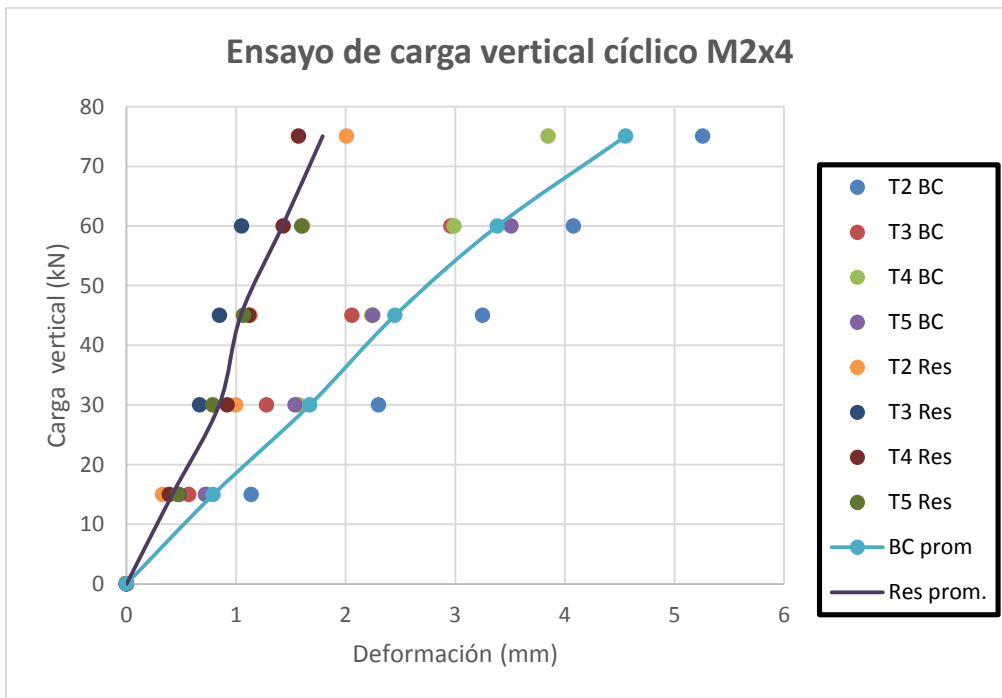


Figura N° 12
CARGA VERTICAL-DEFORMACIÓN CÍCLICO DE MUROS TIPOLOGÍA M2X4

El mecanismo de falla de muros a carga vertical se presenta en la Figura N° 13. La falla se produjo en torno al eje fuerte de los pies derechos (fuera del plano del panel), debido a que el pandeo en el eje débil es restringido completamente por la placa estructural de OSB de 9,5 mm. Además, se observó que la falla se acelera debido a la presencia de nudos en los pies derechos.



Figura N° 13
FALLAS CARACTERÍSTICAS ENSAYOS DE CARGA VERTICAL DE MUROS ESTRUCTURALES
EN LME-INFOR

3.4.4 Ensayo de Flexión en Muros con Estructura de Madera

Los resultados de cargas máximas de muros sometidos a flexión superior e inferior se muestran en el Cuadro N° 6. Es posible observar que la capacidad de los muros aumenta entre un 15,6 y un 30,9% para flexión inferior y superior, respectivamente, para una escuadría mayor, ya que esto incrementa la capacidad en flexión de los pies derechos. Además, para las escuadrías 2x3 y 2x4 la capacidad en flexión inferior fue de un 9,5 y 24,2% respectivamente, superior a la de flexión inferior.

Respecto de las deformaciones, se registraron estas bajo carga y residuales para cada incremento discreto que permiten construir las curvas de deformaciones promedio mostradas en las Figuras N° 14 y N° 17, en las cuales se aprecia que las deformaciones residuales se presentan para bajos niveles de carga, sin embargo, las deformaciones no crecen de manera excesiva y se puede esperar que su magnitud sea en promedio menor o igual a 1 cm para los niveles de carga más próximos a la falla.

Cuadro N° 6
RESULTADOS CARGAS MÁXIMAS EN FLEXIÓN PARA MUROS DE TIPOLOGÍA M2X3 Y M2X4

Ensayo (N°)	Carga Máx. M2x3 (Inferior) (N)	Carga Máx. M2x3 (Superior) (N)	Carga Máx. M2x4 (Inferior) (N)	Carga Máx. M2x4 (Superior) (N)
1	8.234	6.884	11.446	13.988
2	9.111	11.938	13.580	7.103
3	9.416	5.606	10.017	7.135
Promedio	8.920	8.143	11.681	9.409
Desviación estándar	613	3.348	1793	3.966
Coefficiente de variación	6,9%	41,1%	15,4%	42,2%

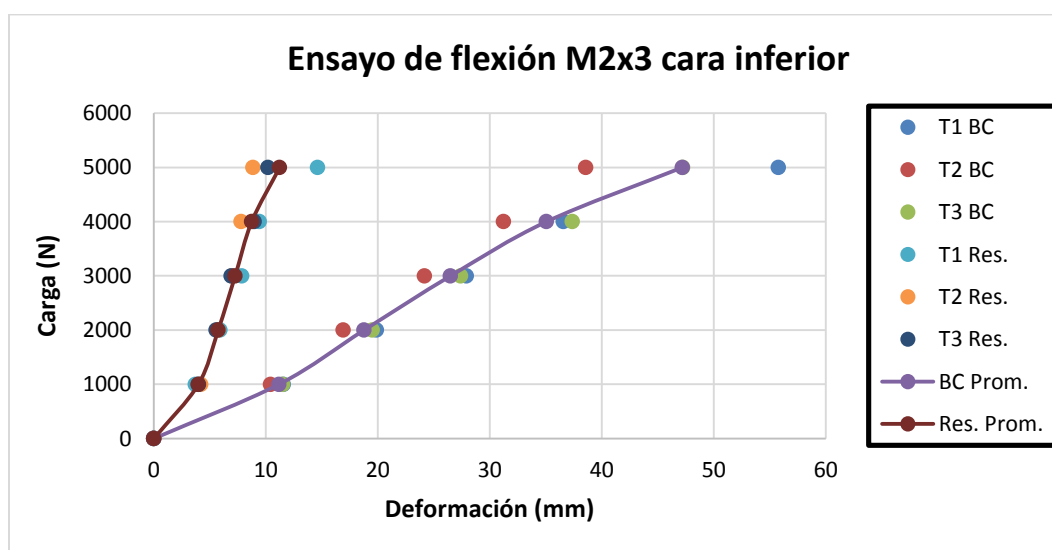


Figura N° 14
CARGA-DEFORMACIÓN CÍCLICO MUROS TIPOLOGÍA M2X3 CARA INFERIOR

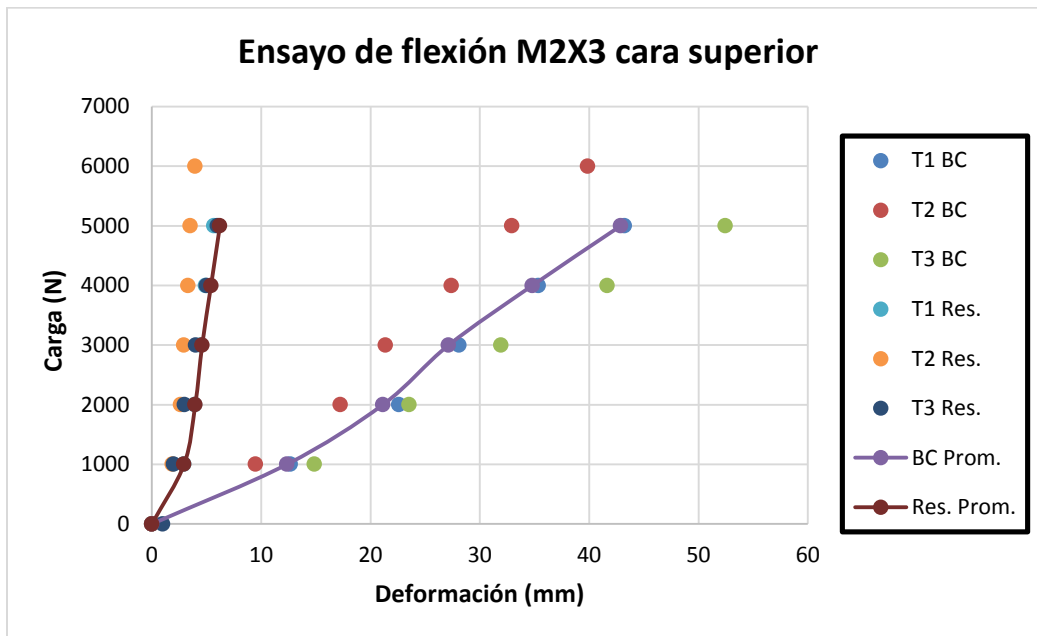


Figura N° 15
CARGA-DEFORMACIÓN CÍCLICO MUROS TIPOLOGÍA M2X4 CARA SUPERIOR

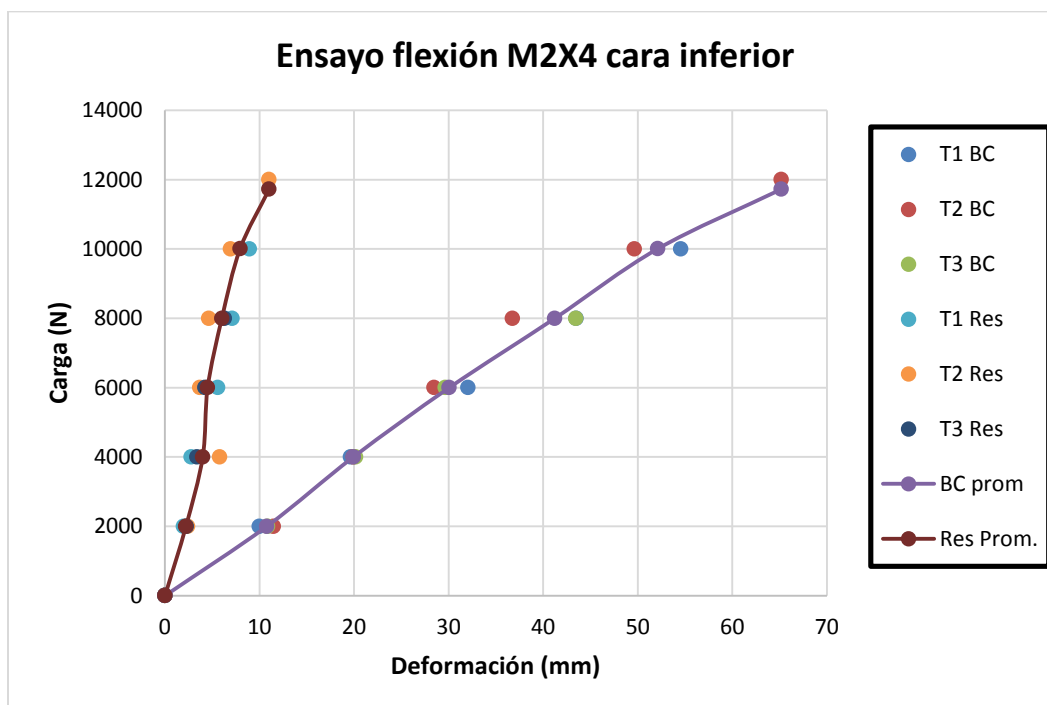


Figura N° 16
CARGA-DEFORMACIÓN CÍCLICO MUROS TIPOLOGÍA M2X4 CARA INFERIOR

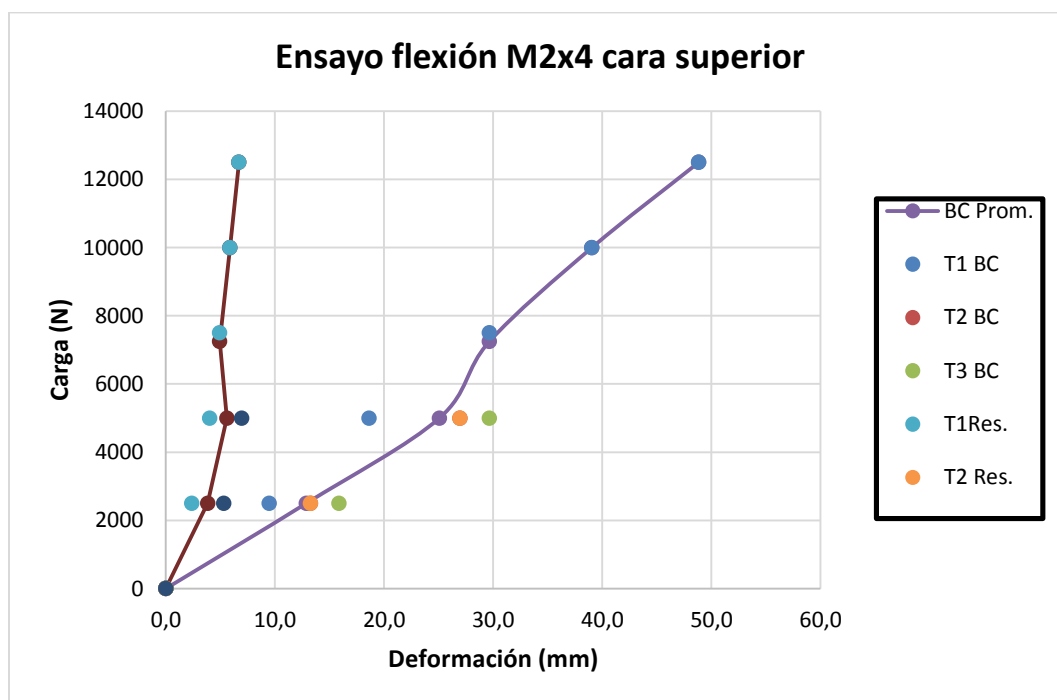


Figura N° 17
CARGA-DEFORMACIÓN CÍCLICO MUROS TIPOLOGÍA M2X4 CARA SUPERIOR

Las fallas características de los muros ensayados a flexión en la cara superior e inferior, se presentan en las Figuras N° 18 y N° 19, respectivamente.

La falla del muro se concentra en la cara inferior, susceptible a tracción por flexión.

Esta falla característica responde a la siguiente secuencia: Falla por flexión de la placa OSB, falla por flexo-tracción del pie derecho.

Además, se observa como la placa OSB ubicada en la cara inferior retarda la falla por flexo-tracción de los pies derechos.

El modo de falla característica de las tipologías de muro con placa OSB ubicada en la cara superior, se concentra en la cara inferior susceptible a la falla por flexión.

La falla característica responde a la rotura por flexo-tracción del pie derecho, la cual se ve acelerada por la eventual presencia de nudos y desviación de la fibra en la madera.

Además, se aprecia que la placa OSB actúa solamente como un elemento que impide el volcamiento en toda la longitud de los pies derechos.



Figura N° 18
FALLA ENSAYO DE FLEXIÓN EN MUROS. CARGA APLICADA EN LA CARA ARRIOSTRANTE
EN LME-INFOR



Figura N° 19
FALLA ENSAYO DE FLEXIÓN EN MUROS. CARGA APLICADA EN LA CARA INFERIOR.
EN LME-INFOR

3.5 CONCLUSIONES

La capacidad al corte de muros no fue afectada al cambiar la tipología de estos, ya que el parámetro más influyente para el aumento de capacidad es el espaciamiento del clavado perimetral, que fue análogo para ambas tipologías.

La capacidad a compresión es mayor al aumentar la escuadría del pie derecho del muro, además se evidenció la efectividad de la placa de arriostre para impedir el pandeo de los pie derechos en su eje débil obligando a que la falla ocurra fuera del plano del panel, lo cual permite obtener una resistencia mayor del muro.

La resistencia en flexión de los muros es afectada por la ubicación de la placa arriostre respecto a la carga y por la escuadría de los pies derechos.

En general los muros resistieron de manera satisfactoria frente a las cargas de impacto, registrándose solo un muro con desperfecto para el nivel mínimo de energía exigido por la norma (250 J), debido a la coincidencia entre la zona de impacto y un nudo en el pie derecho central.

Los valores expuestos en este trabajo pueden ser utilizados de manera conservadora, siempre y cuando se respeten las especificaciones técnicas de las estructuras de muros ensayados.

CAPÍTULO IV

PARÁMETROS DE HABITABILIDAD DE MUROS

Patricio Elgueta; Gonzalo Hernández;
Raúl Campos y Marcelo González

4.1 OBJETIVOS GENERAL

Determinar parámetros de habitabilidad de tipologías de muros fabricados con madera aserrada estructural de Pino ponderosa de Aysén.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el índice de reducción acústica, aparente y ponderado, para dos tipologías de segmentos de muro.

Determinar el coeficiente de conductividad térmica de la madera.

Determinar la resistencia al fuego para dos tipologías de segmentos de muro.

4.3 METODOLOGÍA

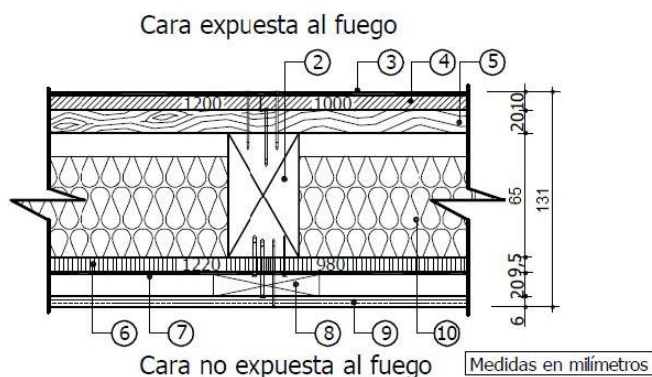
Se efectuaron 5 ensayos de laboratorio para determinar parámetros de habitabilidad de soluciones constructivas con estructura de madera de pino ponderosa de la región de Aysén (Cuadro N° 1). Para la resistencia al fuego se utilizaron las tipologías señaladas en los Cuadros N° 2 y N° 3, mientras que para la aislación acústica se utilizaron las descritas en los Cuadros N° 4 y N° 5. Para ambas tipologías se utilizó madera aserrada estructural grado G2 clasificada visualmente, en escuadrías 2" x 3" (41x65 mm) y 2" x 4" (41 x 90 mm).

Para el ensayo de conductividad térmica se utilizaron 12 piezas de 41 mm x 550 mm y 2 piezas de 17 mm x 550 mm, de ancho y largo, respectivamente, unidas de canto mediante un bastidor de madera, formando dos tableros de 550 mm x 550 mm.

Cuadro N° 1
ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DE HABITABILIDAD

Ensayo	Probeta			Norma Ensayo
	Cantidad	Tipo	Dimensiones (mm)	
Aislamiento acústico	2	Segmento muro	2.700 x 3.500	NCh 2785 (INN, 2003g) ISO 717-1 (AEONOR, 2013)
Resistencia al fuego	2	Segmento muro	2.200 x 2.400	NCh 935-1 (INN, 1997)
Conductividad térmica	1	Piezas de madera	550 x 550	NCh 850 (INN, 2008b)

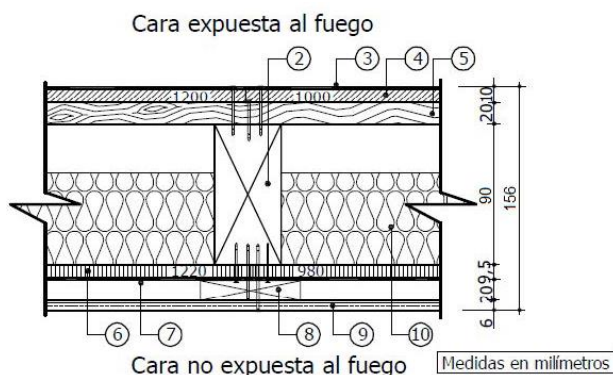
Cuadro N° 2
TIPOLOGÍA 1. SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA ENSAYO FUEGO, ESCUADRÍA 41x65 mm (2x3)



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Superior e inferior de pino ponderosa estructural G2 cepillado de escuadría 41x65 (mm) y 2,2 (m) de longitud, fijada a pie derecho con clavos helicoidales de 3".
2	Pie derecho		Madera de pino ponderosa estructural G2 cepillado de escuadría 41x65 (mm) y 2,3 (m) de altura, distanciados a eje 0,4 (m) y fijados a soleras con clavos helicoidales de 3".
3	Cara expuesta al fuego	Enlucido	Esmalte al agua "Tricolor®".
4		Revestimiento interior	Plancha de yeso-cartón "Volcanita® ST" de 10 (mm) de espesor, fijada con tornillos drywall punta fina #6 x 1¼" distanciados 0,25 (m). Sello de junta de planchas con cinta de fibra de vidrio más revestimiento vinílico F-6 de "Tajamar®".
5		Separadores horizontales	Piezas de madera de pino ponderosa cepillado de escuadría 20x90 (mm) y 2,2 (m) de longitud, distanciados a eje cada 0,4 (m) y fijados a soleras con clavos helicoidales de 2".
6	Cara no expuesta al fuego	Placa arriostrante	Tablero OSB de 9,5 (mm) de espesor, fijado con clavos helicoidales de 2" distanciados cada 0,1 (m) en zona perimetral y 0,2 (m) en unión de tableros.
7		Barrera de humedad	Membrana hidrófuga "Tyvek®" de "Dupont®", fijada sobre tablero OSB por medio de corchetes.
8		Separadores verticales	Piezas de madera de pino ponderosa cepillado de escuadría 20x70 (mm) y 2,4 (m) de longitud, distanciados a eje cada 0,6 (m) y fijadas a pie derecho con clavos helicoidales de 2".
9		Terminación	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6x190 (mm), dispuestos horizontalmente con traslapes de 30 (mm), fijado con tornillos drywall punta fina #6 x 1" cada 0,4 (m)
10	Aislación		Lana de vidrio "Aislanglass®" de 50 (mm) de espesor y 14 (kg/m³) de densidad nominal.

Cuadro N° 3
TIPOLOGÍA 2. SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA ENSAYO FUEGO, ESCUADRÍA 41x90 mm (2x4)



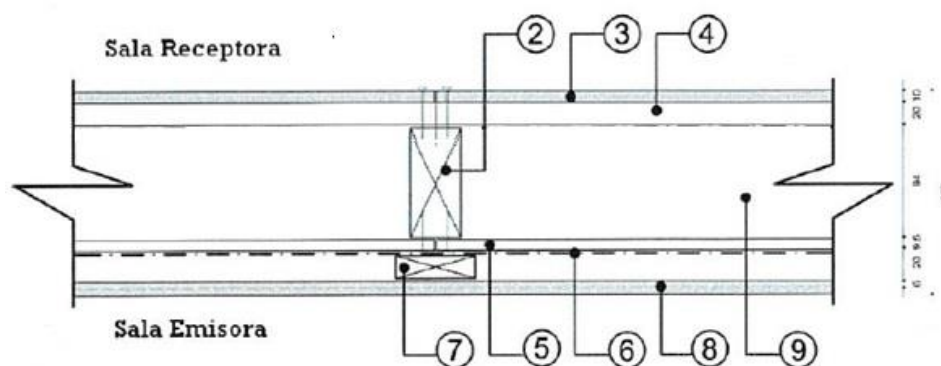
DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Superior e inferior de pino ponderosa estructural G2 cepillado de escuadría 41x90 (mm) y 2.2 (m) de longitud, fijada a pie derecho con clavos helicoidales de 3".
2	Pie derecho		Madera de pino ponderosa estructural G2 cepillada de escuadría 41x90 (mm) y 2,3 (m) de altura, distanciados a eje 0,6 (m) y fijados a soleras con clavos helicoidales de 3".
3	Cara expuesta al fuego	Enlucido	Esmalte al agua "Tricolor®".
4		Revestimiento interior	Plancha de yeso-cartón "Volcanita® ST" de 10 (mm) de espesor, fijada con tornillos drywall punta fina #6 x 1¼" distanciados 0,25 (m). Sello de junta de planchas con cinta de fibra de vidrio más revestimiento vinílico F-6 de "Tajamar®".
5		Separadores horizontales	Piezas de madera de pino ponderosa cepilladas de escuadría 20x90 (mm) y 2,2 (m) de longitud, distanciados a eje cada 0,4 (m) y fijados a soleras con clavos helicoidales de 2".
6	Cara no expuesta al fuego	Placa arriostrante	Tablero OSB de 9,5 (mm) de espesor, fijados con clavos helicoidales de 2" distanciados cada 0,1 (m) en zona perimetral y 0,2 (m) en unión de tableros.
7		Barrera de humedad	Membrana hidrófuga "Tyvek®" de "Dupont®", fijada sobre tablero OSB por medio de corchetes.
8		Separadores verticales	Piezas de madera de pino ponderosa cepilladas de escuadría 20x70 (mm) y 2,4 (m) de longitud, distanciados a eje cada 0,6 (m) y fijados a pie derecho con clavos helicoidales de 2".
9		Terminación	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6x190 (mm), dispuestos horizontalmente con traslapes de 30 (mm), fijado con tornillos drywall punta fina #6 x 1" cada 0,6 (m)
10	Aislación		Lana de vidrio "Aislanglass®" de 50 (mm) de espesor y 14 (kg/m³) de densidad nominal.

Cuadro N° 4
TIPOLOGÍA 1. SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA ENSAYO ACÚSTICO, ESCUADRÍA 41x65 mm (2x3)

DETALLE CONSTRUCTIVO			
N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Superior e inferior de pino ponderosa estructural G2 cepillado de escuadría 41x65 (mm), ancladas con pernos al marco de ensayo.
2	Pie derecho		Madera de pino ponderosa estructural G2 cepillado de escuadría 41x65 (mm), distanciados a eje 0,4 (m) y fijados a soleras con clavos helicoidales de 3".
3	Cara expuesta a recinto receptor	Revestimiento interior	Plancha de yeso-cartón "Volcanita® ST" de 10 (mm) de espesor, fijada con tornillos drywall punta fina #6 x 1¼" distanciados 0,25 (m). Sello de junta de planchas con cinta de fibra de vidrio más revestimiento vinílico F-6 de "Tajamar®".
4		Separadores horizontales	Piezas de madera de pino ponderosa cepillado de escuadría 20x90 (mm) y 2,2 (m) de longitud, distanciados a eje cada 0,4 (m) y fijados a soleras con clavos helicoidales de 2".
5	Cara expuesta a recinto emisor	Placa arriostrante	Tablero OSB de 9,5 (mm) de espesor, fijados con clavos helicoidales de 2" distanciados cada 0,1 (m) en zona perimetral y 0,2 (m) en unión de tableros.
6		Barrera de humedad	Membrana hidrófuga "Tyvek®" de "Dupont®", fijada sobre tablero OSB por medio de corchetes.
7		Separadores verticales	Piezas de madera de pino ponderosa cepilladas de escuadría 20x65 (mm), distanciados a eje cada 0,6 (m) y fijados a pie derecho con clavos helicoidales de 2".
8	Terminación		Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6x190 (mm), dispuestas horizontalmente con traslapes de 30 (mm), fijado con tornillos drywall punta fina #6 x 1" cada 0,6 (m)
9	Aislación		Lana de vidrio "Aislanglass®" de 50 (mm) de espesor y 14 (kg/m ³) de densidad nominal.

Cuadro N° 5
TIPOLOGÍA 2. SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA ENSAYO ACÚSTICO, ESCUADRÍA 41X90 mm (2x4)



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Superior e inferior de pino ponderosa estructural G2 cepillado de escuadría 41x90 (mm), ancladas con pernos al marco de ensayo.
2	Pie derecho		Madera de pino ponderosa estructural G2 cepillado de escuadría 41x90 (mm), distanciados a eje 0,6 (m) y fijados a soleras con clavos helicoidales de 3".
3	Cara expuesta a recinto receptor	Revestimiento interior	Plancha de yeso-cartón "Volcanita® ST" de 10 (mm) de espesor, fijada con tornillos drywall punta fina #6 x 1¼" distanciados 0,25 (m). Sello de junta de planchas con cinta de fibra de vidrio más revestimiento vinílico F-6 de "Tajamar®".
4		Separadores horizontales	Piezas de madera de pino ponderosa cepillado de escuadría 20x90 (mm) y 2,2 (m) de longitud, distanciados a eje cada 0,4 (m) y fijados a soleras con clavos helicoidales de 2".
5	Cara expuesta a recinto emisor	Placa arriostrante	Tablero OSB de 9,5 (mm) de espesor, fijados con clavos helicoidales de 2" distanciados cada 0,1 (m) en zona perimetral y 0,2 (m) en unión de tableros.
6		Barrera de humedad	Membrana hidrófuga "Tyvek®" de "Dupont®", fijada sobre tablero OSB por medio de corchetes.
7		Separadores verticales	Piezas de madera de pino ponderosa cepilladas de escuadría 20x65 (mm), distanciadas a eje cada 0,6 (m) y fijadas a pie derecho con clavos helicoidales de 2".
8		Terminación	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6x190 (mm), dispuestas horizontalmente con traslapes de 30 (mm), fijadas con tornillos drywall punta fina #6 x 1" cada 0,6 (m)
9	Aislación		Lana de vidrio "Aislanglass®" de 50 (mm) de espesor y 14 (kg/m³) de densidad nominal.

4.3.1 Ensayo de Aislamiento Acústico

El ensayo de aislamiento acústico se realizó en el Laboratorio Acústico, División Construcción (DCO), del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales (IDIEM, 2015) de la Universidad de Chile, Campus Beauchef. El recinto de ensayo consiste de un marco porta-muestras con una capacidad de aproximadamente 9,5 m² (2,7 x 3,5 m). Una vez montada la solución constructiva el recinto queda dividido en dos habitaciones adyacentes, denominadas “emisora” y “receptora”, las cuales cuentan con volúmenes aproximados de 55 m³ y 50 m³, respectivamente. Los equipos e instrumentos utilizados para la realización del ensayo fueron los siguientes.

- Sonómetro Brüel & Kjaer Type 2270.
- Calibrador de nivel sonoro Brüel & Kjaer Type 4231.
- Generador de ruido Larson Davis SRC20.
- Caja activa JBL EON 15 800W.
- Ecualizador DOD SR231 QXLR.
- Termohigrómetro Veto.
- Pistola a fogueo.

La fabricación de las probetas a ensayar se puede observar en las Figuras N° 1 a N° 4, mientras que la implementación del ensayo de aislación acústica se muestra en las Figuras N° 5 y N° 6.



Figura N° 1
PLACA ARRIOSTRANTE DE OSB EN ESTRUCTURA
DE MADERA ASERRADA



Figura N° 2
SEPARADORES HORIZONTALES Y LANA MINERAL
(CARA INTERIOR)



Figura N° 3
SEPARADORES VERTICALES Y BARRERA DE
HUMEDAD TYVEK



Figura N° 4
INSTALACIÓN DE TERMINACIÓN EXTERIOR SIDING
TINGLADO



Figura N° 5
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE AISLACIÓN
ACÚSTICA EN SALA EMISORA



Figura N° 6
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE AISLACIÓN
ACÚSTICA EN SALA RECEPTORA

De acuerdo a las normas NCh 2785 (INN, 2003g) e ISO 717-1 (AEONOR, 2013) el ensayo se efectuó en 4 etapas.

4.3.1.1 Medición del Nivel de Presión Acústica Promedio

Se generó ruido rosa mediante una caja activa y se estableció un nivel de presión sonora (NPS) de 106 (dBA).

Con un sonómetro se determinó en cada habitación (emisión y recepción) el NPS, efectuando 18 variaciones en la frecuencia entre los 100 y 5.000 Hz.

Para el sonómetro se consideraron 6 posiciones dentro de cada habitación, mientras que para la caja activa se consideraron 2 posiciones en la sala de emisión, generando un total de 12 mediciones por habitación. Con las mediciones efectuadas se determinó el índice de reducción acústica aparente (R'), mediante la siguiente expresión:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad A = 55,3 \frac{V}{cT}$$

Donde:

R' = Índice de reducción sonora aparente.

L_1 = Nivel de presión sonora acústica promedio en el recinto de emisión (dB).

L_2 = Nivel de presión sonora acústica promedio en el recinto de recepción (dB).

S = Área del espécimen de ensayo. Es igual a la abertura de ensayo libre (m^2).

A = Área de absorción acústica equivalente en el recinto de recepción (m^2).

V = Volumen del recinto de recepción (m^3).

c = Velocidad del sonido en el recinto de recepción (m/s).

T = Tiempo de reverberación en el recinto de recepción (s).

4.3.1.2 Medición del Tiempo de Reverberación

Se determinó el tiempo de reverberación de la sala receptora según el método de la fuente interrumpida (pistola a fogeo), utilizando 4 posiciones para el sonómetro, 1

posición fija de emisión y 2 decaimientos (disparos) por posición, generando un total de 8 mediciones.

4.3.1.3 Medición y Corrección del Ruido de Fondo

El ruido de fondo corresponde a los dB captados por el sonómetro sin fuente de ruido activa. Permite asegurar que el ensayo no sea afectado por sonidos ajenos a la medición, tales como ruido exterior o ruido por interferencia eléctrica de los instrumentos. Si la diferencia entre el nivel de señal/ruido y el nivel de ruido de fondo es menor que 15 dB pero mayor a 6 dB, se debe corregir al nivel de la señal según la siguiente expresión:

$$L = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_s/10})$$

Donde:

- L = Nivel de la señal ajustada (dB).
- L_{sb} = Nivel de la señal y ruido de fondo combinados (dB).
- L_s = Nivel de ruido de fondo (dB).

Para este caso en particular la relación señal/ruido fue mayor a 15 dB, resultando en un nivel de ruido de fondo en la sala receptora de 37 dBA, sin necesidad de efectuar correcciones.

4.3.1.4 Evaluación del Aislamiento al Ruido Aéreo y Términos de Adaptación de Espectros

Corresponde a un número único (ponderado), medido en decibeles, obtenido al comparar los índices de reducción sonora, con una curva de referencia establecida en 500 Hz según la norma ISO 717-1 (AENOR, 2013). La curva de referencia se traslada en pasos de 1 dB hacia la curva obtenida experimentalmente, hasta que la suma de las desviaciones favorables (corresponde a la diferencia entre el valor de la medición y el valor de referencia, siempre y cuando este último sea mayor al primero) es igual o menor a 32,0 dB.

Los términos de adaptación de espectros corresponden a dos factores de ajuste que se aplican al valor único de aislamiento al ruido aéreo y consideran correcciones para caracterizar un espectro sonoro en particular, específicamente al ruido rosa (C) y al ruido de tráfico urbano (C_{tr}), los que consideran las frecuencias altas y bajas, respectivamente. El índice de reducción acústica, considerando los términos de adaptación de espectros se expresa de la siguiente manera:

$$R_w(C ; C_{tr}) = R_w + C ; R_w + C_{tr}$$

Donde:

- R_w = Índice de reducción acústica (dB).
- C = Término de adaptación al espectro ruido rosa.
- C_{tr} = Término de adaptación al espectro ruido urbano.
- $R_w + C$ = Índice de reducción acústica ajustado a ruido rosa (dBA)
- $R_w + C_{tr}$ = Índice de reducción acústica ajustado a tráfico urbano (dBA).

4.3.2 Ensayo de Resistencia al Fuego

El ensayo de resistencia al fuego se realizó en la División Construcción (DCO), del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales (IDIEM, 2016a) de la Universidad de Chile, en Santiago. Los equipos e instrumentos utilizados en el ensayo de resistencia al fuego se indican en el Cuadro N° 6. En las Figuras N° 7 a N° 10 se muestra la fabricación de las probetas, mientras que en la Figura N° 11 se ilustra la implementación del ensayo

**Cuadro N° 6
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL ENSAYO**

Equipo / Instrumento	Descripción
Horno de ensayo	Equipado con un quemadora a gas, con potencia nominal mínima de 1.700 (kW). Paredes interiores con ladrillo refractario con enchapados de acero; boca vertical abierta para el montaje de probetas de 2,2 (m) de ancho por 2,4 (m) de alto.
Sistema mecánico de carga	Permite aplicar hasta 120 (kg) por metro lineal a la probeta durante el ensayo.
Termocuplas	Tipo Chromel-Alumel. Utilizadas para el monitoreo de la temperatura al interior del horno.
Sensor infrarrojo	Termómetro infrarrojo tipo pistola utilizado para medir la temperatura promedio y puntual máxima en la cara no expuesta al fuego.
Manómetro diferencial	Manómetro de columna de agua utilizado para medir la sobrepresión al interior del horno.



**Figura N° 7
PLACA ARRIOSTRANTE EN ESTRUCTURA DE
MADERA ASERRADA**



**Figura N° 8
SEPARADORES HORIZONTALES Y LANA
MINERAL (CARA INTERIOR)**



**Figura N° 9
INSTALACIÓN DE PLANCHAS DE YESO CARTÓN
DE 10 mm DE ESPESOR**



**Figura N° 10
APLICACIÓN DE ENLUCIDO CON ESMALTE AL
AGUA**



Figura N° 11
IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE
RESISTENCIA AL FUEGO

Las probetas fueron fijadas mecánicamente a la boca del horno utilizando una manta cerámica y pasta a base de yeso como sellos en el contorno.

El ensayo consiste en exponer a la probeta, por una de sus caras, al calor de un horno de modo de imprimirle una temperatura según la curva normalizada tiempo-temperatura, señalada en la norma NCh 935/1 (INN, 1997), según:

$$T(t) - T_0 = 345 \log_{10}(8t + 1)$$

Donde:

- T = Temperatura del horno (°C).
 T₀ = Temperatura ambiente al inicio del ensayo (°C).
 t = Tiempo transcurrido de ensayo (min).

La resistencia al fuego de un elemento, denominada clase F, se expresa como el tiempo en minutos (Cuadro N° 7) desde el comienzo del ensayo hasta que dejan de cumplirse los criterios de resistencia al fuego, los cuales se indican en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 7
CLASIFICACIÓN ELEMENTOS CONSTRUCCIÓN SOMETIDOS
A ENSAYO DE RESISTENCIA AL FUEGO

Clase F	Duración del Ensayo (min)	
F0	≥0	<15
F15	≥15	<30
F30	≥30	<60
F60	≥60	<90
F90	≥90	<120
F120	≥120	<150
F150	≥150	<180
F180	≥180	<240
F240	≥240	-

Cuadro N° 8
CRITERIOS DE RESISTENCIA AL FUEGO

Criterio	Descripción
Capacidad de soporte de carga	Instante en que el elemento no puede seguir cumpliendo la función de soporte de carga para el cual fue diseñado.
Aislamiento térmico	Instante en que la temperatura de la cara no expuesta alcanza los 180 (°C) puntual o 140 (°C) promedio, por sobre la temperatura ambiente registrada al inicio del ensayo, o si sobrepasa los 220 (°C) cualquiera sea la temperatura inicial.
Estanquidad	Instante en que una llama (o gases a alta temperatura), se filtra por las uniones, grietas o fisuras formadas durante el ensayo, y se sostiene por 10 o más segundos. En el caso de filtración de gases, hay pérdida de estanquidad si al colocar una mota de algodón en la filtración, esta se enciende.
Emisión de gases inflamables	Instante en que los gases emitidos por la cara no expuesta arden al aproximar una llama cualquiera y continúan espontáneamente ardiendo al menos durante 20 s de retirada la llama.

4.3.3 Ensayo de Conductividad Térmica

El ensayo de conductividad térmica se realizó en el Laboratorio contra Incendios, División Construcción (DCO), del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales (IDIEM, 2016b) de la Universidad de Chile, en Santiago. Se confeccionaron dos probetas de 550 x 550 mm, considerando 7 listones de madera unidos con un bastidor en los extremos, como se indica en la Figura N° 12. Una vez fabricadas las probetas, estas fueron acondicionadas por un periodo de 2 días, con temperatura constante a 40°C, logrando un contenido de humedad final promedio de un 5,6%.



Figura N° 12
PROBETAS ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Las probetas fueron montadas en forma horizontal y simétrica, de acuerdo a lo señalado en la norma NCh 850 (INN, 2008b), considerando el siguiente orden (Figura N° 13):

1. Placa fría.
2. Probeta.
3. Placa caliente (1 calefactor central de medición y 1 placa caliente de guarda).
4. Probeta.
5. Placa fría.

Por ambos lados de cada probeta se instalaron 3 termocuplas en la zona central, 12 en total, para determinar el diferencial de temperatura generado por las placas frías y caliente (Figura N° 14). El mismo procedimiento se aplicó para instalar termocuplas en las placas frías, caliente de guarda y calefactor central de medición. Finalmente, el conjunto fue cubierto con perlitas de poliestireno para restringir las pérdidas de calor por los bordes exteriores de las probetas.



Figura N° 13
DISPOSICIÓN DE LAS PROBETAS PARA EL
ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA



Figura 14
TERMOCUPLAS EN PROBETA INFERIOR

Las mediciones de temperatura, en cada uno de los elementos, se efectuaron mediante un registrador de datos en intervalos de 7 min durante 5 h.

Para determinar las resistencias térmicas totales (R_t) y las transmitancias térmicas (U) para cada muro se utilizó el método de cálculo de la norma chilena NCh 835 (INN, 2007). Las conductividades térmicas de los materiales que conforman los muros con estructura de madera fueron obtenidas de los valores dados por Vásquez *et al.* (2012).

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Ensayo de Aislamiento Acústico

El índice de reducción acústica, considerando los términos de adaptación de espectros, para las 2 soluciones constructivas de muro con estructura de madera de pino ponderosa, se muestra en el Cuadro N° 9. Se observa que al incrementar la escuadría de los pies derechos a 41x90 mm, se logró un aumento de 2 dB en el índice de reducción acústica (R_w). Mismo fenómeno se registró al aplicar el término de adaptación de espectro de ruido rosa o ruido urbano (C ; frecuencias altas), donde se observó un aumento de 1 (dBA) en el índice de reducción acústica ajustado. Para el espectro de ruido de tráfico (C_{tr} ; frecuencias bajas) no se registró diferencia entre ambas escuadrías.

Actualmente en el país no existen exigencias de nivel de aislación acústica para muros perimetrales, sin embargo la norma chilena NCh 352/1 (INN, 2000) recomienda valores de aislación que deberían presentar estos elementos en función del nivel de ruido en el exterior de la vivienda (Cuadro N° 10) (Vásquez *et al.* (2012). De acuerdo a las recomendaciones de esta norma, los muros con estructura de madera de pino ponderosa pueden utilizarse en ambientes con un ruido exterior (NED) de hasta 77 (dBA),

equivalentes a calles con alto tráfico, zonas de construcción o comerciales (se infiere del Cuadro N° 10 que 36 dBA de reducción acústica equivalen a 77 dBA NED).

Cuadro N° 9
VALORES DE ASILAMIENTO AL RUIDO AÉREO PARA LOS MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA

Escuadría Pie Derechos	Índice de Reducción Acústica (R_w) (dB)	Índice de Reducción Acústica Ajustado (R_w+C) (dBA)	Índice de Reducción Acústica Ajustado (R_w+C_{tr}) (dBA)
41x65 mm	38	36	29
41x90 mm	40	37	29

Cuadro N° 10
VALORES DE AISLACIÓN ACÚSTICA MÍNIMA, SEGÚN NCh 352/1

Ruido Exterior		Aislación Mínima (dBA)
Nivel Equivalente Diurno (NED)* (dBA)	Ruido Exterior Usual	
≤ 60	Calle en sector residencial	20
61 – 65		25
66 – 70	Calle con tráfico moderado	30
71 – 75		35
≥ 75	Calle con alto tráfico, martillo neumático, industrias y comercio	NED-40

(Fuente: INN, 2000)

* NED: Nivel de ruido equivalente medido al exterior de la fachada de una vivienda durante actividad diurna característica del lugar.

4.4.2 Ensayo de Resistencia al Fuego

Los resultados de ensayos de resistencia al fuego se registran en Cuadro N° 11.

Cuadro N° 11
RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS CON ESTRUCTURA DE PINO PONDEROSA

Escuadría Pie Derecho (mm)	Tiempo de Falla según Criterio (min)				Clasificación
	Soporte de Carga	Aislamiento Térmico	Estanquidad	Emisión de Gases Inflamables	
41x65	-	25	-	23	F15
41x90	-	20	-	-	F15

El muro conformado por pies derechos de 41x65 mm, placa arriostrante de OSB de 9,5 mm de espesor y revestimiento de yeso cartón de 10 mm, enlucido con esmalte al agua, presentó una resistencia al fuego de 23 min, clasificando como F15 según NCh 935/1 (INN, 1997).

La falla se originó por la emisión de gases inflamables en la zona superior del elemento. Posteriormente, a los 25 min de transcurrido el ensayo, el muro falló por

aislamiento térmico, alcanzando una temperatura puntual máxima de 202°C en la cara no expuesta al fuego.

En las Figuras N° 15 y N° 16 se muestra la falla del muro durante y posterior al ensayo, respectivamente.

El muro conformado por pies derechos de 41x90 mm, placa arriostrante de OSB de 9,5 mm de espesor y revestimiento de yeso cartón de 10 mm, enlucido con esmalte al agua, evidenció una resistencia al fuego de 20 min, clasificando como F15 según NCh 935/1 (INN, 1997).

La falla para esta tipología se originó por aislamiento térmico, sobrepasando la temperatura máxima admisible de 203°C en la cara no expuesta al fuego a los 20 min de iniciado el ensayo (temperatura ambiente inicial del ensayo fue de 23°C).

En las Figuras N° 17 y N° 18 se muestra la falla del muro durante y posterior al ensayo, respectivamente.

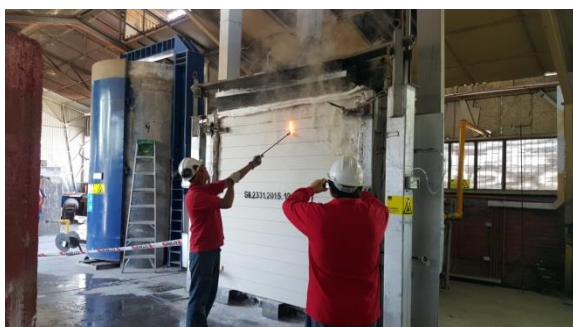


Figura N° 15
FALLA POR EMISIÓN DE GASES INFLAMABLES
(41x65 mm)



Figura N° 16
CARA EXPUESTA AL FUEGO
POSTERIOR AL ENSAYO
(41x65 mm)



Figura N° 17
FALLA POR AISLAMIENTO TÉRMICO
(41x90 mm)



Figura N° 18
CARA EXPUESTA AL FUEGO
POSTERIOR AL ENSAYO
(41x90 mm)

4.4.3 Ensayo de Conductividad Térmica

Los resultados del ensayo de conductividad térmica se indican en Cuadro N° 12.

Cuadro N° 12
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Parámetro	Valor
Densidad media aparente (kg/m^3)	401,0
Contenido humedad promedio de la probeta (% del peso seco)	5,6
Masa promedio de la probeta (kg)	4.939,5
Gradiente de temperatura a través del material ($^{\circ}\text{C}$)	9,4
Flujo térmico durante el ensayo (W/m^2)	29,1
Conductividad Térmica (W/mK)	0,12

Con la conductividad térmica de la madera de pino ponderosa se determinó la transmitancia térmica (U) y la resistencia térmica total (R_t) de la solución constructiva (Apéndice N° 1).

Los resultados se indican en el Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13
TRANSMITANCIA Y RESISTENCIA TÉRMICA PARA MUROS CON ESTRUCTURA PINO PONDEROSA

Escuadría Pie Derecho	U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	R_t ($\text{m}^2\text{K/W}$)
41x65 mm (2x3)	0,63	1,60
41x90 mm (2x4)	0,59	1,71

En la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) (MINVU, 2015), artículo 4.1.10, se establecen 7 zonas térmicas en el país, cada una con una con su valor U y R_t para muros, techumbres y pisos ventilados.

Los resultados indican que el muro construido con escuadría 41x65 mm cumple con las exigencias de U y R_t para las zonas térmicas 1 a 6.

Mientras que el muro construido con escuadría 41x90 mm cumple con las exigencias de U y R_t para todas las zonas térmicas del país (Cuadro N° 14).

Cuadro N° 14
EXIGENCIAS TÉRMICAS PARA MUROS PERIMETRALES SEGÚN ZONA TÉRMICA

Zona Térmica	Algunas Localidades Representativas de Cada Zona Térmica	Máx. Valor de U (W/m²K)	Mín. Valor de Rt (m²K/W)
1	Arica, Iquique, Antofagasta, Chañaral, Copiapó, Vallenar, Coquimbo, La Serena, Isla de Pascua	4,0	0,25
2	Calama, San Pedro de Atacama, Illapel, Ovalle, La Ligua, Zapallar, Quillota, San Antonio, San Felipe, Valparaíso, Viña del Mar, Juan Fernández	3,0	0,33
3	Santiago, Los Andes, Marchihue, Pichilemu, San Fernando, Santa Cruz, Doñihue, Graneros, Rancagua	1,9	0,53
4	Cauquenes, Curicó, Linares, Constitución, Talca, Chiguayante, Coronel, Talcahuano, Chillán, Arauco, Los Álamos, Cabrero, Los Ángeles, Concepción	1,7	0,59
5	Antuco, Loncoche, Temuco, Padre las Casas, Villarrica, Victoria, Osorno, La Unión, Valdivia	1,6	0,63
6	Pucón, Lonquimay, Ancud, Castro, Quellón, Calbuco, Frutillar, Puerto Montt, Puerto Varas, Lago Ranco	1,1	0,91
7	Putre, Futaleufú, Palena, Aysén, Cochrane, O'Higgins, Coyhaique, Chile Chico, Río Ibáñez, Punta Arenas, Porvenir, Torres del Paine, Antártica	0,6	1,67

4.5 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y considerando lo establecido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, se puede concluir lo siguiente:

El muro fabricado con pies derechos de escuadría 41x65 mm (2x3) presentó un nivel de aislación acústica de 36 (dBA), una resistencia al fuego tipo F-15 y una transmitancia térmica de 0,63 (W/m²K). Por lo tanto, y de acuerdo a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), esta configuración puede utilizarse en viviendas sociales o económicas de hasta 140 m² de superficie construida, entre las zonas térmicas 1 a 6 y con presencia de ruidos equivalentes a calles con alto tráfico, zonas de construcción o comerciales.

El muro fabricado con pies derechos de escuadría 41x90 mm (2x4) presentó un nivel de aislación acústica de 37 (dBA), una resistencia al fuego tipo F-15 y una transmitancia térmica de 0,59 (W/m²K). Por lo tanto, y de acuerdo a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), esta configuración puede utilizarse en viviendas sociales o económicas de hasta 140 m² de superficie construida, en todas las zonas térmicas del país y con presencia de ruidos equivalentes a calles con alto tráfico, zonas de construcción o comerciales.

CAPÍTULO V

MODIFICACIÓN DE NORMATIVA CHILENA

Marcelo González; Gonzalo Hernández y Patricio Elgueta

5.1 OBJETIVOS GENERAL

Incorporar la especie pino ponderosa de la Región de Aysén en las normas chilenas que regulan el uso de la madera en la construcción.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Actualizar la norma chilena de cálculo estructural en madera, NCh 1198 (INN, 2014), incorporando las tensiones admisibles de la madera aserrada de pino ponderosa.

Actualizar la norma chilena de clasificación visual estructural de pino radiata, NCh 1207 (INN, 2005), ampliando su alcance a la madera aserrada de pino ponderosa.

Actualizar la norma chilena de durabilidad natural de la madera, NCh 789/1 (INN, 1987), incorporando la especie pino ponderosa.

5.3 METODOLOGÍA

El organismo encargado de actualizar y publicar la normativa chilena es el Instituto Nacional de Normalización (INN). Con la información generada en los capítulos anteriores, y otras publicaciones de INFOR, se presentó una solicitud de “normalización” (Apéndice N° 2) al INN para incorporar las modificaciones señaladas en el Cuadro N° 1, referentes a las propiedades del pino ponderosa de la Región de Aysén.

Cuadro N° 1
DETALLE DE LAS MODIFICACIONES SOLICITADAS A INN

Norma	Modificación
NCh 1198	Incorporación de las tensiones admisibles del pino ponderosa de la Región de Aysén
NCh 1207	Modificación del título y alcance de la norma para que sea aplicable en la clasificación visual estructural del pino ponderosa de la Región de Aysén
NCh 789/1	Incorporación de la madera de pino ponderosa como especie “No durable”

La solicitud de normalización fue evaluada por INN, que determinó la pertinencia de las modificaciones indicadas, dando paso a la firma del contrato entre INN e INFOR.

Al momento de solicitar los cambios, la norma de clasificación visual estructural de pino radiata, NCh 1207, se encontraba en consulta pública, motivo por el cual el contrato contempló las modificaciones de las normas NCh 789/1 y NCh 1198.

5.4 RESULTADOS

5.4.1 Norma NCh 789

Desde el 01 de marzo de 2017 se han efectuado 5 reuniones con un comité técnico designado por INN para evaluar las modificaciones planteadas por INFOR y las generadas por el proceso de consulta pública.

De la primera reunión se generó un anteproyecto de norma para NCh 789/1 - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural (Apéndice N° 3), que data del año 1987 y establece una clasificación del duramen de las maderas comerciales según su durabilidad natural. Las categorías y correspondientes especies definidas en la norma se registran en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2
CATEGORÍAS Y ESPECIES DE ACUERDO A SU DURABILIDAD NATURAL

Categoría de Durabilidad Natural	Especies
Muy durable	Roble, Ciprés de las Guaitecas, Alerce
Durable	Raulí, Lengua, Lingue
Moderadamente durable	Canelo, Coigüe, Tineo, Ulmo
Poco durable	Araucaria, Eucalipto, Laurel, Mañío macho y hembra
No durable	Álamo, Olivillo, Pino insignie, Tapa

El cambio solicitado para esta norma fue la incorporación de la especie pino ponderosa bajo la categoría “No durable”, sustentado en la información generada en el capítulo IV del Informe Técnico N° 191 de INFOR (Hernández et al., 2013): Caracterización Tecnológica del Pino ponderosa de la Región de Aysén.

5.4.2 Norma NCh 1198

Respecto de la norma chilena NCh 1198, Maderas – Construcciones en Madera – Cálculo, que data del año 2014 y establece los requerimientos y métodos de cálculo para diseñar estructuras con madera, se solicitó incorporar las tensiones admisibles de la especie pino ponderosa de la Región de Aysén (Apéndice N° 4).

5.4.3 Norma NCh 1207

La primera sesión del comité técnico para la revisión de la norma NCh 1207 – Pino radiata – Clasificación visual para uso estructural – Especificaciones de los grados de calidad, se efectuó el 29 de noviembre de 2016, donde se acordó darle prioridad a la revisión de esta norma. La modificación propuesta considera ampliar su alcance para

poder utilizarla en la clasificación de visual estructural de madera aserrada seca-cepillada de pino ponderosa.

Tras 5 sesiones del comité técnico, y después de un proceso de consulta pública, todas las observaciones generadas fueron sancionadas, por lo que el comité solicitó a INN generar la versión final de la norma NCh 1207 (Apéndice N° 5) para su aprobación y publicación, según registro en acta de la sesión del 13 de marzo de 2017.

5.5 CONCLUSIONES

Las 3 normas consideradas para modificación se encuentran en proceso de revisión por parte del comité técnico designado por INN. Las modificaciones solicitadas fueron aceptadas en su totalidad e incorporadas en los anteproyectos de norma.

Al momento de finalizar este informe la norma NCh 1207 se encontraba en el proceso final antes de ser publicada, mientras que las normas NCh 789/1 y NCh 1198 se encontraban en revisión por parte del comité técnico.

CAPÍTULO VI

CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA SOCIAL PATAGONICA

**Carlos Castillo; Víctor Barrera; Patricio Elgueta
y Gonzalo Hernández**

6.1 OBJETIVOS GENERAL

Desarrollar y construir una vivienda social con estructura de madera aserrada de pino ponderosa de la Región de Aysén, de acuerdo con la normativa chilena vigente.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Convocar un concurso nacional de una vivienda social y desarrollar los planos de arquitectura e ingeniería del proyecto ganador.

Construir en la ciudad de Coyhaique la vivienda social que se adjudicó el concurso nacional.

6.3 METODOLOGÍA

Con fecha 01 de agosto de 2016 se lanzó un concurso público de arquitectura con el objetivo de diseñar una vivienda social a estructurar con madera aserrada de pino ponderosa de la Región de Aysén. Las bases administrativas y técnicas del concurso fueron desarrolladas en conjunto con funcionarios del SERVIU y MINVU de la Región de Aysén, para garantizar el cumplimiento de la normativa vigente de construcción. Esta base fueron publicadas en el sitio institucional de INFOR (www.infor.cl) y difundidas mediante medios locales (diario El Divisadero) y nacionales (revista Lignum). El cronograma del concurso se detalla en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
CRONOGRAMA CONCURSO DE ARQUITECTURA VIVIENDA SOCIAL PATAGÓNICA

Etapas	Fecha
Publicación del Concurso, difusión y entrega de bases	01 de Agosto 2016
Cierre período de consultas	12 de Agosto 2016
Fecha de respuestas on-line y en plataforma web	17 de Agosto 2016
Entrega de propuestas	05 de Septiembre 2016
Publicación adjudicación final	09 de Septiembre 2016

La evaluación del comité integrado por profesionales del SERVIU, MINVU e INFOR, adjudicó el concurso al arquitecto Alejandro Figueroa Cifuentes, con el proyecto “La Casa de Aserrín”. Los planos de arquitectura consideran una superficie de aproximadamente 68 m², distribuidos en un piso, y con posibilidad de ampliación futura (Apéndice N° 6).

Para materializar la construcción de la vivienda en la ciudad de Coyhaique se firmó un contrato con la empresa constructora VEICO, Vega e Iglesias Ltda., que prefabricó los componentes en su planta ubicada en la comuna de Arauco (Apéndice N° 6). Finalizado el proceso de prefabricación, los componentes fueron enviados a Coyhaique, donde una cuadrilla de 5 operarios de la empresa levantó la vivienda en terrenos de la Sede Patagonia del Instituto Forestal. La vivienda considera el uso de muros ventilados, técnica que los mantiene secos y mejora la aislación térmica de la construcción.

6.4 RESULTADOS

El proceso de construcción de la vivienda se muestra a continuación en forma gráfica, desde el arribo de los componentes a Coyhaique hasta la casa terminada.

6.4.1 Descarga de los Componentes en Coyhaique



Figura N° 1
ARRIBO DE COMPONENTES PREFABRICADOS A COYHAIQUE



Figura N° 2
DESCARGA DE COMPONENTES PREFABRICADOS



Figura N° 3
NIVELACIÓN DE TERRENO

6.4.2 Nivelación del Terreno y Envigado de Piso



Figura N° 4
INSTALACIÓN DE POCHOS DE HORMIGON



Figura N° 5
PREPARACIÓN POCHOS PARA ENVIGADO DE PISO



Figura N° 6
MONTAJE ENVIGADO



Figura N° 7
ENVIGADO TERMINADO



Figura N° 8
MONTAJE ENVIGADO DE PISO



Figura N° 9
ENVIGADO DE PISO TERMINADO

6.4.3 Instalación de Muros



Figura N° 10
PRESENTACIÓN SEGMENTO DE MURO



Figura N° 11
MONTAJE SEGMENTE DE MURO



Figura N° 12
INSTALACIÓN MEMBRANA HIDRÓFUGA



Figura N° 13
MONTAJE SEGMENTO DE MURO



Figura N° 14
SEGMENTOS DE MURO INSTALADOS



Figura N° 15
TABICUERÍA INTERIOR

6.4.4 Cerchas y Techumbre



Figura N° 16
PRESENTACIÓN CERCHAS



Figura N° 17
INSTALACIÓN CERCHAS



Figura N° 18
CERCHAS INSTALADAS



Figura N° 19
INSTALACIÓN REVESTIMIENTO



Figura N° 20
INSTALACIÓN TECHUMBRE ZINCALUM



Figura N° 21
INSTALACIÓN TECHUMBRE ZINCALUM

6.4.5 Revestimiento Exterior e Interior



Figura N° 22
INSTALACIÓN SEPARADORES VERTICALES



Figura N° 23
INSTALACIÓN REVESTIMIENTO EXTERIOR



Figura N° 24
REVESTIMIENTO EXTERIOR TERMINADO



Figura N° 25
INSTALACIÓN PISO MADERA

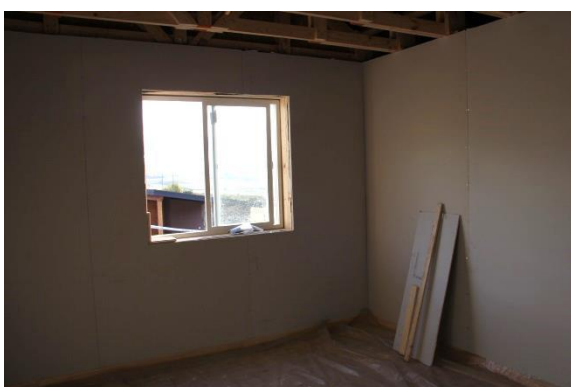


Figura N° 26
INSTALACIÓN REVESTIMIENTO INTERIOR



Figura N° 27
REVESTIMIENTO INTERIOR TERMINADO

6.4.6 Ceremonia de Inauguración



Figura N° 28
INAUGURACIÓN CASA PATAGONIA



Figura N° 29
FOTO GRUPAL

6.5 COSTOS ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN

En el Cuadro N° 2 se indican los costos para tres tipos de viviendas en la Región de Aysén. El prototipo de Vivienda Social con madera de pino ponderosa (Figura N° 30), de INFOR Sede Patagonia, registra un costo aproximado entre 1.215 y 1.315 UF, considerando madera como materialidad principal.

Para el caso de las viviendas con subsidio estatal del SERVIU Aysén (Figuras N° 31 y N° 32), el costo fluctúa entre 1.171 y 1.200 UF, siendo metalcom y siding la materialidad predominante.

Finalmente, para las viviendas de la Cooperativa Privada de las Fuerzas Armadas de Chile (Figuras N° 33 y N° 34), el costo oscila entre 1.300 y 1.350 UF, considerando metalcom y siding como materialidad principal.

Cuadro N° 2
COSTOS PARA VIVIENDAS EN LA REGIÓN DE AYSÉN, SEGÚN MATERIALIDAD PREDOMINANTE

Nombre Proyecto	Entidad Responsable	Costo Vivienda (UF)	Superficie (m ²)	Materialidad Principal
Vivienda social pino ponderosa	INFOR Sede Patagonia	1.215-1.315*	69-75	Madera
Lomas del Río	SERVIU	1.171-1.200	47-52	Metalcom y Siding
Vivienda Ejercito Sur de Chile	Cooperativa Privada FFAA	1.300-1.350	69,5	Metalcom y Siding

*Costo estimado de acuerdo al diseño propuesto. Puede variar según especificaciones técnicas.



Figura N° 30
VIVIENDA SOCIAL PINO PONDEROSA



Figura N° 31
VIVIENDA PROYECTO LOMAS DEL RÍO



Figura N° 32
VIVIENDA PARA MINUSVÁLIDOS PROYECTO
LOMAS DEL RÍO



Figura N° 33
ARMADO DE METALCOM VIVIENDA SOCIAL
EJERCITO SUR DE CHILE



Figura N° 34
VIVIENDA SOCIAL EJERCITO SUR DE CHILE
TERMINADA

6.6 OPORTUNIDADES

La actualización e incorporación de la madera de pino ponderosa a la Norma Chilena para construir (NCh) y la construcción de la Vivienda Social Patagónica, abren un importante campo de trabajo en torno a:

El incentivo al manejo temprano de las plantaciones de pino ponderosa por parte de los propietarios para la obtención de productos que pueden ser utilizados para la construcción de viviendas. Conjuntamente, esto abre una fuente laboral para muchos trabajadores forestales.

Una alternativa real de diversificación predial en torno a la utilización de nuevas áreas dentro de los predios para establecer especies madereras, ya sea para una producción netamente maderera o a través de un manejo silvopastoral (producción maderera y ganadera).

Transforma a pino ponderosa en una especie maderera alternativa y regional que puede competir en el mercado interno y externo con diferentes productos de valor agregado.

Instalación de capacidades en torno al mejoramiento del proceso productivo de la madera, tanto para productores como para profesionales del área forestal y de arquitectura y diseño, entre otros.

Replicabilidad del proyecto en torno a la utilización de otras especies arbóreas exóticas y nativas de importancia regional, tales como pino oregón, pino contorta, mañío, coigüe, tepa, ciprés, entre otras, cuyos estudios de caracterización de propiedades físico-mecánicas están desactualizados o son inexistentes.

Mejoramiento del trabajo asociativo entre productores madereros, profesionales e identidades del rubro de la madera, que permitirán potenciar el ciclo productivo regional; trazabilidad maderera desde la recolección de la semilla con mejoramiento genético, el establecimiento de plantaciones y su manejo y cosecha, hasta la elaboración de productos con valor agregado y su comercialización.

Quedan construidas viviendas sociales con madera local como una solución habitacional urbana y con potencial de establecimiento en zonas rurales. Esto respaldado con la normativa actualizada e incorporada (a través del INN) para casas acordes a las condiciones ambientales imperantes (nieve, lluvia, temperaturas, viento), y además complementado con la satisfacción de las exigencias actuales del Programa Descontaminación Ambiental, como la aislación térmica, tipo de calefacción, eficiencia, entre otros.

La madera en comparación con otros materiales de construcción es la que posee el menor impacto ambiental por su carácter renovable. Su producción demanda menos energía que cualquier otro material conocido y gracias al efecto sumidero de carbono de los bosques presenta emisiones de carbono negativas.

Así, la construcción de viviendas con estructura de madera consume menos energía y libera menos dióxido de carbono a la atmósfera. Adicionalmente reduce los gastos asociados a la construcción debido a la posibilidad de prefabricación.

Al finalizar su vida útil, la madera puede reciclarse para la elaboración de productos en base a madera (tableros), o como sustituto de combustibles fósiles.

6.7 CONCLUSIONES

El total de piezas de madera utilizadas en la construcción de la vivienda social Patagónica fue de 2.619 unidades. Estas se disgregan en:

- Cerchas 243 piezas 2x4"
- Estructura 350 piezas 2x4"
- Estructura 350 piezas 2x2"
- Encintado interior 308 piezas 1x3"
- Encintado exterior 150 piezas 1x2"
- Costaneras 70 piezas 2x3"
- California 690 piezas
- Piso 207 Blanco 1x4" x 3.20m
- Pilastras 66
- Rodones 55
- Vigas 130 de 2x10"x 3,20m IPV.

En la construcción participaron 5 maestros carpinteros más 1 supervisor, todos pertenecientes a la empresa constructora Vega e Iglesias Ltda. (VEICO). La duración de la obra fue de 29 días.

El emplazamiento de la construcción fue en dependencias de INFOR Sede Patagonia, camino a Coyhaique Alto, km 4, lote 6, Comuna de Coyhaique, Región de Aysén. Esto con el objetivo de que mantenga el concepto de prototipo piloto y que pueda ser visitada, previa coordinación, por actores públicos y privados.

La vivienda social patagónica formará parte del soporte físico del Programa Prototipo de Transferencia Tecnológica Forestal en la Región de Aysén, que tiene por objetivo aumentar la competitividad de los actores forestales regionales a través de un programa de transferencia tecnológica forestal innovadora, integral y continua.

La vivienda social patagónica servirá como soporte físico para gestionar la conformación, coordinación y ejecución de acciones de la Primera Comisión Estratégica Interdisciplinaria para el Desarrollo Forestal Regional, con el objetivo de definir lineamientos y acciones a corto, mediano y largo plazo, que contribuyan a la Estrategia de Desarrollo Regional y la implementación de desafíos, objetivos y metas planteados en la Política Forestal 2015-2035.

7. REFERENCIAS

AENOR, 2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (ISO 717-1:2013).Asociación Española de Normalización y Certificación, España.

Hernández, Gonzalo; Acuña, Bernardo; Ananías, Rubén; Barrera, Víctor Manuel Díaz, Exequiel; Elgueta, Patricio; Gacitúa, William; Moya, Iván; Sagner, Víctor; y Sibert, Lon; 2013. Caracterización tecnológica del pino ponderosa de Aysén; Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 192. 67 p.

IDIEM, 2015. Informe de Ensayo – Aislamiento acústico frente al ruido aéreo. Informe N°1.068.760/2015. División Construcción, Sección Ingeniería Contra Incendios, Unidad de Acústica. Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales, Chile.

IDIEM, 2016. Informe de Ensayo – Resistencia al fuego según NCh935/1.Of97. Informe N°1.068.758/2016. División Construcción, Sección Ingeniería Contra Incendios, Laboratorio de Incendios. Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales, Chile.

IDIEM, 2016. Informe de Ensayo – Conductividad térmica según NCh850.Of2008. Informe N°1.068.762/2016. Unidad Calidad del Ambiente Interior, Sección Ingeniería Contra Incendios. Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales, Chile.

INN, 1970. NCh 1970/1. Maderas - Parte 1: Especies Latifoliadas – Clasificación Visual para Uso Estructural – Especificaciones de los Grados de Calidad. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

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

INN, 1997. NCh 935/1: Prevención de incendio en edificios – Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción en general. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2000. Norma Chilena Oficial NCh 352.Of2000: Aislación Acústica – Parte 1: Construcciones de uso habitacional – Requisitos mínimos y ensayos. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2003a. NCh 2824 Of 2003 Madera – Pino radiata – Unidades, Dimensiones y Tolerancias. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2003b. NCh 2827/2003 Calibración y Uso de Xilohigrómetros Portátiles. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2003c. NCh 801: Elementos de construcción – Paneles – Ensayo de compresión; con las siguientes consideraciones. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2003d. NCh 802: Arquitectura y construcción – Paneles prefabricados – Ensayo de carga horizontal. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2003e. NCh 803: Elementos de construcción – Paneles – Ensayos de flexión. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2003f. NCh 804: Elementos de construcción – Paneles – ensayo de impacto. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2003g. NCh 2785: Acústica – Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción – Mediciones en terreno de la aislación. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2005. NCh 1207: Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2005a. NCh-ISO 17025. Requisitos Generales para la Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2006. NCh 3028/1: Madera estructural – Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia – Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2007. NCh 835: Acondicionamiento Térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN, 2008a. 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.

INN, 2008b. NCh 850: Aislación térmica – Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas – Aparato de placa caliente de guarda. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

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

MINVU, 2015. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile.

Vásquez, Luis; Campos, Raúl; González, Marcelo y Hernández, Gonzalo, 2012. Caracterización mecánica de muros estructurales de madera [monografías]. Concepción, Chile : Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico 191. 88 p.

APÉNDICES

APÉNDICE N° 1

CÁLCULOS TÉRMICOS PARA LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS CON MADERA DE PINO PONDEROSA

Muro 2x3 (41x65 mm)		Espesor (m)	Cond. Térmica (W/m°C)	R (m ² °C/W)	Rt (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)	Superficie (%)	U Ponderado (W/m ² °C)	Rt Ponderado (m ² °C/W)
Zona de aislación	Rse	-	-	0	1,821	0,549	84,70%	0,63	1,60
	OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV*	0,015	-	0,160					
	Cámara de aire NV**	0,02	-	0,160					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Rsi	-	-	0,120					
Zona puente térmico	Rse	-	-	0	0,953	1,049	15,30%	0,63	1,60
	OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Pino pondero sa	0,065	0,12	0,542					
	Cámara de aire NV	0,02	-	0,160					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Rsi	-	-	0,120					

* Cámara no ventilada entre la lana mineral y el pie derecho (espacio libre)

** Cámara no ventilada entre el pie derecho y los separadores horizontales

Muro 2x4 (41x90 mm)		Espesor (m)	Cond. Térmica (W/m°C)	R (m ² °C/W)	Rt (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)	Superficie (%)	U Ponderado (W/m ² °C)	Rt Ponderado (m ² °C/W)
Zona de aislación	Rse	-	-	0	1,821	0,549	88,19%	0,59	1,71
	OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV*	0,015	-	0,160					
	Cámara de aire NV**	0,02	-	0,160					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Rsi	-	-	0,120					
Zona puente térmico	Rse	-	-	0	1,161	0,861	11,81%	0,59	1,71
	OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Pino pondero sa	0,090	0,12	0,750					
	Cámara de aire NV	0,02	-	0,160					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Rsi	-	-	0,120					

* Cámara no ventilada entre la lana mineral y el pie derecho (espacio libre)

** Cámara no ventilada entre el pie derecho y los separadores horizontales

APÉNDICE N° 2

SOLICITUD DE NORMALIZACIÓN

	INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION DIVISION DE NORMAS SOLICITUD SERVICIO DE NORMALIZACIÓN	F307-24-04 Página 1 de 3
---	---	--

GENERALIDADES

Este Formulario de Solicitud de Servicio de Normalización debe ser completado por el solicitante, quien se debe identificar y no omitir respuesta. Si desconoce, se le solicita responder, “no sabe/lo desconoce”.

Estos antecedentes serán evaluados por una Comisión por lo cual se le solicita su máxima colaboración con los antecedentes que maneja. La resolución de esa Comisión será informada por escrito al Solicitante.

ANTECEDENTES M ANDANTE ORGANISM O PRIVADO

Nombre de quien solicita	Marcelo González Retamal
Correo electrónico	mgonzalez@infor.cl
Teléfono	41-2455507
Razón social organización	Instituto Forestal
Domicilio organización	Camino a Coronel km 7,5, San Pedro de la Paz, Concepción.
RUT organización	61.311.000-3
Nombre representante legal	Fernando Rosselot Téllez
RUT representante legal	8.258.953-8
Domicilio representante legal	Avda. Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Constancia personería jurídica del representante legal	La personería del Sr. Fernando Rosselot Téllez para actuar y comparecer en representación del Instituto Forestal, consta en Acuerdo N° 1372, adoptado por el Consejo Directivo del Instituto Forestal en Sesión Extraordinaria N° 17 celebrada con fecha 28 de Marzo de 2014, reducido a escritura pública en la Notaría de don René Benavente Cash con fecha 08 de Abril de 2014.
Fecha solicitud	18 de noviembre de 2016

ANTECEDENTES ESTUDIO DE NORMAS

Indicar la necesidad del estudio normativo	La necesidad es incorporar nuevas especies de interés comercial para su uso como material de construcción. También actualizar las propiedades mecánicas de otras especies de interés comercial, ya incluidas en la actual normativa.
Visualiza Ud. impactos económicos, técnicos, ambientales u otros relevantes que quiera señalar, una vez que esta Norma sea publicada	Impactos económicos y técnicos por la incorporación de nuevas especies forestales como alternativa para ser usadas como madera para la construcción en Chile.

ANTECEDENTES DE NORMA(S) A ESTUDIAR

Norma(s) a estudiar	Norma 1: NCh1198 Norma 2: NCh 789/1
Materia a normalizar en Norma 1	Incorporación de tensiones admisibles de grados estructurales visuales de madera de pino ponderosa y pino oregón clasificados según NCh1207. Incorporación de tensiones admisibles de grados estructurales visuales de madera de <i>Eucaliptus nitens</i> clasificados según NCh 1970/2. Actualización de tensiones admisibles de grados estructurales visuales de madera de raulí y lenga clasificados según NCh1970/1.
Documento(s) de base que será(n) utilizado(s) para el (los) estudio(s) de norma(s) 1	Los estudios técnicos que respaldan la necesidad de actualización de la norma corresponden a los siguientes informes técnicos (IT) del Instituto forestal (INFOR): IT 189 Eucalipto nitens IT 196 Pino oregón IT 199 Raulí IT 203 Lenga IT Pino ponderosa (provisorio)

Materia a normalizar en Norma 2	Incorporación de la especie pino ponderosa a la tabla de clasificación por durabilidad natural.
Documento(s) de base que será(n) utilizado(s) para el (los) estudio(s) de norma(s) 2	El estudio técnico que respalda la necesidad de actualización de la norma corresponde al capítulo IV del informe técnico N° 192 del Instituto forestal (INFOR).
Indicar si estas normas se relacionan con otras normas existentes, las complementan o en qué difieren/CUALES	Respecto a la incorporación del pino ponderosa y pino oregón en la NCh1198 involucra la actualización de la NCh1207 Respecto a la incorporación del pino ponderosa en la NCh789/1 involucra la actualización de la NCh819.

Cuenta con experto en el tema a disposición del proceso de estudio. ¿Quién?	Si. Marcelo González. Tema tensiones admisibles y clasificación de madera estructural. Patricio Elgueta. Tema durabilidad natural y preservación.
Solicitante cuenta con recursos financieros	Si

AUTORIDAD COMPETENTE

Solicitante ha tomado contacto con la Autoridad Competente para informar de este interés de estudio de normas, cuál ha sido su respuesta	Sí. División Técnica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).
---	--

OBSERVACIÓN (SI LA HAY)

--

APÉNDICE N° 3

ANTERPROYECTO NORMA NCH 789/1



PROYECTO DE NORMA EN CONSULTA PÚBLICA – prNCh789-1

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	Preámbulo
18	
19	El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las
20	normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR
21	STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT),
22	representando a Chile ante esos organismos.
23	
24	Este proyecto de norma se estudió a través del Comité Técnico CL035/SC2 Madera, para establecer una
25	clasificación del duramen en las maderas comerciales por durabilidad natural, para aplicarla como sistema de
26	referencia en la interpretación de requisitos de impregnación
27	
28	El Anexo A forma parte del proyecto de norma
29	
30	Esta norma reemplaza a la norma NCh789-1:1987 Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por
31	su durabilidad natural y la deja no vigente técnicamente.
32	
33	Si bien se ha tomado todo el cuidado razonable en la preparación y revisión de los documentos normativos
34	producto de la presente comercialización, INN no garantiza que el contenido del documento es actualizado o
35	exacto o que el documento será adecuado para los fines esperados por el Cliente.
36	
37	En la medida permitida por la legislación aplicable, el INN no es responsable de ningún daño directo, indirecto,
38	punitivo, incidental, especial, consecuencial o cualquier daño que surja o esté conectado con el uso o el uso
39	indebido de este documento.
40	

41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90

Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural

1 Alcance y campo de aplicación

1.1 Esta norma establece una clasificación del duramen de las maderas comerciales según su durabilidad natural.

1.2 Esta norma se aplica como sistema de referencia en la interpretación de los requisitos de penetración contenidos en NCh819.

2 Referencias normativas

Los documentos siguientes son indispensables para la aplicación de esta norma. Para referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para referencias sin fecha se aplica la última edición del documento referenciado (incluyendo cualquier enmienda).

NCh630, *Madera - Preservación - Terminología*

NCh819, *Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo*

3 Términos y definiciones

Para los propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones incluidos en NCh630 y adicionalmente los siguientes:

3.1 durabilidad natural

capacidad que posee la madera para resistir el ataque de los diferentes agentes biológicos de destrucción, una vez que se pone en servicio sin ningún tratamiento preservador. La albura sin tratamiento preservante se debe considerar como susceptible a sufrir daño por la acción de hongos de pudrición, insectos, y horadores marinos, otros. En cambio el duramen según la especie considerada, mostrará un mayor rango de durabilidad, siendo en las especies más durables, más resistentes al ataque de insectos u hongos, y en las especies menos durables, de un rango similar al de la albura

Para los efectos de esta norma, la durabilidad natural se debe expresar en función del grado de resistencia que el duramen posee a la acción de hongos de pudrición, horadores marinos y otros

91	3.2 vida útil
92	durabilidad natural, expresada en años, que alcanza una determinada madera puesta en servicio
93	
94	
95	4 Clasificación
96	
97	4.1 El sistema de clasificación que se establece en esta norma se refiere a la vida útil que se espera del
98	duramen de una madera sin tratar, hincada en el terreno, en las condiciones climáticas existentes en Chile.
99	
100	4.2 Categorías
101	
102	De acuerdo a su durabilidad natural y vida útil y bajo condiciones favorables para el desarrollo de hongos de
103	putridión, insectos, horadadores marinos y otros, las maderas comerciales se clasifican en las categorías que
104	se indican:
105	
106	4.2.1 Categoría 1: Muy durables
107	
108	Maderas cuya vida útil esperada es superior a los 20 años.
109	
110	4.2.2 Categoría 2: Durables
111	
112	Maderas cuya vida útil esperada es superior a los 15 años.
113	
114	4.2.3 Categoría 3: Moderadamente durables
115	
116	Maderas cuya vida útil esperada es superior a los 10 años.
117	
118	4.2.4 Categoría 4: Poco durables
119	
120	Maderas cuya vida útil esperada es superior a los 5 años.
121	
122	4.2.5 Categoría 5: No durables
123	
124	Maderas cuya vida útil esperada es inferior a los 5 años.
125	
126	
127	5 Clasificación de las maderas
128	
129	Para clasificar las categorías de durabilidad natural de las maderas comerciales, se aceptarán las normas de
130	ensayo de laboratorio universalmente reconocidas y aceptadas por la Autoridad Competente.
131	
132	
133	
134	
135	
136	
137	
138	
139	
140	
141	
142	
143	
144	

Anexo A
(informativo)

Clasificación del duramen

A.1 La Tabla A.1 es una clasificación provisional del duramen de las maderas sometidas a la acción de hongos de pudrición, confeccionada con la información disponible y por lo tanto susceptible de ser modificada al contar con mayores antecedentes.

Tabla A.1 Clasificación provisional del duramen de las maderas comerciales

Categoría	Madera	
	Nombre común	Nombre científico
1. Muy durables	- Roble	Nothofagus obliqua (MIRB) BL
	- Ciprés de las Guaitecas	Pilgerodendron uvifera (D. DON)
	- Alerce	Fitzroya cupressoides (MOL) JOHNSTON
2. Durables	- Raulí	Nothofagus alpina (POEPP. ET ENDL.) OERST
	- Lenga	Nothofagus pumilio (POEPP. ET ENDL.) KRASSER
	- Lingue	Persea lingue (NEES)
3. Moderadamente durables	- Canelo	Drimys winteri FORST
	- Coigüe	Nothofagus dombeyi (MIRB) BL
	- Tineo	Weinmannia trichosperma CAV.
	- Ulmo	Eucryphia cordifolia CAV
4. Poco durables	- Araucaria	Araucaria araucana (MOL.) C. KOCR.
	- Eucalipto	Eucalyptus globulus LABILL.
	- Laurel	Laurelia sempervirens (R. PAV) TUL
	- Mañío hembra	Saxegothaea conspicua LINDL.
	- Mañío macho	Podocarpus nubigenus LINDL.
5. No durables	- Alamo	Populus alba, Populus nigra L. Populus tremuloides L.
	- Olivillo	Aextoxicon punctatum (R. ET PAVON)
	- Pino insigne	Pinus radiata D. DON
	- Tepa	Laurelia philippiana LOOSER

	- Pino ponderosa	Pinus ponderosa DOUGL.
--	------------------	------------------------

156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166

A.2 Durante el tiempo que dure el estudio de la norma chilena Oficial que clasifique en forma definitiva las maderas por su durabilidad natural, el Comité Técnico Preservación y Secado mantendrá una Comisión para atender los casos de dudas, arbitrajes y otros problemas técnicos relacionados con la materia.

CONSULTA PÚBLICA

APÉNDICE N° 4

FRAGMENTO DE ANTEPROYECTO DE NORMA NCH 1198

NCh1198:2017

PROYECTO DE NORMA CHILENA

c) Pino ponderosa seco: H = 12%

Grado estructural ^{*)}	Tensiones admisibles de:				Módulo de Elasticidad admisible E MPa
	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Cizalle paralelo	
	F_f MPa	F_{tp} MPa	F_{cp} MPa	F_{cz} MPa	
G1	5,4	3,7	5,8	0,26	5 056
G2	3,4	2,2	5,3	0,15	5 042

*) Grados estructurales definidos en NCh1207

NOTA Las muestras utilizadas de madera pino ponderosa (pinus ponderosa) se obtuvieron de la Reserva Nacional Coyhaique, Región de Aysén, Chile.

d) Pino Oregón seco: H = 12%

Grado estructural ^{*)}	Tensiones admisibles de:			Módulo de Elasticidad admisible E MPa	Densidad característica p12 kg/m ³
	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela		
	F_f MPa	F_{tp} MPa	F_{cp} MPa		
GS	13,0	7,1	12,7	12 488	402
G1	9,0	4,3	10,4	10 689	389
G2	7,1	3,6	10,4	9 599	388

*) Grados estructurales definidos en NCh1207

NOTA Las muestra utilizadas de madera pino oregón (Pseudotsuga menziesii) provienen de la zona de Villarrica, región de la Araucanía.

e) Eucaliptus nitens seco: H = 12%

Grado estructural ^{*)}	Tensiones admisibles de:		Módulo de Elasticidad en flexión E_f MPa
	Flexión	Tracción paralela	
	F_f MPa	F_{tp} MPa	
N°1	29,0	21,7	14 175
N°2	26,4	18,8	13 808
N°3	22,2	14,7	13 665
N°4	20,0	15,1	13 200

*) Grados estructurales definidos en NCh1970-1

NOTA 1 Las muestras utilizadas de madera Eucaliptus nitens provienen de la región de Los Lagos y Los Ríos (obtenidas de tres aserraderos).

NOTA 2 Falta compresión paralela.

Nota: Al momento de la generación de este anteproyecto de norma, no se incluyeron las propiedades de compresión normal e índice de aplastamiento.

APÉNDICE N° 5

FRAGMENTO DE ANTEPROYECTO DE NORMA NCH 1207



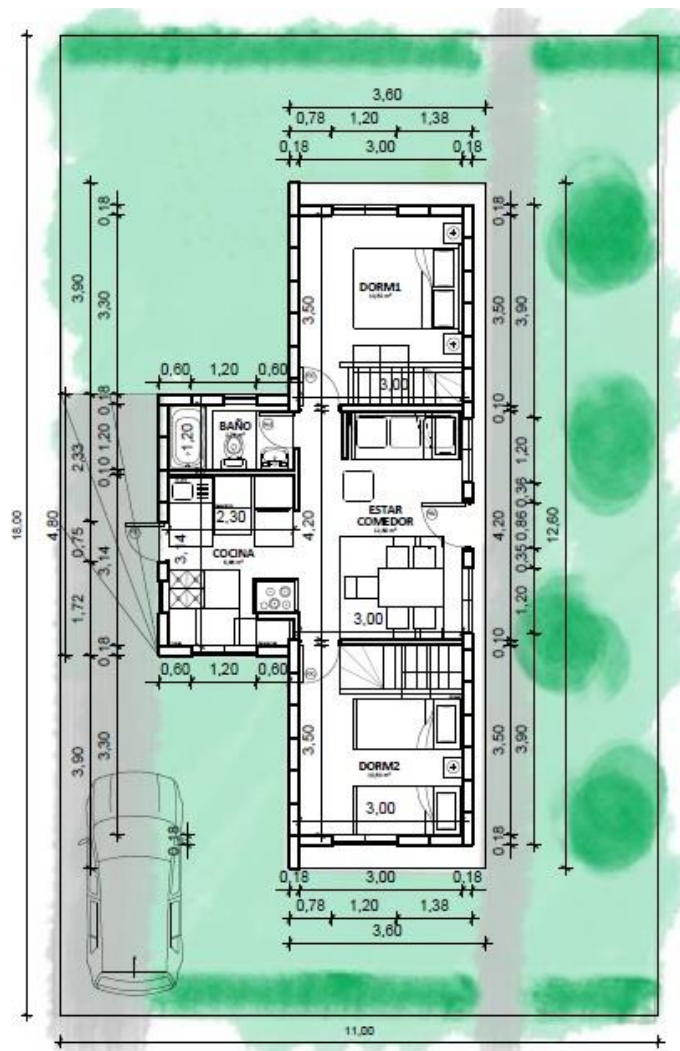
VERSIÓN FINAL COMITÉ - prNCh1207/1

1
2
3
4
5
6
7
8 Pino radiata, pino oregón, pino ponderosa - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los
9 grados de calidad
10
11
12
13
14
15
16
17 Preámbulo
18
19 El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las
20 normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR
21 STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT),
22 representando a Chile ante esos organismos.
23
24 Esta norma se estudió a través del Comité Técnico CL035 *Materiales de construcción*, Subcomité SC02 Madera
25 con el propósito de establecer los requisitos que debe cumplir el pino radiata aserrado o cepillado para uso
26 estructural, que se clasifica con un procedimiento visual.
27
28 Por no existir Norma Internacional, en la elaboración de esta norma se ha tomado en consideración los
29 antecedentes técnicos proporcionados por el Comité.
30
31 El Anexo A forma parte de la norma.
32
33 Esta norma reemplaza a la norma NCh1207:2005 *Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural -*
34 *Especificaciones de los grados de calidad* y la deja no vigente técnicamente.
35
36 Si bien se ha tomado todo el cuidado razonable en la preparación y revisión de los documentos normativos
37 producto de la presente comercialización, INN no garantiza que el contenido del documento es actualizado o
38 exacto o que el documento será adecuado para los fines esperados por el Cliente.
39
40 En la medida permitida por la legislación aplicable, el INN no es responsable de ningún daño directo, indirecto,
41 punitivo, incidental, especial, consecencial o cualquier daño que surja o esté conectado con el uso o el uso
42 indebido de este documento.
43

- 44
45
46
47
48
49
50
51 Pino radiata, pino oregón, pino ponderosa - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los
52 grados de calidad
53
54
55
56
57
58
59
60 1 Alcance y campo de aplicación
61
62 1 Alcance y campo de aplicación
- 63 1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir cada pieza de madera aserrada o cepillada, seca (con un
64 contenido de humedad menor o igual a 19%) de pino radiata, pino oregón o pino ponderosa destinada a uso
65 estructural, que se clasifica con un procedimiento visual. Las tolerancias dimensionales se deben ajustar a las
66 especificaciones de NCh2824.
67
68 1.2 Esta norma define tres grados: GS, G1 y G2
69
70 GS: Su aplicación usual es el de elemento estructural sometido a grandes solicitaciones.
71
72 G1: Adecuado especialmente para vigas, pisos y entramados de techos.
73
74 G2: Adecuado especialmente para tabiquerías de paredes estructurales.
75
76 Las propiedades mecánicas admisibles asociadas a estos grados mecánicos se indican en NCh1198.
77
78 2 Referencias normativas
79
80 Los documentos siguientes son indispensables para la aplicación de este proyecto de norma. Para referencias con
81 fecha, sólo se aplica la edición citada. Para referencias sin fecha se aplica la última edición del documento
82 referenciado (incluyendo cualquier enmienda).
- NCh173 *Madera - Terminología general.*
NCh176/1 *Madera - Parte 1: Determinación de humedad.*
NCh992 *Madera - Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de medición.*
NCh2824 *Maderas - Pino radiata - Unidades, dimensiones y tolerancias.*
- 83
84 3 Términos y definiciones
85
86 Para los propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones indicados en NCh173 y NCh992 y
87 los que se indican a continuación, prevaleciendo, en los casos que se presenten diferencias entre ambos
88 documentos, las incluidas en esta norma, y adicionalmente los siguientes:
89

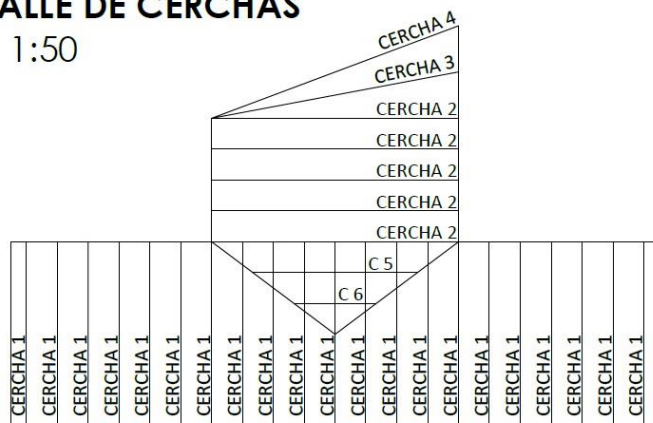
6.1 PLANOS DE ARQUITECTURA PROYECTO “LA CASA DE ASERRÍN”



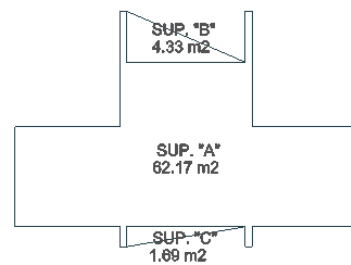
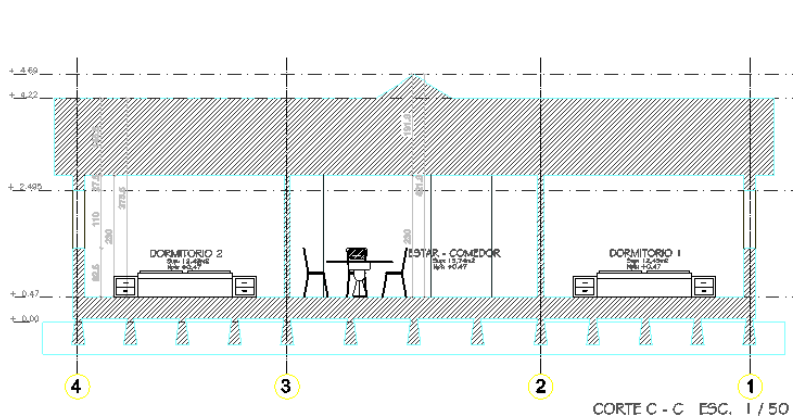
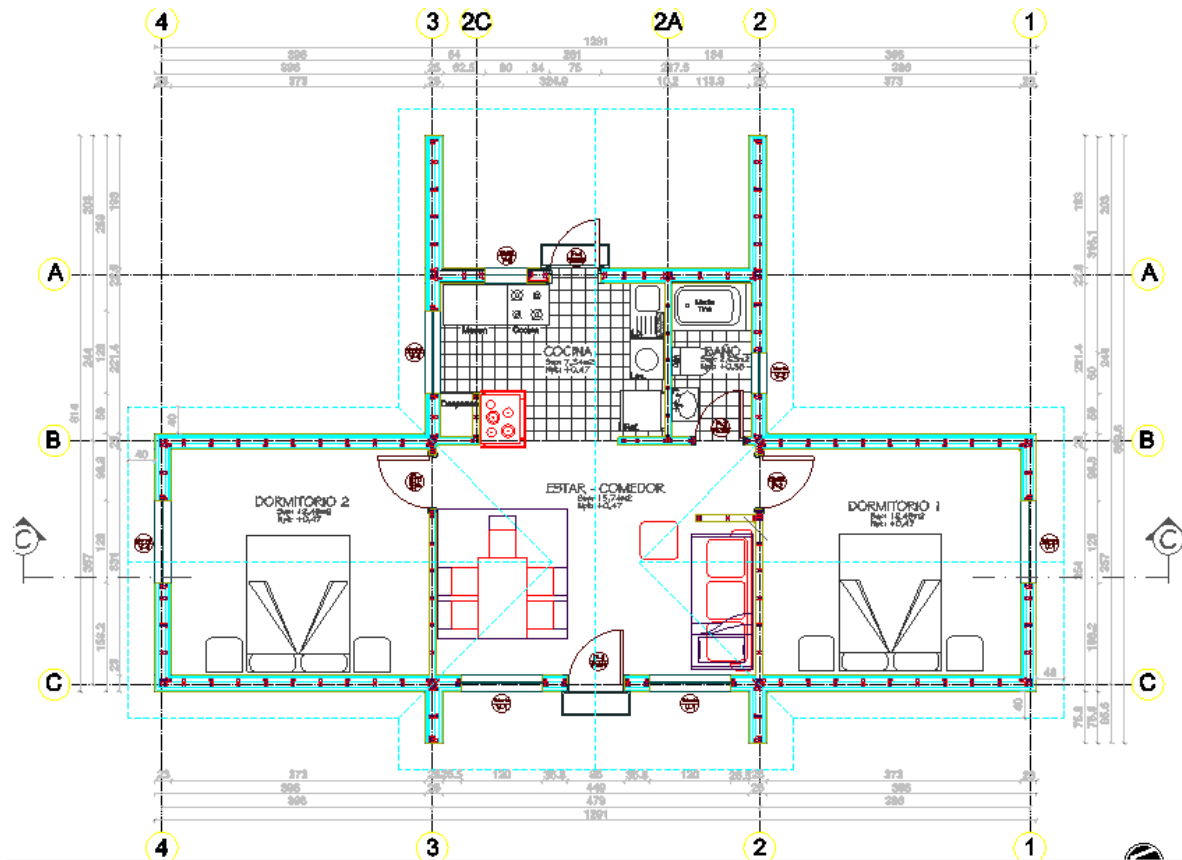


DETALLE DE CERCHAS

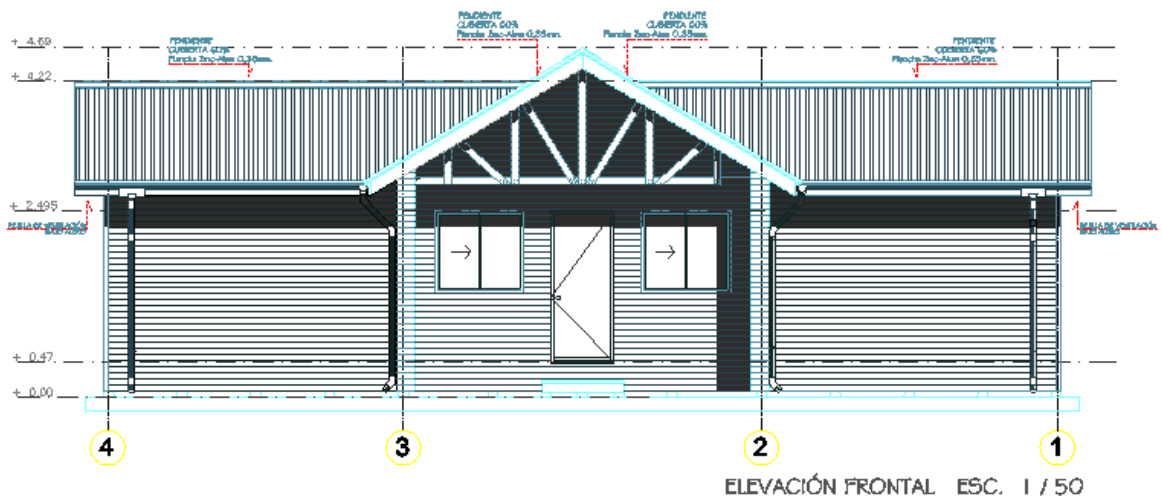
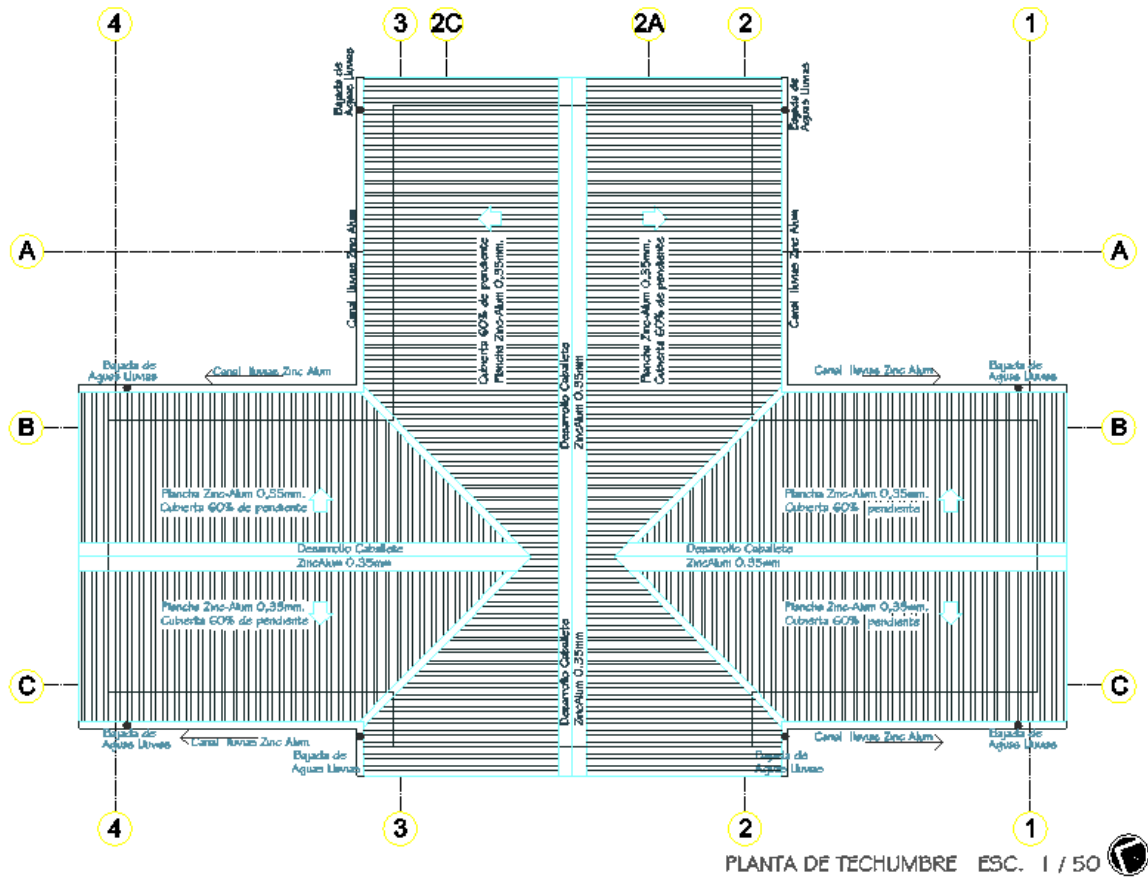
esc 1:50

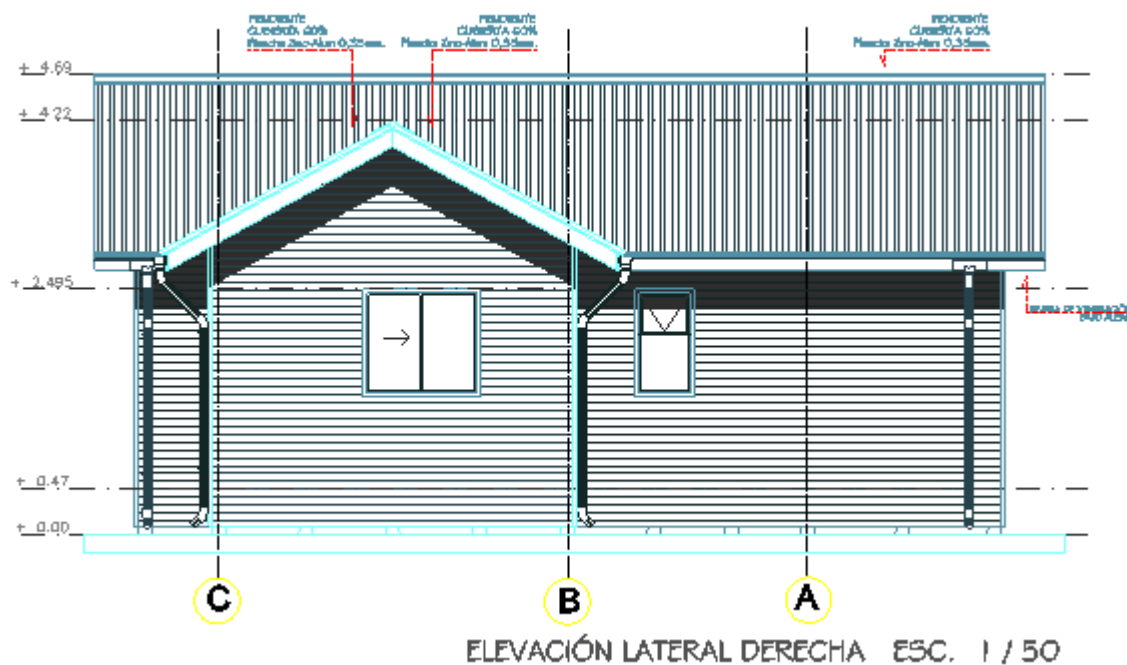
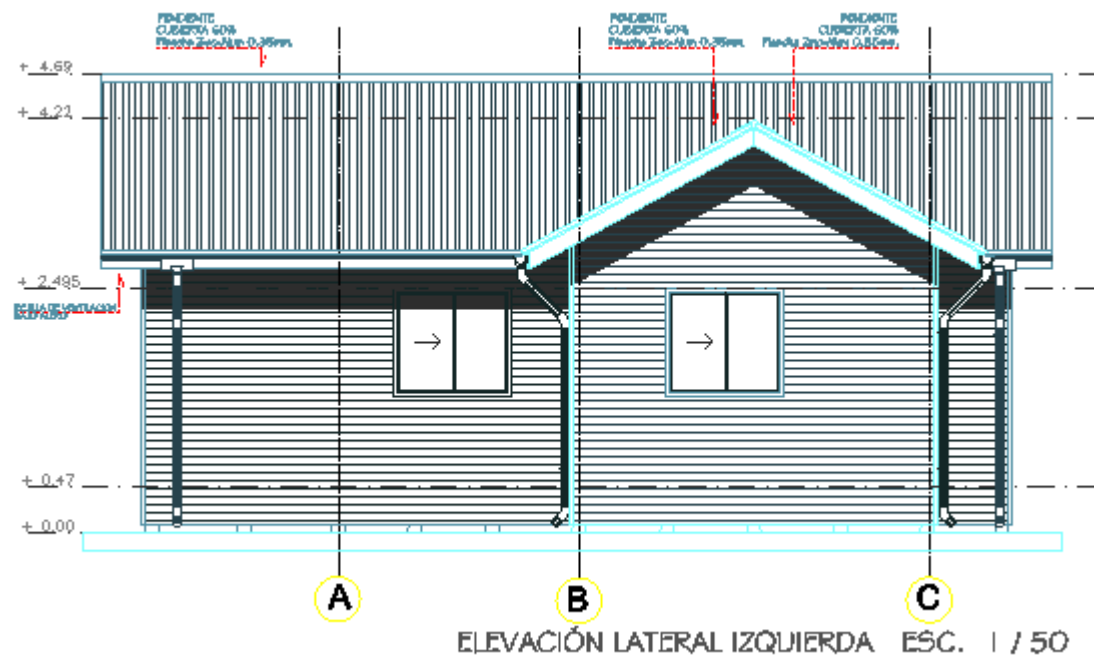


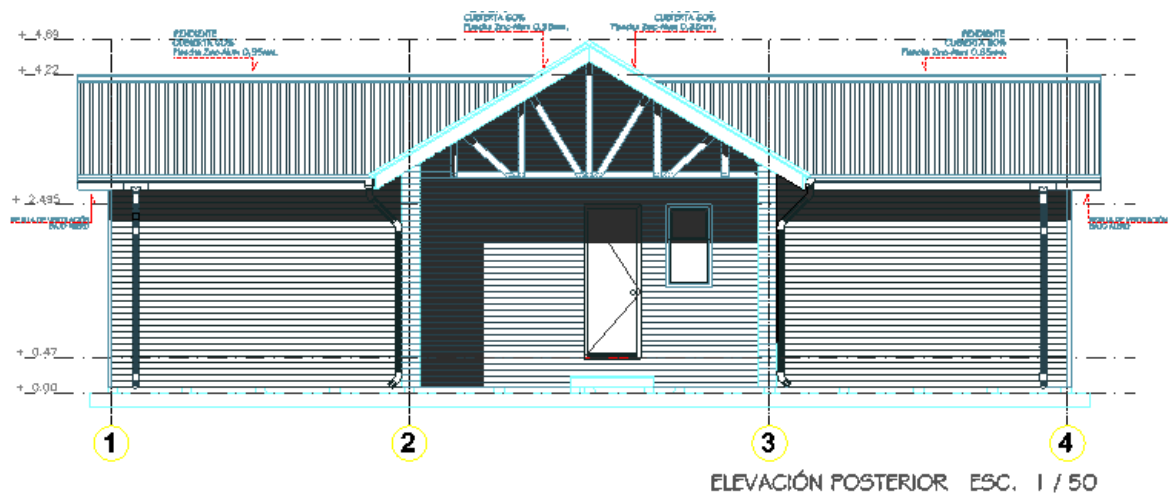
6.2. PLANOS DE INGENIERÍA PROYECTO “LA CASA DE ASERRÍN”



CUADRO DE SUPERFICIES		
PRIMER PISO	A	62.17 m²
PRIMER PISO	B	4.33 m²
PRIMER PISO	C	1.69 m²
	SUB-TOTAL	68.19 m²
TOTAL		68.19 m²







SEDE DIAGUITAS

Juan Georgini Runi 1507, La Serena
(56-9) 6589 32 11

SEDE METROPOLITANA

Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Fono: (56-2) 2366 71 20

SEDE BIO BIO

Camino a Coronel km. 7,5, San Pedro de la Paz, Concepción
Fono / Fax: (56-41) 285 32 60

SEDE LOS RÍOS

Fundo Teja Norte s/n, Valdivia
Fono: (56-63) 233 52 00

OFICINA CHILOÉ

Oficina Chiloé
Guarategua Lepe s/n, Nercón.
(56-65) 263 36 41

SEDE PATAGONIA

Camino Coyhaique Alto Km. 4,5, Coyhaique
Fono: (56-9) 883 18 60



INFOR

www.infor.cl