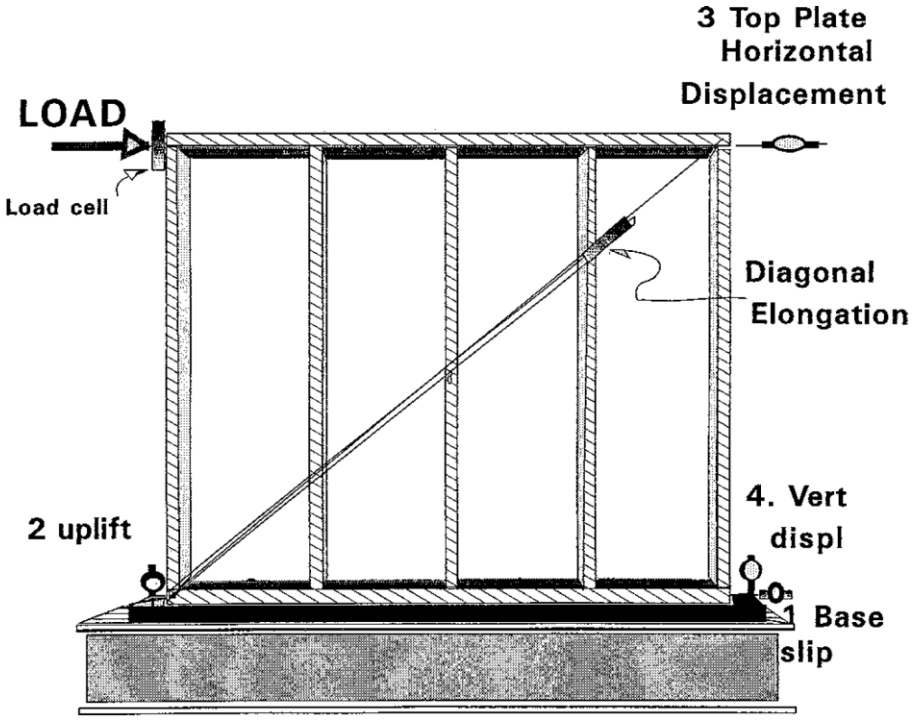
Informe Técnico N° 191

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA



INSTITUTO FORESTAL
2012

Informe Técnico N° 191

INSTITUTO FORESTAL
UNIDAD DE TÉCNOLOGÍA E INDUSTRIAS DE LA MADERA

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Autores
Luis Vásquez V.[1]
Gonzalo Hernández C.[2]
Raúl Campos P.[3]
Marcelo González R.[4]

[1] Instituto Forestal. luis.vasquez@infor.cl
[2] Instituto Forestal. gonzalo.hernandez@infor.cl
[3] Instituto Forestal. raul.campos@infor.cl
[4] Instituto Forestal. marcelo.gonzalez@infor.cl

INSTITUTO FORESTAL - Chile 2012
Caracterización Mecánica de Muros Estructurales de Madera
Informe Técnico N° 191
Unidad de Tecnología e Industria de la Madera, INFOR, Sede Bio Bio.
Estudio financiado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

ISBN N° 978-956-318-079-4

www.infor.cl

PRÓLOGO

Debido a la escasa información existente en el país sobre el comportamiento mecánico de las viviendas con estructura de madera, particularmente sobre la capacidad de los muros estructurales; el Instituto Forestal, junto con el apoyo de la División Técnica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, decidió realizar una serie de ensayos para caracterizar las tipologías de muros de madera más utilizadas en la construcción de viviendas que cuentan con financiamiento del Estado.

Esta publicación expone resultados de ensayos mecánicos de carga vertical, carga lateral, carga de flexión y carga de impacto, aplicados sobre 4 configuraciones de muros con estructura de madera, considerando dos sistemas de anclaje. Los muros de madera fueron construidos según el sistema constructivo plataforma, en base a pie derechos de madera aserrada estructural de Pino radiata y placa arriostrante OSB fijada bajo un esquema de clavado específico. A partir de los resultados de los ensayos mecánicos se estimaron capacidades admisibles de los muros frente a cargas de compresión y de corte, valores que son de utilidad para el diseño estructural.

Adicionalmente se realizaron ensayos de resistencia al fuego y aislación acústica, junto con cálculos térmicos, sobre 4 soluciones constructivas de muros considerando diferentes revestimientos de uso común en la construcción de viviendas. Esta caracterización físico-ambiental permitirá el uso de las soluciones de muros ensayadas en la construcción habitacional de nuestro país, dando cumplimiento a las exigencias de resistencia al fuego y de aislación térmica dispuesta por la División Técnica de Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

La información que entrega esta publicación tiene por objetivo ser un texto de consulta para arquitectos, ingenieros, constructores y estudiantes de carreras técnicas y universitarias relacionadas con el área de la construcción habitacional.

La presente publicación “Caracterización Mecánica de Muros Estructurales de Madera”, fue financiada con recursos provenientes de convenio 2012, suscrito entre la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y el Instituto Forestal (INFOR).

Participaron en este estudio los profesionales y técnicos de la Unidad de Tecnología e Industrias de la Madera del INFOR Srs. Luís Vásquez Valenzuela, Gonzalo Hernández Careaga, Raúl Campos Pous y Marcelo González Retamal.

ÍNDICE

CAPITULO 1: CUADROS RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y FÍSICO-AMBIENTAL DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA 1

CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA 7

2.1 METODOLOGÍA 8

2.1.1 Tipologías de muros con estructura de madera. 8

2.1.2 Metodología de ensayos 11

2.1.2.1 Ensayo de compresión 11

2.1.2.2 Ensayo de carga horizontal 12

2.1.2.3 Ensayo de flexión 13

2.1.2.4 Ensayo de impacto 14

2.2 RESULTADOS 16

2.2.1 Ensayo de compresión 16

2.2.2 Ensayo de carga horizontal 21

2.2.3 Ensayo de flexión 27

2.2.4 Ensayo de impacto 33

2.2.5 Cargas admisibles para el diseño estructural 36

2.3 CONCLUSIONES 38

2.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 39

2.5 ANEXOS CARACTERIZACIÓN MECÁNICA MUROS DE MADERA 40

2.5.1 Capacidad admisible en compresión 40

2.5.2 Capacidad admisible en corte 44

CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-AMBIENTAL DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA 51
3.1 METODOLOGÍA 52
3.1.1 Soluciones constructivas de muros con estructura de madera 52
3.1.2 Metodología de cálculo y ensayos. 56
3.1.2.1 Cálculos térmicos 56
3.1.2.2 Ensayo de resistencia al fuego 56
3.1.2.3 Ensayo de aislación acústica 60
3.2 RESULTADOS 64
3.2.1 Comportamiento térmico 64
3.2.2. Comportamiento frente al fuego. 66
3.2.3. Comportamiento acústico. 70
3.3 CONCLUSIONES 72
3.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73
3.5 ANEXOS CARACTERIZACIÓN FÍSICO-AMBIENTAL MUROS DE MADERA 75
3.5.1 Cálculos térmicos de muros 75

CAPITULO 1: CUADROS RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y FÍSICO-AMBIENTAL DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA

CAPACIDADES ADMISIBLES DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA					
Configuraciones		**Placa arriostrante OSB** Fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm			
		9,5 mm de espesor		11,1 mm de espesor	
		Capacidad admisible en compresión [kg/m]	Capacidad admisible en corte [kg/m]	Capacidad admisible en compresión [kg/m]	Capacidad admisible en corte [kg/m]
Pie derechos Madera aserrada estructural G2. Fijación con clavos helicoidales de 3''	Escuadria 45x69 mm (2x3) @ 600 mm	1.540	141	1.700	156
	Escuadría 45x94 mm (2x4) @ 600 mm	3.430	147	3.540	198

Notas:

- Las especificaciones para obtener madera estructural G2 de Pino radiata se encuentran en la norma chilena NCh 1207.

- El contenido de humedad de la madera debe ser menor a 19%, medida con xilohigrómetro según las especificaciones de la norma chilena NCh 2827. La humedad promedio de la madera utilizada en los muros ensayados fue de 16%.

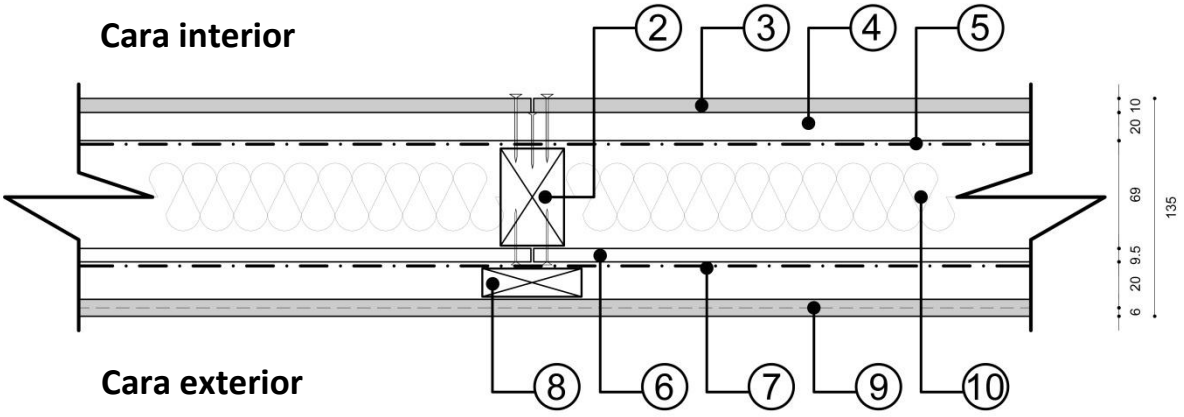
- Las tolerancias dimensionales permitidas en las piezas de madera aserrada estructural se fijaron según la norma chilena NCh 2824, las cuales señalan tolerancias de 0,+3 mm en el espesor; y 0,+5 mm en el ancho.

- La madera utilizada en los ensayos se encontraba preservada para clasificación de riesgo R3, según lo especificado en la norma chilena NCh 819.

- El sistema de anclaje a fundación consideró pernos de 3/8´´ y escuadra de acero modelo "A66", marca Simpson Strong-Tie.

- Las capacidades admisibles de los muros ensayados pueden ser utilizadas en forma conservadora para espaciamientos entre pie derechos menores a 600 mm.

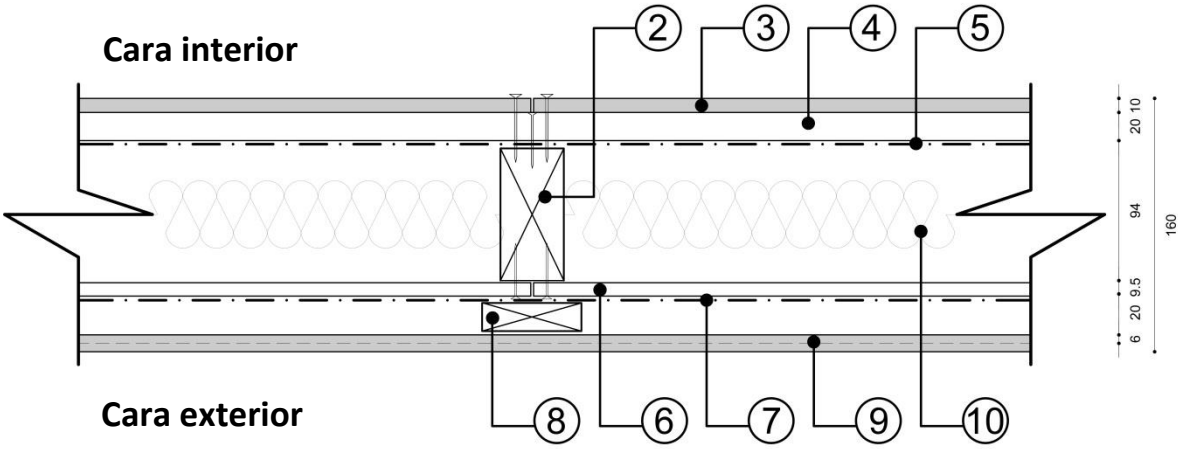
MURO 45X69-YESO CARTÓN-FIBROCEMENTO							
ESTRUCTURAL		**FUEGO**		**TÉRMICO**		**ACÚSTICO**	
Capacidad admisible en compresión	**1.540 kg/m**	Resistencia al fuego	**28 minutos**	U	**0,64 W/mK**	Índice de reducción acústica	**40 dBA**
Capacidad admisible en corte	**141 kg/m**	Clasificación	**F15**	Cumple Zonas Térmicas	**1, 2, 3, 4, 5 y 6**		



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm.
2	Pie derechos o montantes		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	Cara interior	Revestimiento	Plancha de yeso-cartón "ST" de 10 mm de espesor, fijada con clavos de yeso cartón de 1 5/8´´, distanciados a 250 mm a lo largo de los separadores horizontales. Sellos de unión entre planchas son con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso.
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6 x 190 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm, fijado con clavos "Terrano" de 1'', distanciados a 600 mm.
10	Aislación		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m^3 de densidad nominal.

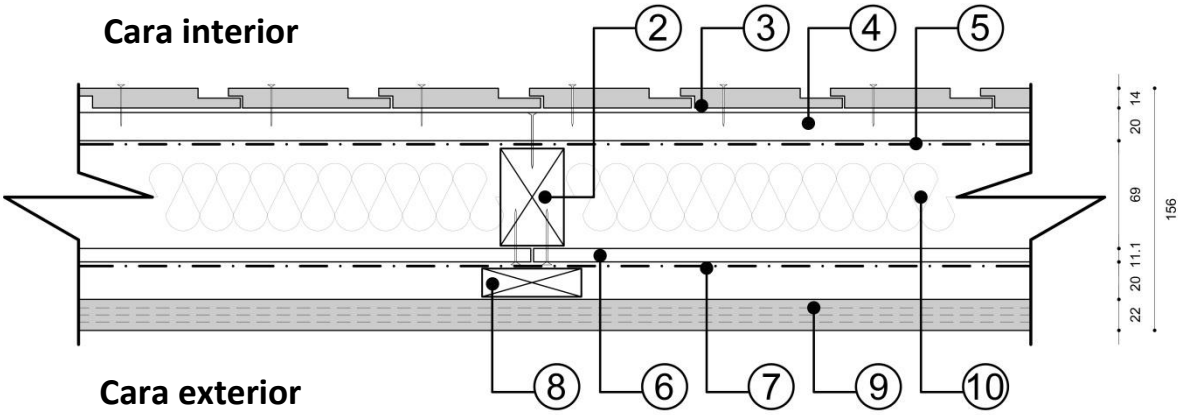
MURO 45X94-YESO CARTÓN-FIBROCEMENTO							
ESTRUCTURAL		**FUEGO**		**TÉRMICO**		**ACÚSTICO**	
Capacidad admisible en compresión	**3.430 kg/m**	Resistencia al fuego	**30 minutos**	U	**0,62 W/mK**	Índice de reducción acústica	**42 dBA**
Capacidad admisible en corte	**147 kg/m**	Clasificación	**F30**	Cumple Zonas Térmicas	**1, 2, 3, 4, 5 y 6**		



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm.
2	Pie derechos o montantes		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	Cara interior	Revestimiento	Plancha de yeso-cartón "ST" de 10 mm de espesor, fijada con clavos de yeso cartón de 1 5/8´´, distanciados a 250 mm a lo largo de los separadores horizontales. Sellos de unión entre planchas son con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso.
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6 x 190 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm, fijado con clavos "Terrano" de 1'', distanciados a 600 mm.
10	Aislación		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m^3 de densidad nominal.

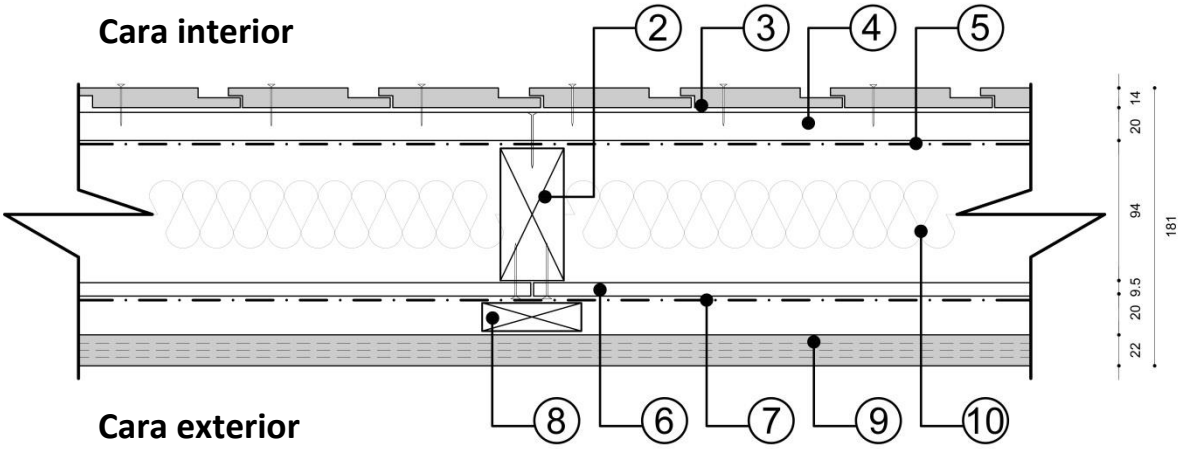
MURO 45X69-MADERA TINGLADA-MADERA CEPILLADA							
ESTRUCTURAL		**FUEGO**		**TÉRMICO**		**ACÚSTICO**	
Capacidad admisible en compresión	**1.700 kg/m**	Resistencia al fuego	**33 minutos**	U	**0,60 W/mK**	Índice de reducción acústica	**38 dBA**
Capacidad admisible en corte	**156 kg/m**	Clasificación	**F30**	Cumple Zonas Térmicas	**1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7**		



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm.
2	Pie derechos o montantes		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	Cara interior	Revestimiento	Tablas de madera tinglada de Pino radiata seca en cámara, de 14 x 115 mm (14 mm de espesor en zona de tinglado), colocadas en sentido vertical y fijado con clavos "Terrano" de 1''.
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento	Fajas de madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 115 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm y su fijación es con clavos helicoidales de 2''.
10	Aislación		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m^3 de densidad nominal.

MURO 45X94-MADERA TINGLADA-MADERA CEPILLADA							
ESTRUCTURAL		FUEGO		TÉRMICO		ACÚSTICO	
Capacidad admisible en compresión	**3.540 kg/m**	Resistencia al fuego	**26 minutos**	U	**0,58 W/mK**	Índice de reducción acústica	**38 dBA**
Capacidad admisible en corte	**198 kg/m**	Clasificación	**F15**	Cumple Zonas Térmicas	**1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7**		



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm.
2	Pie derechos o montantes		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	Cara interior	Revestimiento	Tablas de madera tinglada de Pino radiata seca en cámara, de 14 x 115 mm (14 mm de espesor en zona de tinglado), colocadas en sentido vertical y fijado con clavos “Terrano” de 1’’.
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera “OSB” de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2’’, distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento	Fajas de madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 115 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm y su fijación es con clavos helicoidales de 2’’.
10	Aislación		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m^3 de densidad nominal.

CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA

2.1 METODOLOGÍA

Para caracterizar mecánicamente las tipologías de muros con estructura de madera se realizaron ensayos de compresión, carga horizontal, flexión e impacto.

2.1.1 Tipologías de muros con estructura de madera

Las tipologías de muros de madera sometidas a los ensayos de compresión y carga horizontal se observan en la tabla 2.1, todas las cuales presentaron un sistema de anclaje unido a una viga de fundación de hormigón. En tanto, los tipos de muro sometidos a los ensayos de flexión e impacto se describen en la tabla 2.2.

El tamaño de todas las probetas fue de 1,22 m de ancho por 2,44 m de alto, y la tipología típica de los muros ensayados se puede observar en la figura 2.1

Tabla 2.1: Tipologías de muros de madera sometidos a ensayos de compresión y carga horizontal

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Sistema de anclaje
ME-2x3-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera “OSB” de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2’’, distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 “espárragos”, fierro estriado de 8 mm de diámetro
MP-2x3-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera “OSB” de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2’’, distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 pernos de anclaje, zincados, grado 2, de 3/8’’ de diámetro; con escuadras de acero modelo “A66”, marca Simpson Strong-Tie.
MP-2x3-11	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera “OSB” de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2’’, distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 pernos de anclaje, zincados, grado 2, de 3/8’’ de diámetro; con escuadras de acero modelo “A66”, marca Simpson Strong-Tie.

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Sistema de anclaje
MP-2x4-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x94 mm (2x4); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 pernos de anclaje, zincados, grado 2, de 3/8'' de diámetro; con escuadras de acero modelo "A66", marca Simpson Strong-Tie.
MP-2x4-11	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x94 mm (2x4); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 pernos de anclaje, zincados, grado 2, de 3/8'' de diámetro; con escuadras de acero modelo "A66", marca Simpson Strong-Tie.

Nota: M: Muro; E: Esparrago; P: Perno

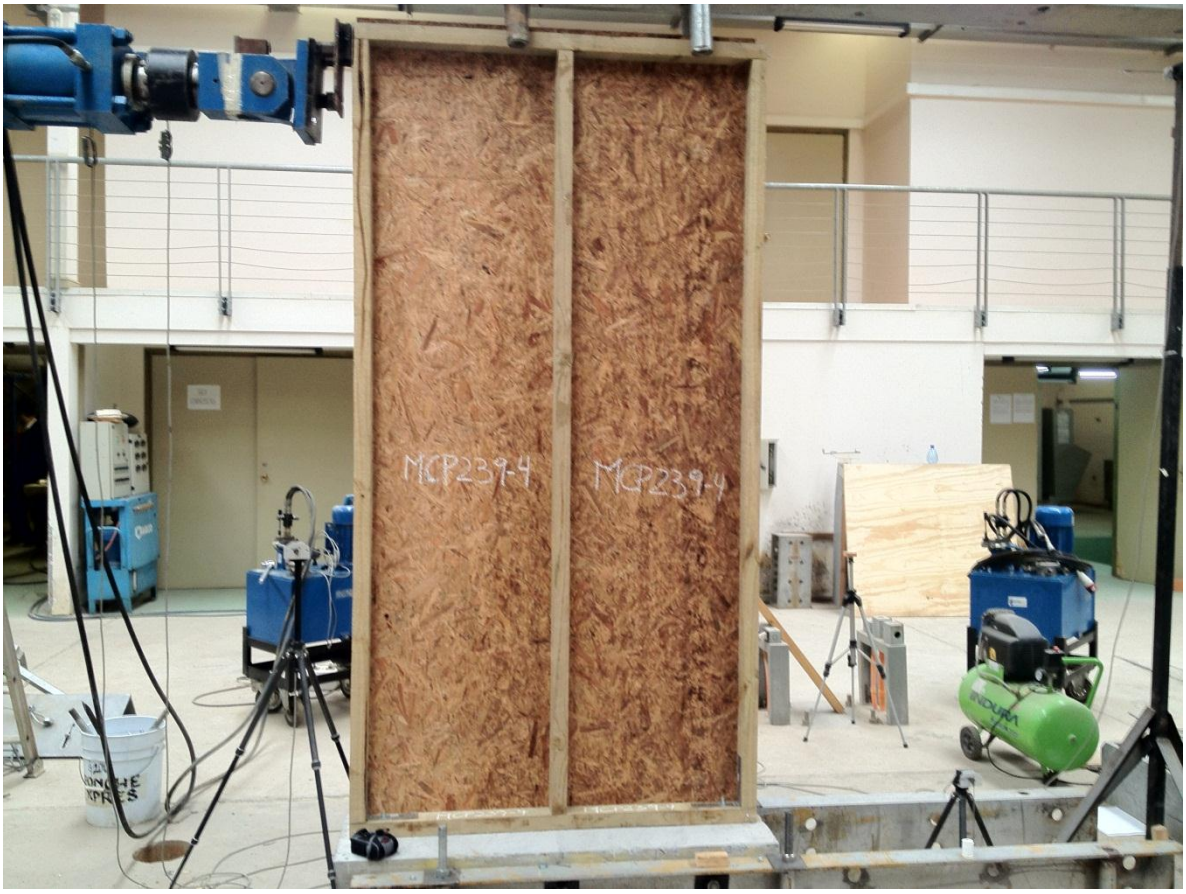
Tabla 2.2: Tipologías de muros de madera sometidos a ensayos de flexión e impacto

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Orientación placa arriostrante
MI-2x3-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara sin placa arriostrante
MS-2x3-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara con placa arriostrante
MS-2x3-11	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara con placa arriostrante

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Orientación placa arriostrante
MS-2x4-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x94 mm (2x4); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera “OSB” de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2’’, distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara con placa arriostrante
MS-2x4-11	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x94 mm (2x4); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera “OSB” de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2’’, distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara con placa arriotrante

Nota: M: Muro; I: Inferior; S: Superior

Figura 2.1: Tipología típica de muros con estructura de madera ensayados.



2.1.2 Metodología de ensayos

Todos los ensayos mecánicos de los muros de madera se realizaron en el Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural del Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bio Bio (CITEC UBB). Los equipos utilizados para realizar las mediciones aparecen en la tabla 2.3

Tabla 2.3: Equipamiento experimental del CITEC UBB

Equipo	Características
Marco de carga	Estructura metálica con capacidad de 50 toneladas
Celda de carga	Con capacidad de 50 toleladas y recorrido de pistón de 100 mm
Transductores de desplazamiento	Del tipo hilo-polea, con capacidad de medir desplazamientos verticales y horizontales
Sistema de adquisición de datos	Con capacidad de registrar simultáneamente carga aplicada, desplazamiento de cilindro y 4 transductores de desplazamiento.
Sistema de sujeción impacto	Estructura metálica con capacidad de restringir desplazamientos en borde superior e inferior del panel (ensayo en posición vertical)
Saco de impacto	Masa de 27 kg, con cuerdas y poleas que permiten generar distintas alturas de caída

2.1.2.1 Ensayo de compresión

El método de ensayo aplicado es el descrito en la norma chilena NCh 801.of2003: Elementos de construcción – Paneles – Ensayo de compresión; sin embargo se realizaron las siguientes modificaciones al método de ensayo:

- La restricción inferior de los muros se generó a través de los sistemas de anclaje a la viga de fundación propuestos.
- Por cada tipología constructiva se evaluaron 5 probetas, dando un total de 25 ensayos.
- La carga vertical se aplicó monotónicamente de manera continua hasta la falla. No se realizaron incrementos discretos de carga ni se midieron desplazamientos residuales.

La implementación del ensayo se muestra en la figura 2.2.

Figura 2.2: Implementación del ensayo de compresión en muros con estructura de madera.

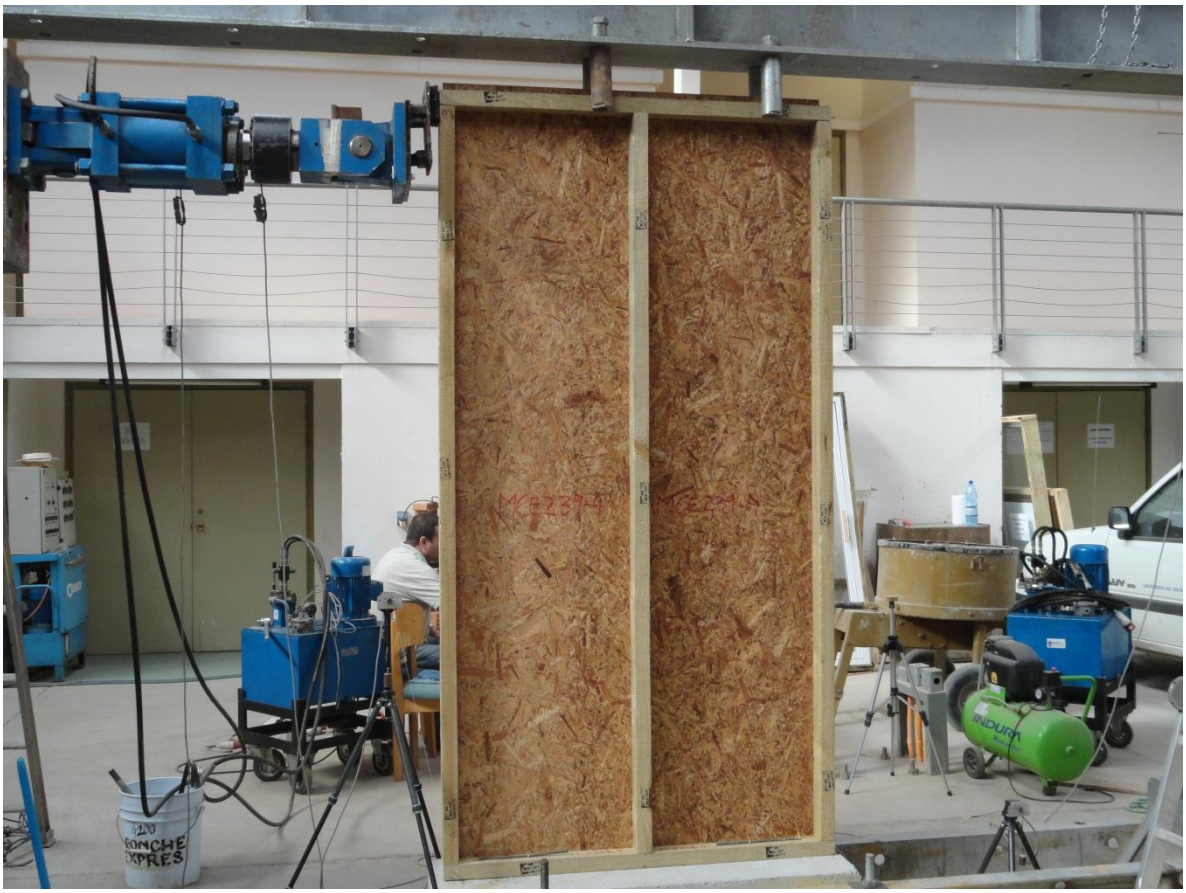
2.1.2.2 Ensayo de carga horizontal

El método de ensayo aplicado es el descrito en la norma chilena NCh 802.Eof71: Arquitectura y construcción – Paneles prefabricados – Ensayo de carga horizontal; sin embargo se realizaron las siguientes modificaciones al método de ensayo:

- La restricción horizontal inferior de los muros se generó a través de los sistemas de anclaje a la viga de fundación propuestos.
- No se restringió el desplazamiento vertical del panel en la zona de aplicación de carga.
- Por cada tipología constructiva se evaluaron 5 probetas, dando un total de 25 ensayos.
- La carga horizontal se aplicó monotónicamente de manera continua hasta la falla. No se realizaron incrementos discretos de carga ni se midieron desplazamientos laterales residuales.

La implementación del ensayo se muestra en la figura 2.3.

Figura 2.3: Implementación del ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera.



2.1.2.3 Ensayo de flexión

El método de ensayo empleado es el descrito en la norma chilena NCh 803.of2003: Elementos de construcción – Paneles – Ensayos de flexión; sin embargo se realizó la siguiente modificación al método de ensayo:

- La carga horizontal se aplicó monotónicamente de manera continua hasta la falla. No se realizaron incrementos discretos de carga ni se midieron desplazamientos verticales residuales.
- Sólo la tipología de muros con pies derechos de 45x69 mm (2x3) cada 60 mm uno de otro y placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor, fue ensayada en flexión en sus dos caras (MS-2x3-9 y MI-2x3-9).

La implementación del ensayo se muestra en la figura 2.4.

Figura 2.4: Implementación del ensayo de flexión en muros con estructura de madera.

2.1.2.4 Ensayo de impacto

El método de ensayo empleado es el descrito en la norma chilena NCh 804.of2003: Elementos de construcción – Paneles – Ensayo de impacto; sin embargo se realizaron las siguientes modificaciones al método de ensayo:

- No se registraron desplazamientos laterales residuales en los paneles debido a que son muy cercanos a cero.
- Sólo la tipología de muros con pies derechos de 45x69 mm (2x3) cada 60 mm uno de otro y placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor, fue ensayada a impacto en sus dos caras (MI-2x3-9 y MS-2x3-9)

La implementación del ensayo se muestra en la figura 2.5.

Figura 2.5: Implementación del ensayo de impacto en muros con estructura de madera.

2.2 RESULTADOS

2.2.1 Ensayo de compresión

Los resultados de carga vertical máxima y desplazamiento perpendicular al plano del muro asociado a la carga máxima, se observan en las tablas 2.4 y 2.5 respectivamente. En tanto, las figuras 2.6 a 2.10 muestran los gráficos carga-desplazamiento de las cinco tipologías ensayadas.

Al comparar la tipología de muro ME-2x3-9 con MP-2x3-9, se puede apreciar que el valor promedio es mayor para la tipología con anclaje de fierro estriado de 8 mm; sin embargo no se evidencian diferencias significativas entre ambas tipologías. Por otro lado observando los valores de las tipologías con sistema de pernos de anclaje y ángulo (MP-2x3-9, MP-2x3-11, MP-2x4-9 y MP-2x4-11), se aprecia una clara influencia de la escuadría de los pies derechos en la capacidad resistente de los muros a la compresión, donde la escuadría 45x94 mm (2x4) presenta valores entre 92% y 130% mayores a las tipologías con escuadría de 45x69 mm (2x3). Finalmente no se observa un incremento importante en la resistencia a la compresión, entre las tipologías de muro de una misma escuadría, al aumentar el espesor de la placa arriostrante de 9,5 mm a 11,1 mm (ver tabla 2.4).

De manera análoga al párrafo anterior, los resultados asociados a los desplazamientos laterales perpendiculares al plano del muro correspondiente a los niveles de carga máxima, evidencian que no existe una diferencia entre los sistemas de anclaje de fierro estriado, y perno de anclaje más ángulo. También se aprecia que el aumento de escuadría de 45x69 mm (2x3) a 45x94 (2x4) permite reducir entre un 55% y 62% el pandeo del muro por flexión. Finalmente no existen diferencias significativas en los desplazamientos laterales de las tipologías de muro de una misma escuadría al aumentar el espesor de la placa arriostrante de 9,5 mm a 11,1 mm (ver tabla 2.5).

Tabla 2.4: Carga vertical máxima en muros con estructura de madera

N° ensayo	Carga máxima vertical [t]				
	ME-2x3-9	**MP-2X3-9**	**MP-2X3-11**	**MP-2X4-9**	**MP-2X4-11**
1	8,38	7,97	8,78	16,07	17,38
2	7,05	7,08	7,73	20,98	15,95
3	10,09	8,44	10,28	17,04	19,61
4	7,08	8,06	10,59	17,86	19,89
5	8,06	6,76	9,81	17,13	---
Promedio	**8,13**	**7,66**	**9,44**	**17,82**	**18,21**
Desv. estándar	**1,24**	**0,71**	**1,18**	**1,88**	**1,88**
Coef. de variación	**0,15**	**0,09**	**0,12**	**0,11**	**0,10**

Tabla 2.5: Desplazamiento perpendicular al plano del muro asociado a carga vertical máxima.

N° ensayo	Pandeo para carga máxima [mm]				
	ME-2x3-9	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	39,14	37,45	38,85	17,00	20,00
2	21,40	25,13	33,45	15,47	16,17
3	15,00	26,95	13,32	4,77	2,38
4	27,97	15,33	10,34	8,46	3,28
5	24,86	40,62	19,88	8,93	---
Promedio	**25,67**	**29,10**	**23,17**	**10,93**	**10,46**
Desv. estándar	**8,94**	**10,15**	**12,49**	**5,14**	**8,95**
Coef. de variación	**0,35**	**0,35**	**0,54**	**0,47**	**0,86**

Figura 2.6: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología ME 2x3-9.

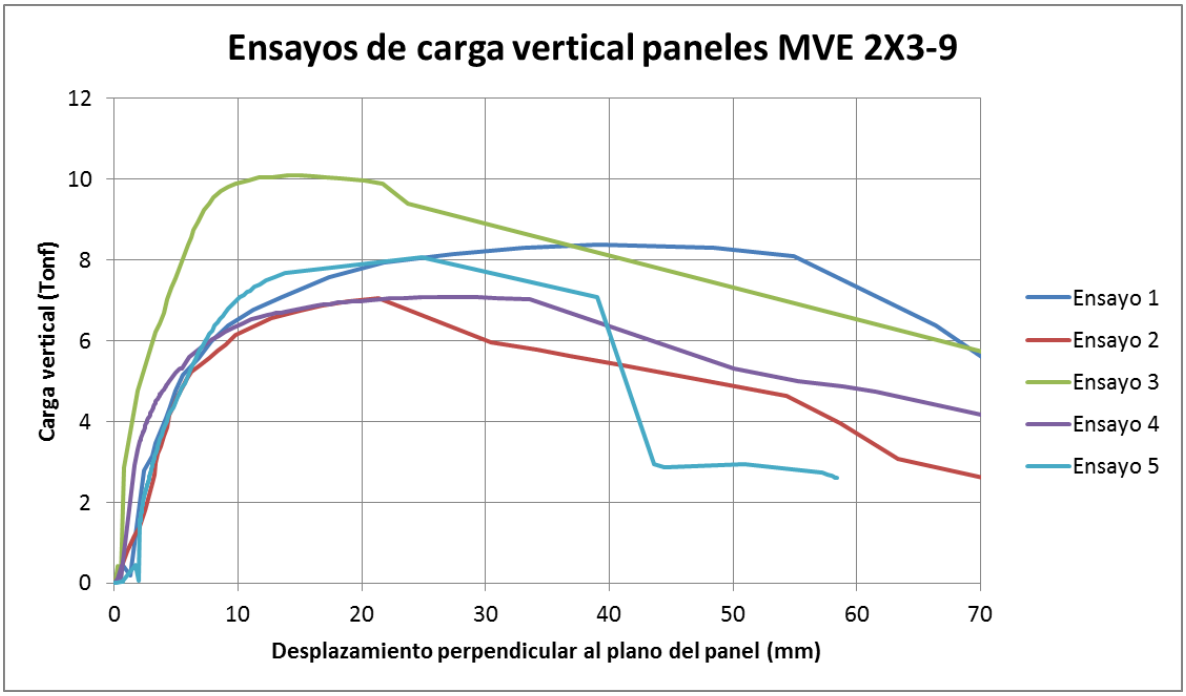


Figura 2.7: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología MP 2x3-9.

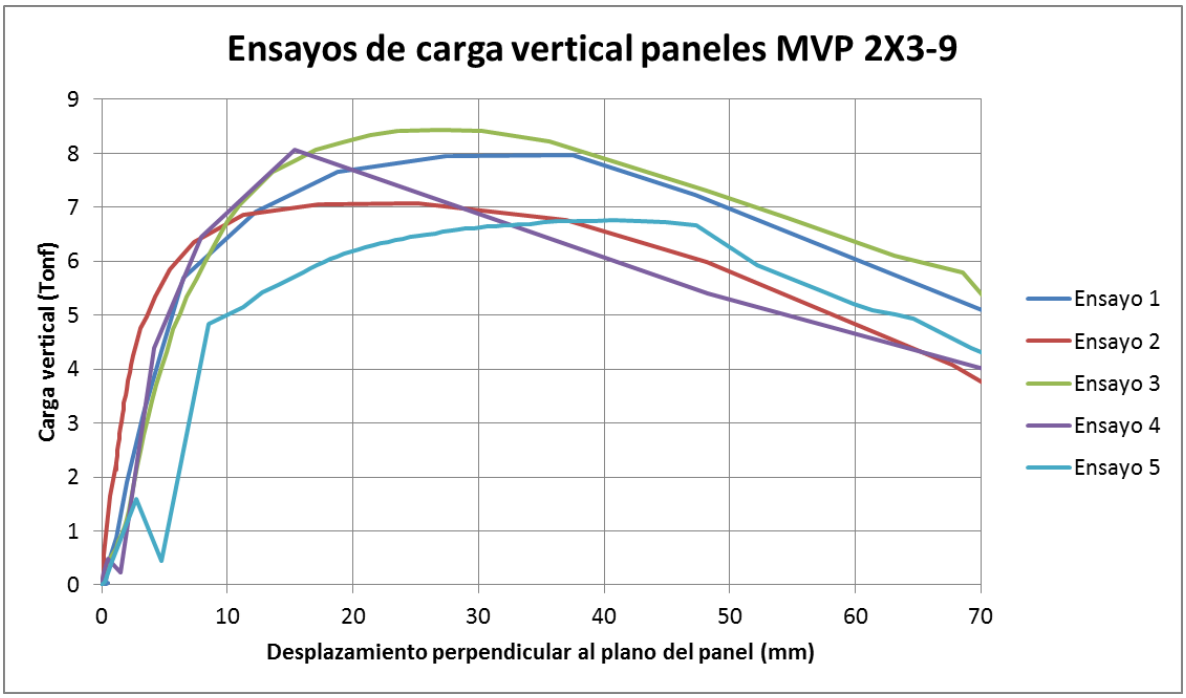


Figura 2.8: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología MP 2x3-11.

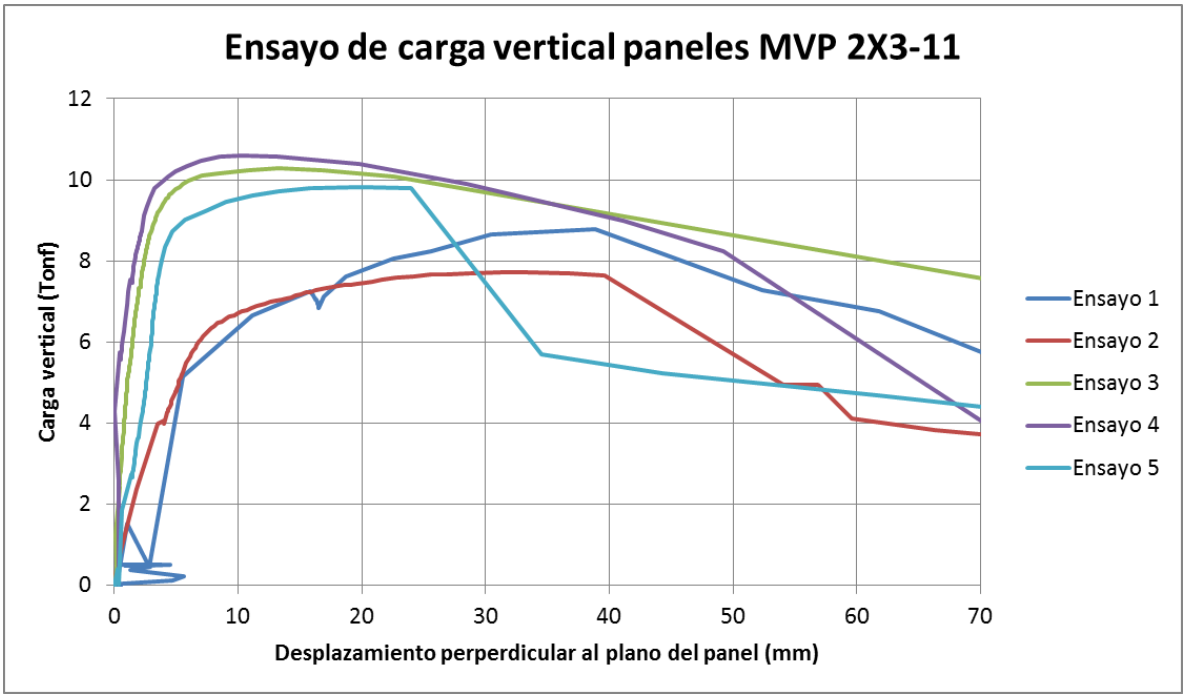


Figura 2.9: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología MP 2x4-9.

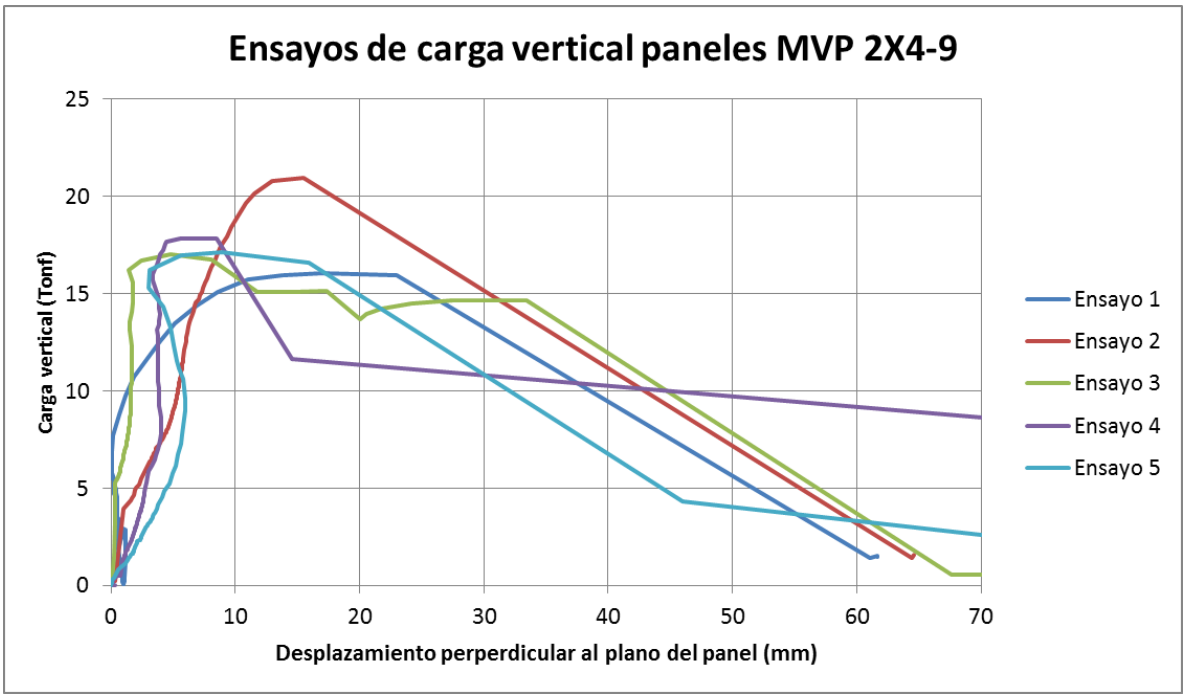
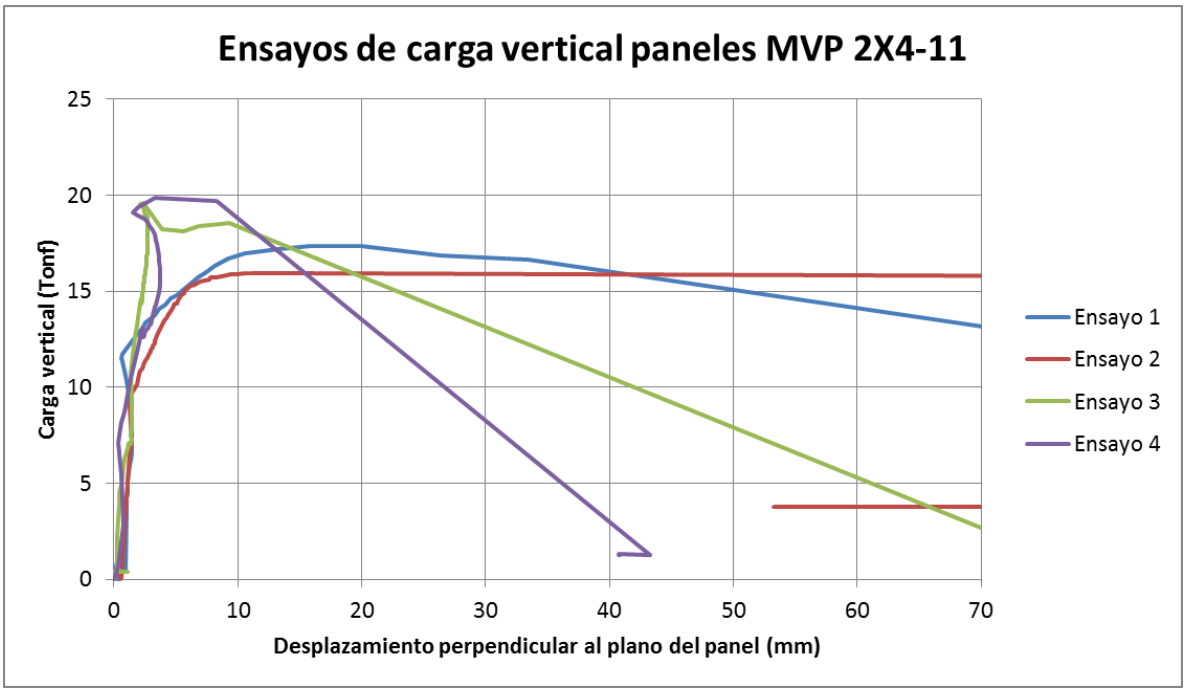


Figura 2.10: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología MP 2x4-11.



En la figura 2.11, se puede apreciar el modo de falla característico evidenciado en todas las tipologías de muros ensayados, los cuales presentaron pandeo por flexión de los pies derechos (fuera del plano del panel). La falla característica muchas veces se vio acelerada por la presencia de nudos en los pies derechos. Se observó además que la placa arriostrante OSB es eficiente para evitar el pandeo por flexión de los pies derechos con respecto a su eje débil, sin necesidad de instalar apoyos laterales adicionales como cadenetas.

Figura 2.11: Modo de falla característico de ensayo de carga vertical en muros con estructura de madera.

2.2.2 Ensayo de carga horizontal

Los resultados de carga horizontal máxima y desplazamiento lateral para carga máxima, se observan en las tablas 2.6 y 2.7 respectivamente. En tanto, las figuras 2.12 a 2.16 muestran los gráficos carga-desplazamiento de las cinco tipologías ensayadas.

Al comparar la tipología de muro ME-2x3-9 con MP-2x3-9, se puede apreciar una diferencia significativa, donde el cambio de sistema de anclaje "esparrago" al sistema "perno y escuadra" permitió un incremento del 85% en la resistencia promedio a la carga lateral de la tipología de muro. Por otro lado observando los valores de las tipologías con sistema de anclaje "perno y escuadra" (MP-2x3-9, MP-2x3-11, MP-2x4-9 y MP-2x4-11), se aprecia una clara influencia de la escuadría de los pies derechos en la capacidad resistente de los muros al corte, donde la escuadría 45x94 mm (2x4) presenta valores entre 31% y 44% mayores a las tipologías con escuadría de 45x69 mm (2x3). Finalmente no se observa un incremento importante en la resistencia a la carga lateral promedio, entre las tipologías de muro de una misma escuadría, al aumentar el espesor de la placa OSB de 9,5 mm a 11,1 mm (ver tabla 2.6).

De la tabla 2.7 se puede apreciar que los desplazamientos laterales asociados a la carga horizontal máxima, no presentaron diferencias significativas entre las tipologías de muro ensayadas. Se observaron valores promedio que variaron entre 60 mm y 79 mm.

Tabla 2.6: Carga horizontal máxima en muros con estructura de madera.

N° ensayo	Carga máxima horizontal [t]				
	ME-2x3-9	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	0,280	0,620	0,510	0,730	0,910
2	0,300	0,460	0,500	0,690	0,650
3	0,320	0,500	0,460	1,130	0,720
4	0,320	0,570	0,520	0,490	0,670
5	0,230	0,530	0,540	0,470	0,690
Promedio	**0,290**	**0,536**	**0,506**	**0,702**	**0,728**
Desv. estándar	**0,037**	**0,062**	**0,030**	**0,266**	**0,105**
Coef. de variación	**0,13**	**0,12**	**0,06**	**0,38**	**0,14**

Tabla 2.7: Desplazamiento lateral para carga horizontal máxima en muros con estructura de madera.

N° ensayo	Desplazamiento lateral para carga máxima [mm]				
	ME-2x3-9	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	72,48	88,58	24,58	72,48	80,87
2	66,70	70,28	60,83	80,35	80,41
3	66,65	71,81	59,94	78,77	79,88
4	79,55	80,44	76,93	70,11	79,21
5	86,37	79,54	77,76	76,17	76,16
Promedio	**74,35**	**78,13**	**60,01**	**75,58**	**79,31**
Desv. estándar	**8,56**	**7,38**	**21,55**	**4,27**	**1,86**
Coef. de variación	**0,12**	**0,09**	**0,36**	**0,06**	**0,02**

Figura 2.12: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología ME 2x3-9.

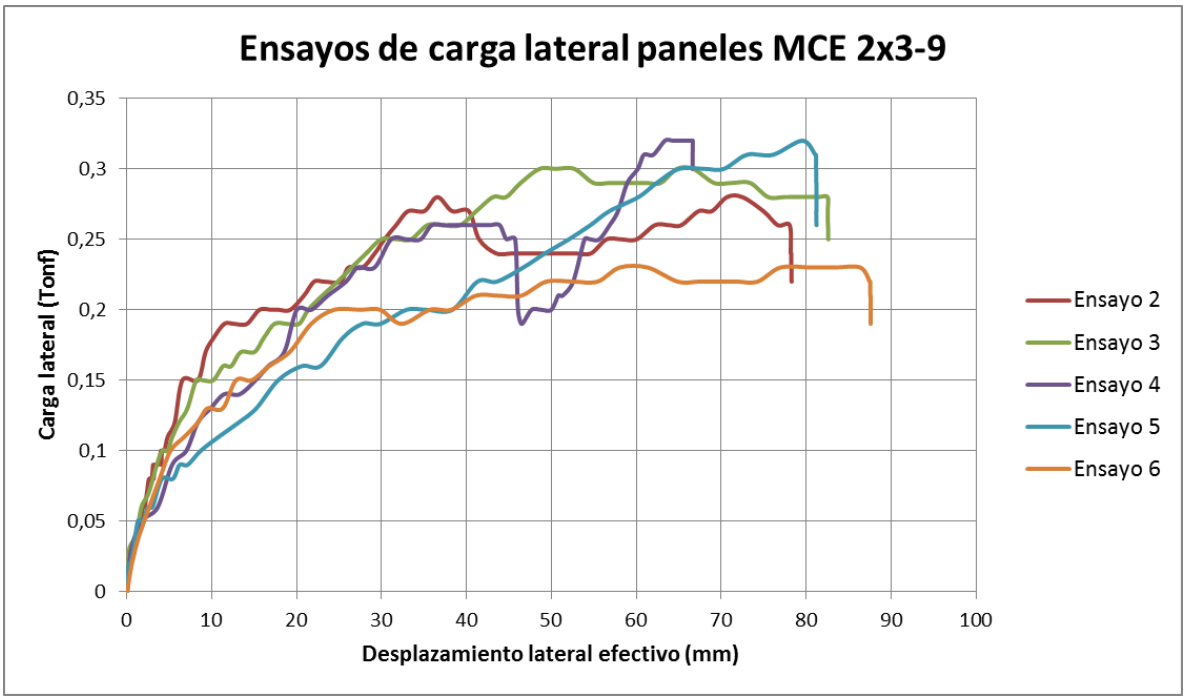


Figura 2.13: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología MP 2x3-9.

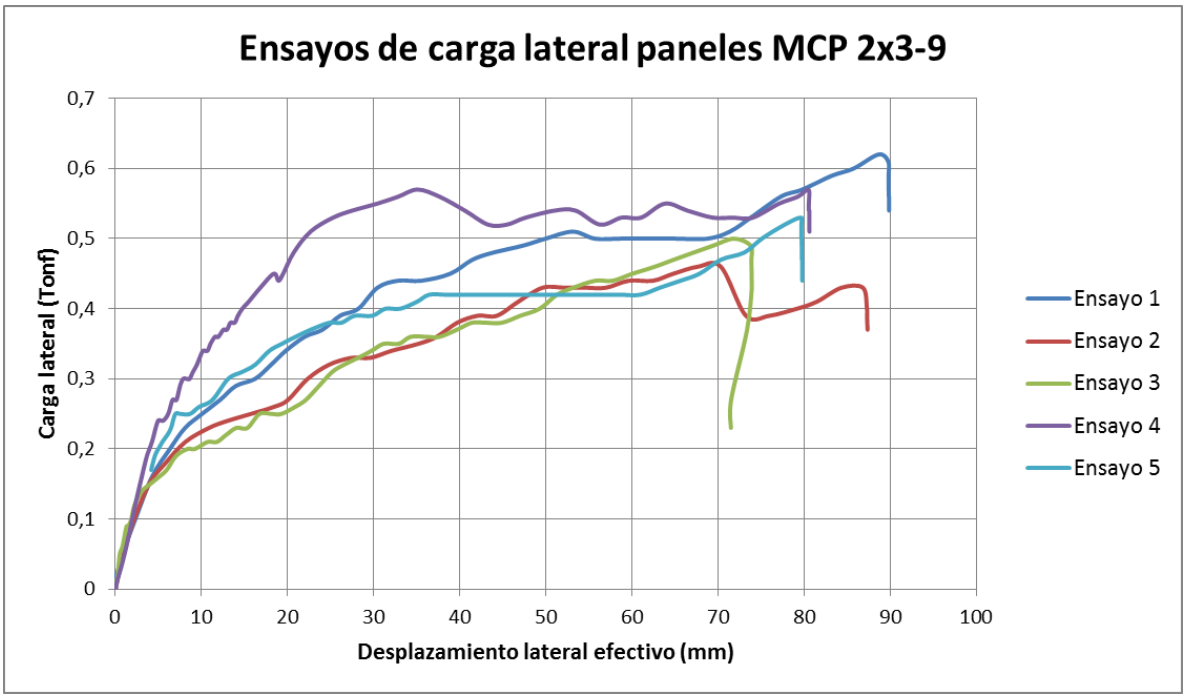


Figura 2.14: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología MP 2x3-11.

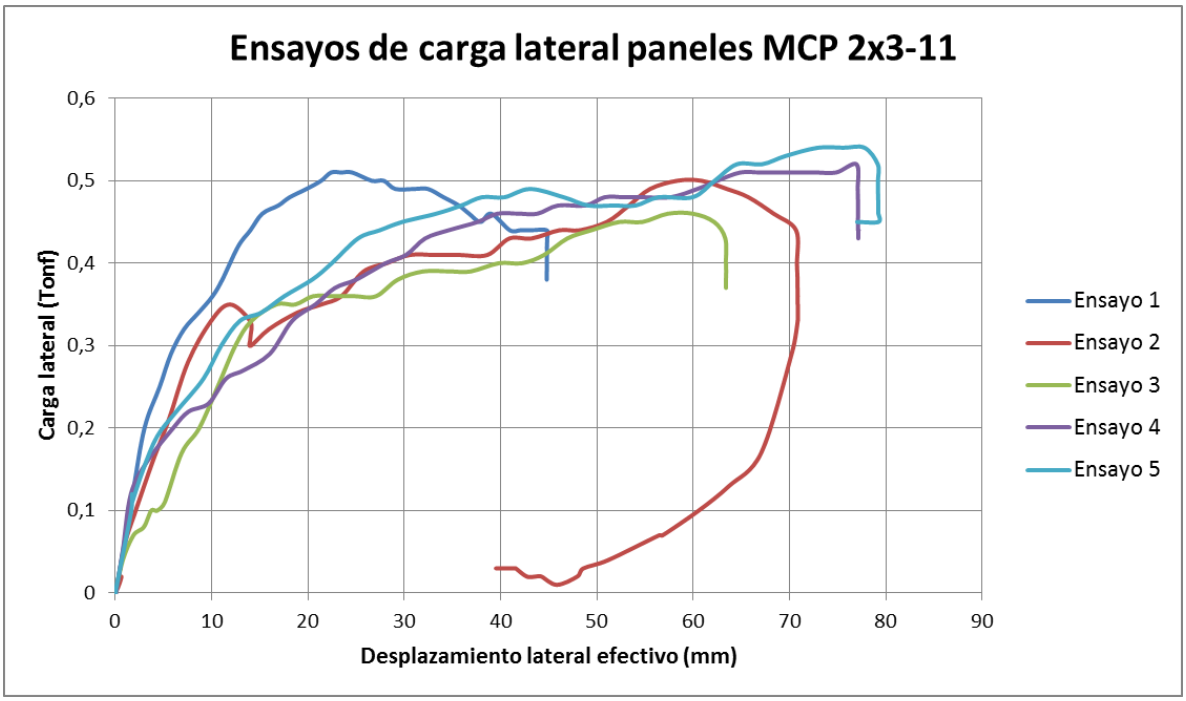


Figura 2.15: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología MP 2x4-9.

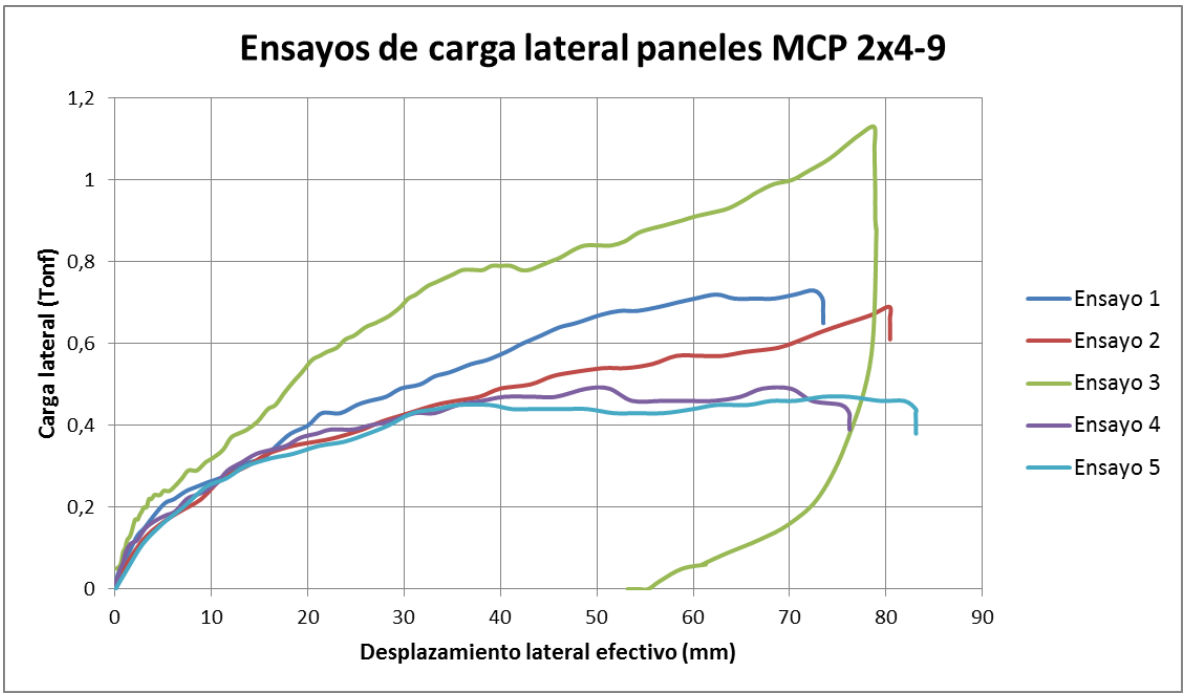
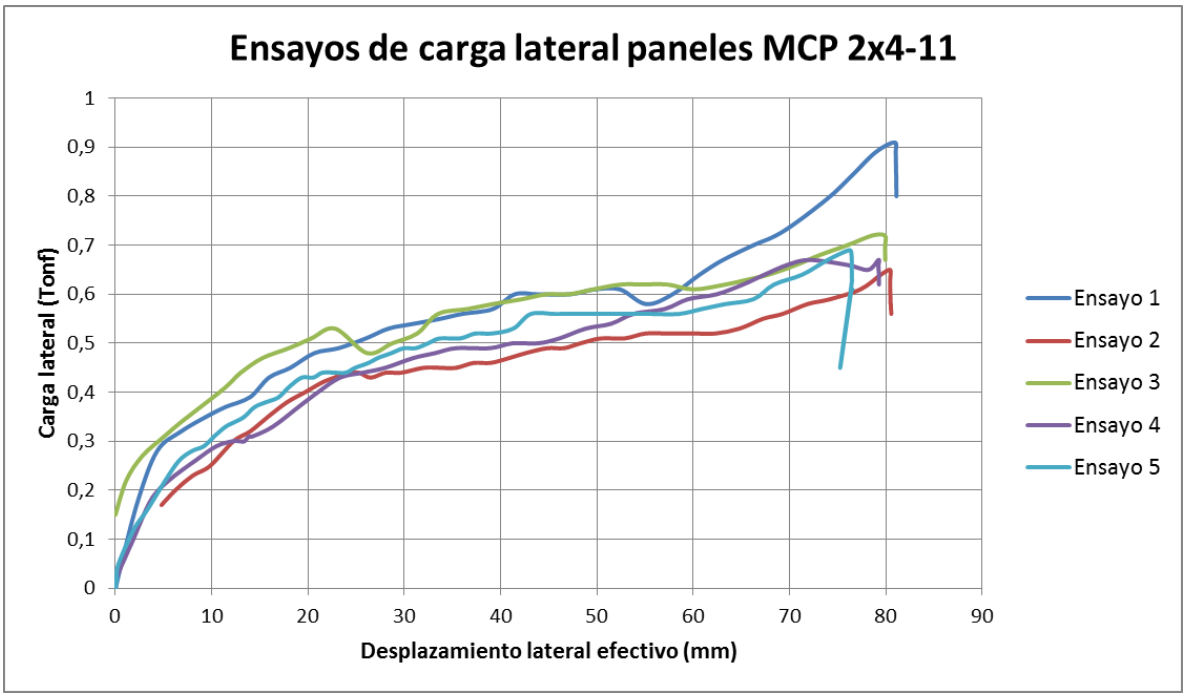


Figura 2.16: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología MP 2x4-11.



En la figura 2.17, se puede observar el modo de falla característico de la tipología de muro ME-2x3-9, el cual 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 de unión OSB-madera. Además se observa la ineficiencia del sistema de anclaje "esparrago" para impedir este mecanismo de falla.

El modo de falla característico de las tipologías de muro con sistema de anclaje "perno y escuadra" se concentra en el borde inferior, susceptible al levantamiento del pie derecho traccionado. La falla característica responde a la siguiente secuencia: plastificación de la escuadra de anclaje, desclavado parcial unión pie derecho – solera inferior; plastificación, aplastamiento y desgarramiento en zona de clavo de unión OSB-madera (Ver figura 2.18). Además se observó en las tipologías MP-2x3-9 y MP-2x3-11 la eficiencia del sistema de anclaje "perno y escuadra" para retrasar el mecanismo de falla, generando incluso algunas roturas por flexión de la solera inferior. Finalmente en las tipologías MP-2x4-9 y MP-2x4-11 también se observó la eficiencia del sistema de anclaje "perno y escuadra" para retrasar el mecanismo de falla, pero sin generar flexión de la solera inferior.

Figura 2.17: Modo de falla característico de ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera con sistema de anclaje espárrago

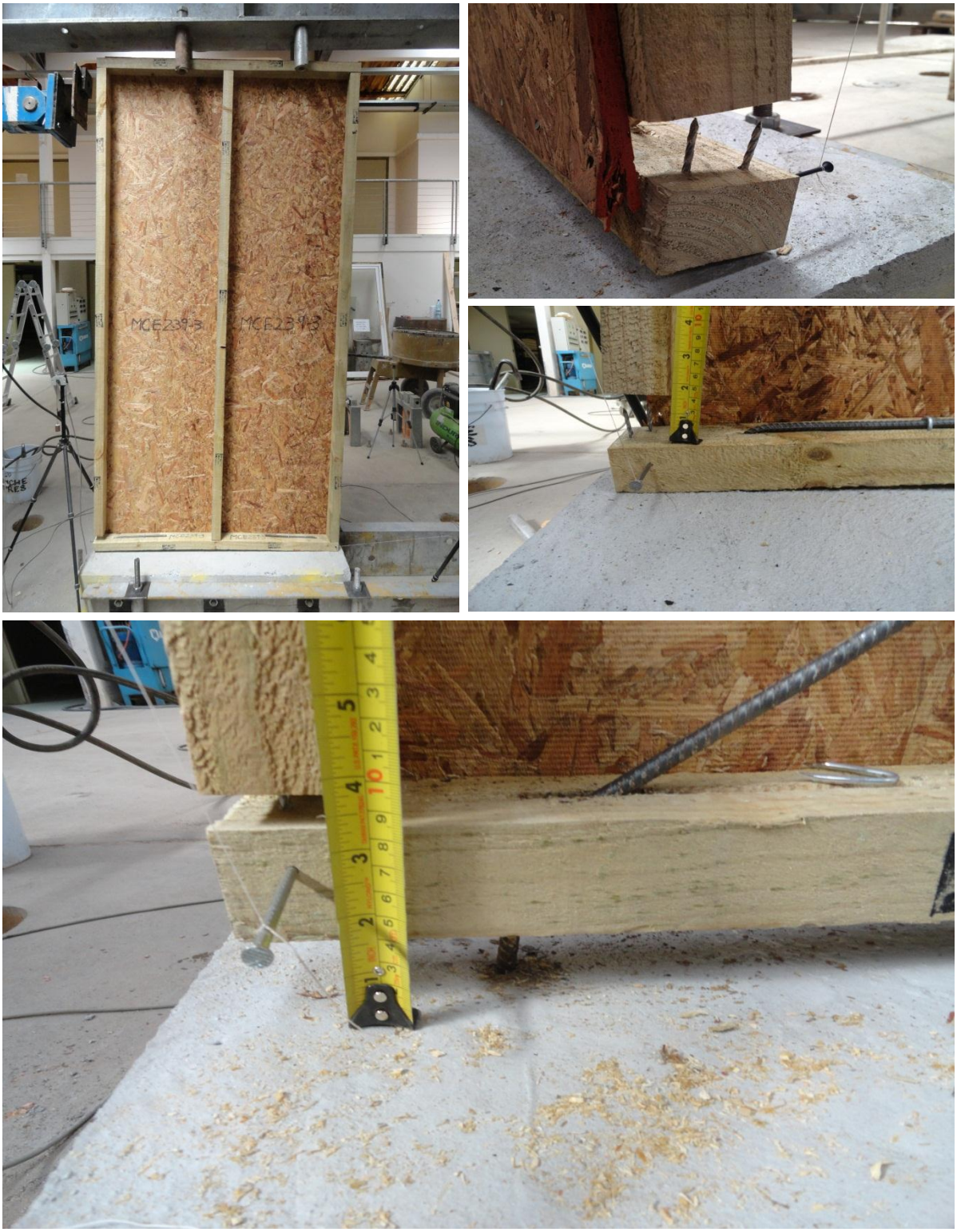


Figura 2.18: Modo de falla característico de ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera con sistema de anclaje perno y escuadra.

2.2.3 Ensayo de flexión

Los resultados de carga máxima en flexión y desplazamiento vertical para carga máxima, se observan en las tablas 2.8 y 2.9 respectivamente. En tanto, las figuras 2.19 a 2.23 muestran los gráficos carga-desplazamiento de las cinco tipologías ensayadas.

Al observar los resultados de la tipología de muros con pies derechos de 45x69 mm (2x3) y placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor (MI-2x3-9 y MS-2x3-9), se puede apreciar que cuando la carga fue aplicada en la cara sin placa OSB la resistencia fue un 35% superior a cuando la carga fue aplicada en la cara con la placa OSB. Por otro lado, en las tipologías ensayadas con la carga aplicada en la cara con placa OSB (MS-2x3-9, MS-2x3-11, MS-2x4-9 y MS-2x4-11) se aprecia que los muros con escuadría de pies derechos de 45x94 mm (2x4) presentan valores de resistencia en flexión significativamente mayores, entre 76% y 170%, a los muros con pies derechos de escuadría 45x69 mm (2x3) (ver tabla 2.8).

De la tabla 2.9 se puede apreciar que los desplazamientos verticales asociados a la carga máxima de flexión, presentaron valores promedio que variaron entre 31 mm y 63 mm.

Tabla 2.8: Carga máxima en flexión en muros con estructura de madera.

N° ensayo	**Carga máxima [t]**				
	MI-2x3-9	**MS-2X3-9**	**MS-2X3-11**	**MS-2X4-9**	**MS-2X4-11**
1	1,58	1,10	0,70	2,19	3,00
2	163	1,14	1,05	1,94	2,11
3	1,36	1,16	0,79	1,85	1,76
Promedio	**1,52**	**1,13**	**0,85**	**1,99**	**2,29**
Desv. estándar	**0,14**	**0,03**	**0,18**	**0,18**	**0,64**
Coef. de variación	**0,09**	**0,03**	**0,21**	**0,09**	**0,28**

Tabla 2.9: Desplazamiento vertical para carga máxima en flexión en muros con estructura de madera.

N° ensayo	**Desplazamiento vertical para carga máxima [mm]**				
	MI-2x3-9	**MS-2X3-9**	**MS-2X3-11**	**MS-2X4-9**	**MS-2X4-11**
1	59,57	34,92	23,46	40,12	50,80
2	65,47	39,14	39,15	33,09	32,72
3	63,74	52,43	30,15	32,46	27,22
Promedio	**62,93**	**42,16**	**30,92**	**35,22**	**36,91**
Desv. estándar	**3,03**	**9,14**	**7,87**	**4,25**	**12,34**
Coef. de variación	**0,05**	**0,22**	**0,25**	**0,12**	**0,33**

Figura 2.19: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MI 2x3-9.

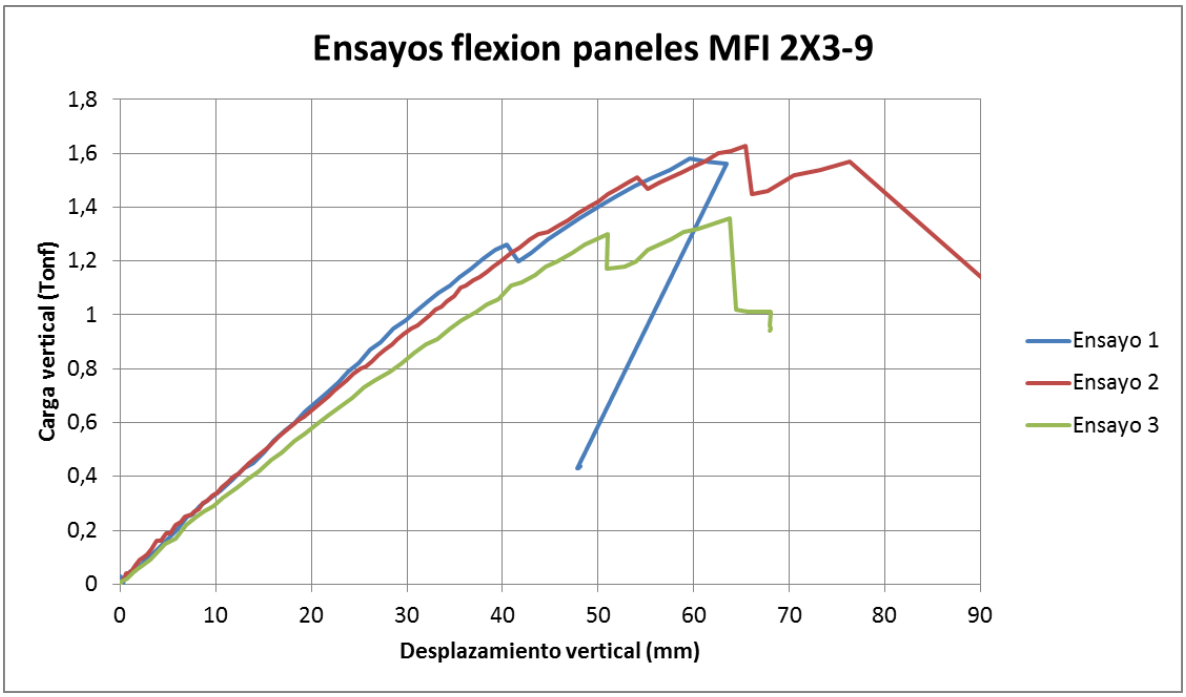


Figura 2.20: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MS 2x3-9.

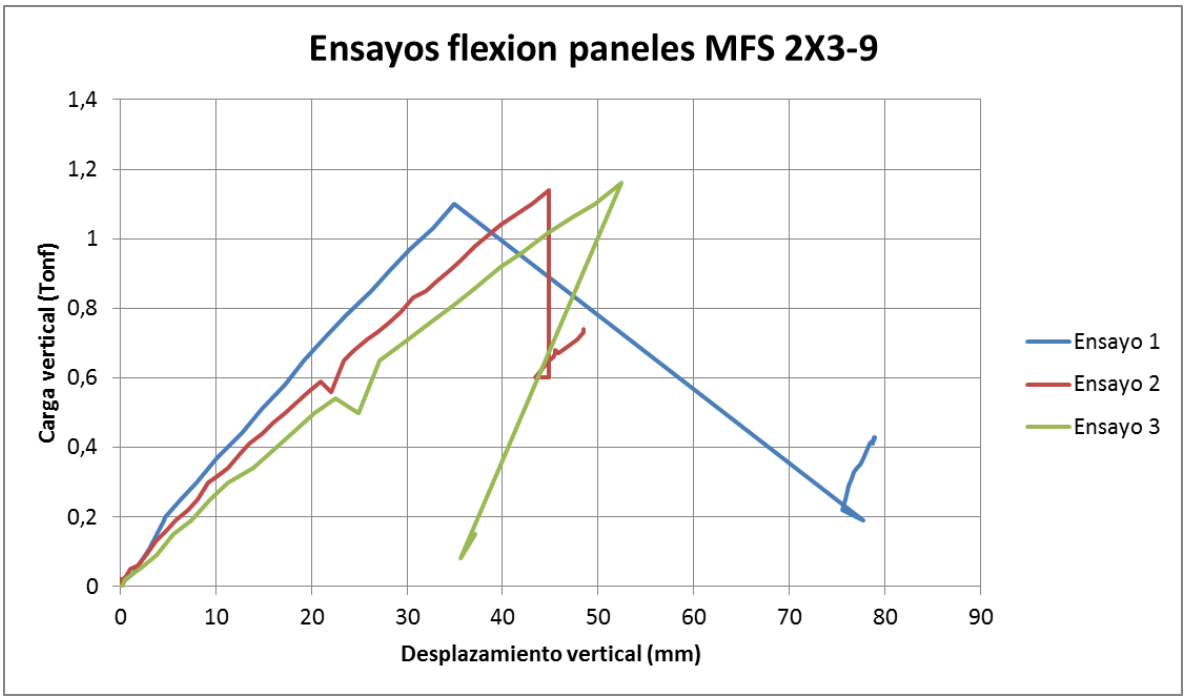


Figura 2.21: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MS 2x3-11.

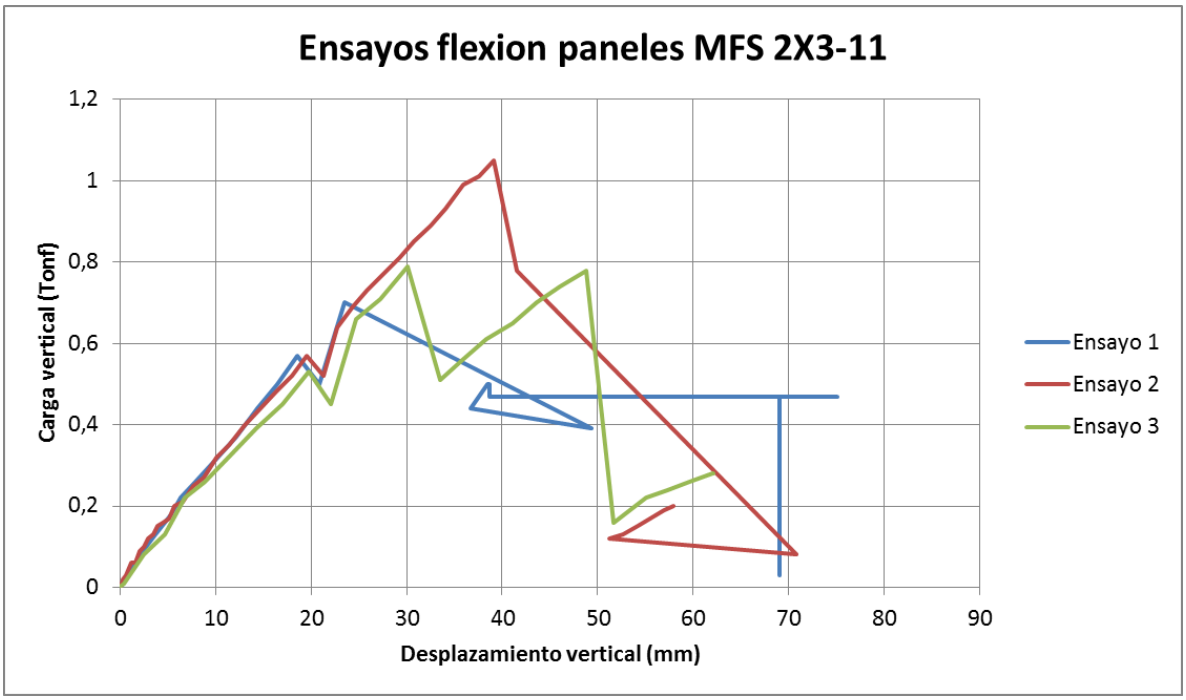


Figura 2.22: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MS 2x4-9.

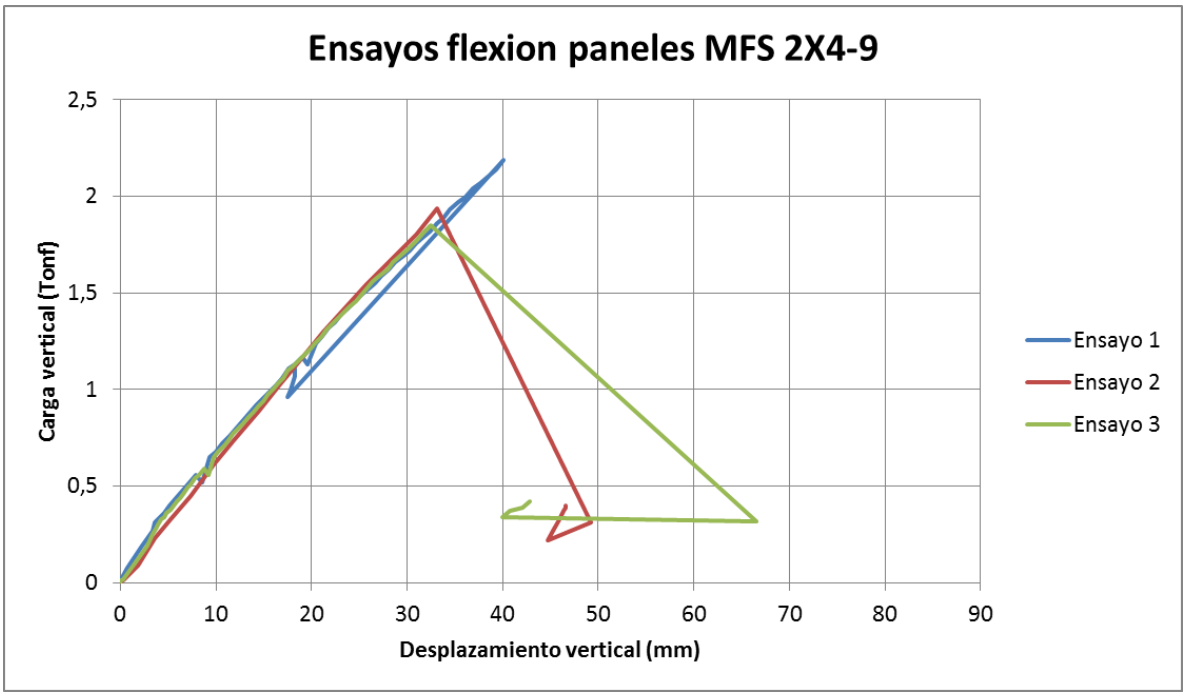
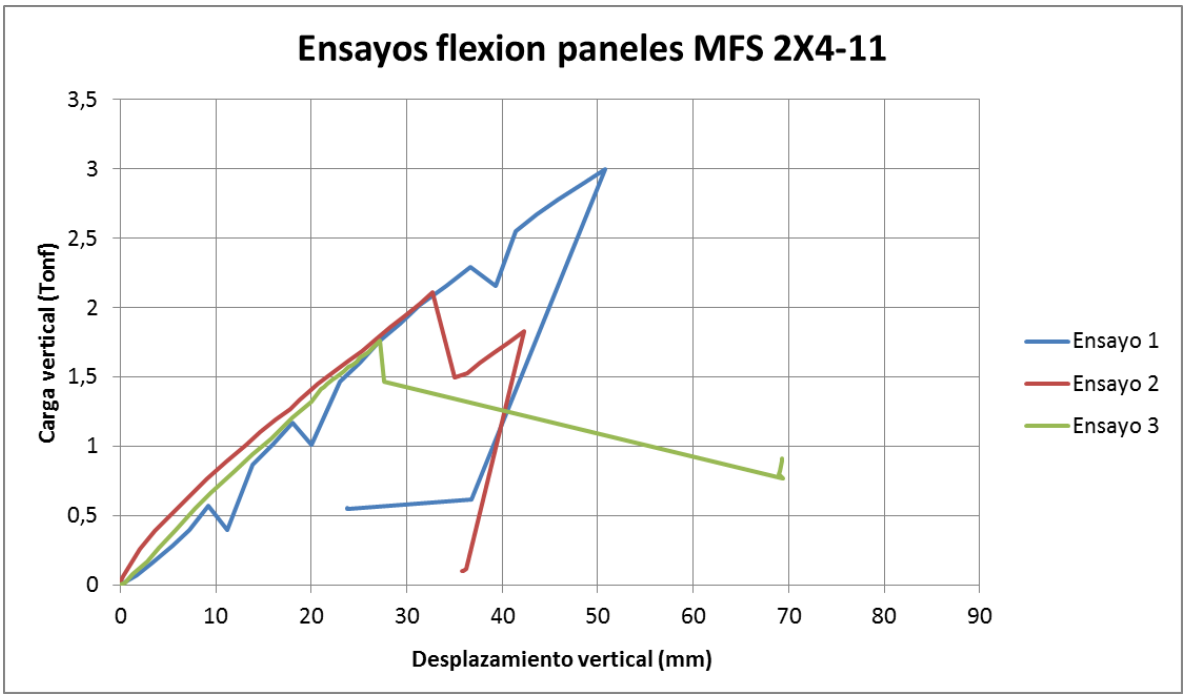


Figura 2.23: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MS 2x4-11.



En la figura 2.24, se puede observar el modo de falla característico de la tipología de muro MI-2x3-9, el cual se concentra en la cara inferior, susceptible a la 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 característico de las tipologías de muro con la placa OSB ubicada en la cara superior (MS-2x3-9, MS-2x3-11, MS-2x4-9 y MS-2x4-11), 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 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 (ver figura 2.25).

Figura 2.24: Modo de falla característico de ensayo de flexión en muros con estructura de madera con la carga aplicada en la cara sin placa arriostrante.

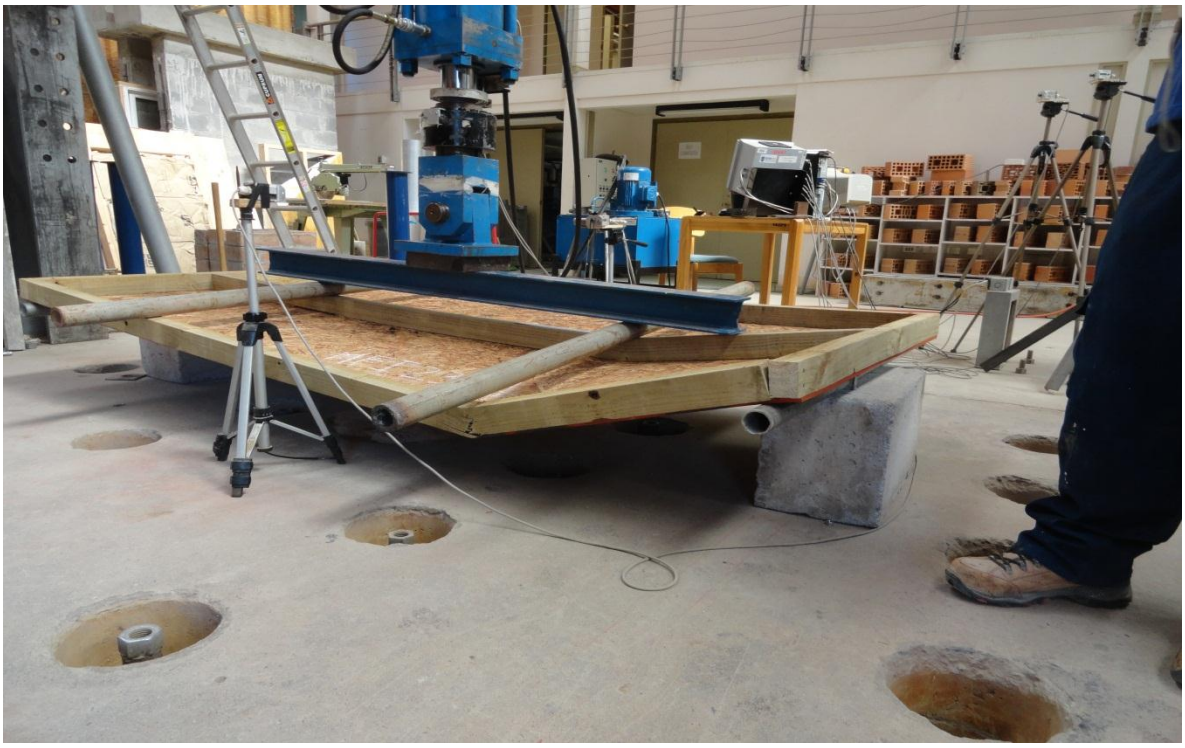


Figura 2.25: Modo de falla característico de ensayo de flexión en muros con estructura de madera con la carga aplicada en la cara con placa arriostrante.

2.2.4 Ensayo de impacto

Los resultados de energía de impacto y desplazamiento lateral vertical para energía de impacto de rotura, se observan en las tablas 2.10 y 2.11 respectivamente.

Al observar los resultados de la tipología de muros con pies derechos de 45x69 mm (2x3) y placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor (MI-2x3-9 y MS-2x3-9), se puede apreciar que cuando los muros fueron impactados en la cara sin placa OSB la resistencia promedio fue un 16% superior a cuando el impacto fue aplicado en la cara con la placa OSB. Por otro lado, en las tipologías impactadas en la cara con placa OSB (MS-2x3-9, MS-2x3-11, MS-2x4-9 y MS-2x4-11) se aprecia que los muros presentan valores de energía de impacto rotura entre 292 J y 464 J (ver tabla 2.10).

De la tabla 2.11 se puede apreciar que los desplazamientos verticales asociados al impacto para rotura, presentaron valores promedio que variaron entre 47 mm y 60 mm.

Finalmente, se puede destacar que todos los muros ensayados presentan un comportamiento satisfactorio frente a las cargas de impacto; esto debido a que ningún muro evidenció deterioro aparente para energías de impacto de 120 J, y en promedio ninguna tipología de paneles falló para energías de impacto menores a 240 J.

Tabla 2.10: Energía de impacto para rotura en muros con estructura de madera.

N° ensayo	**Energía de impacto para rotura [J]**				
	MI-2x3-9	**MS-2X3-9**	**MS-2X3-11**	**MS-2X4-9**	**MS-2X4-11**
1	477	278	318	477	238
2	477	477	199	477	477
3	477	477	358	437	477
Promedio	**477**	**411**	**292**	**464**	**397**
Desv. estándar	**0**	**115**	**83**	**23**	**138**
Coef. de variación	**0,00**	**0,28**	**0,28**	**0,05**	**0,35**

Tabla 2.11: Desplazamiento lateral para energía de impacto para rotura en muros con estructura de madera.

N° ensayo	**Desplazamiento lateral para energía de impacto de rotura [mm]**				
	MI-2x3-9	**MS-2X3-9**	**MS-2X3-11**	**MS-2X4-9**	**MS-2X4-11**
1	58,00	46,00	60,00	46,00	38,00
2	67,00	60,00	52,00	53,00	50,00
3	56,00	67,00	67,00	42,00	55,00
Promedio	**60,33**	**57,67**	**59,67**	**47,00**	**47,67**
Desv. estándar	**5,86**	**10,69**	**7,51**	**5,57**	**8,74**
Coef. de variación	**0,10**	**0,19**	**0,13**	**0,12**	**0,18**

La tipología MI-2x3-9 no presentó daño en los muros ensayados para energías de impacto de 477 J. Por otro lado, las tipologías MS-2x3-9 y MS-2x3-11 en general presentaron fallas por flexo-tracción del pie derecho central para diferentes niveles de energía de impacto (ver figura 2.26). Finalmente las tipologías MS-2x4-9 y MS-2x4-11 presentaron fallas por desclave del pie derecho central y la placa OSB (ver figura 2.27).

Figura 2.26: Modo de falla característico en ensayo de impacto en cara con placa arriostrante de muros con estructura de madera de pie derechos de 45x69 mm.

Figura 2.27: Modo de falla característico en ensayo de impacto en cara con placa arriostrante de muros con estructura de madera de pie derechos de 45x94 mm.

2.2.5 Cargas admisibles para el diseño estructural

Utilizando los resultados de los ensayos de carga vertical y carga horizontal en muros con estructura de madera se determinó la capacidad admisible en compresión y capacidad admisible en corte respectivamente para cada tipología de muro, información necesaria para el diseño estructural.

Las capacidades admisibles en compresión se determinaron a partir de los valores del percentil del 5%, considerando un nivel de confianza estadística del 75% y asumiendo la normalidad de los datos experimentales. Los valores asociados al percentil 5% fueron divididos por un factor de ajuste de 3,2 especificado para la determinación de propiedades admisibles de elementos comprimidos de madera o derivados de madera (WAGNER, 2009)

Por otra parte, las capacidades admisibles en corte se determinaron según criterios desarrollados en estudios sobre el sistema de construcción norteamericano de muros de madera y basados en ensayos de carga horizontal considerando sistemas de anclaje reales, tal como lo señala la norma ASTM E564: Estándar Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings. Se consideró como capacidad admisible de cada muro ensayado al mínimo valor entre el nivel de carga para una deformación admisible de 1/120 radianes (20 mm), 2/3 del nivel de carga máxima, y la carga correspondiente a 1/2 de la máxima deformación por corte. Dicho valor mínimo fue multiplicado por un factor de corrección de 3/4, el cual toma en consideración el reducido número de ensayos por tipología. Finalmente al conjunto de capacidades admisibles por tipología de muro, se consideró en forma conservadora determinar el límite de exclusión del 5% como valor admisible, asociado a una distribución normal de los datos y con un nivel de confianza del 75% (LEIVA, 1996).

Las capacidades admisibles en compresión y en corte se pueden observar en las tablas 2.12 y 2.13 respectivamente. Estos valores de capacidad admisible se pueden utilizar para las tipologías ensayadas y en forma conservadora para espaciamientos entre pie derechos menores a 60 cm. Además, también en forma conservadora estas capacidades son factibles de ser utilizadas en muros que utilicen cualquier material como revestimiento interior o exterior, siempre que se respeten las especificaciones de los muros ensayados: escuadría y grado estructural de las piezas de madera, tipo y espesor de placa arriostrante, tipo de clavo y esquema de clavado, y sistema de anclaje.

Tabla 2.12: Capacidad admisible en compresión de las tipologías de muro ensayadas.

Ensayo	Densidad de carga vertical máxima vertical [kg/m]			
	MP-2X3-9	**MP-2X3-11**	**MP-2X4-9**	**MP-2X4-11**
1	6.642	7.317	13.392	14.483
2	5.900	6.442	17.483	13.292
3	7.033	8.567	14.200	16.342
4	6.717	8.825	14.883	16.575
5	5.633	8.175	14.275	0
Promedio	**6.385**	**7.865**	**14.847**	**15.173**
Desv. estándar	**591**	**979**	**1.566**	**1.565**
Capacidad admisible en compresión	**1.541**	**1.706**	**3.436**	**3.540**

Tabla 2.13: Capacidad admisible en corte de las tipologías de muro ensayadas.

Ensayo	Capacidad admisible en corte [kg/m]			
	MP-2X3-9	**MP-2X3-11**	**MP-2X4-9**	**MP-2X4-11**
1	204	158	238	250
2	169	183	219	208
3	156	179	331	250
4	221	196	204	213
5	175	200	196	233
Promedio	**185**	**183**	**238**	**231**
Desv. Estándar	**27**	**16**	**55**	**20**
Percentil 5%	**141**	**156**	**147**	**198**

2.3 CONCLUSIONES

Para el ensayo de carga vertical, no hay diferencias de resistencia entre los sistemas de anclaje "esparrago" y "perno y escuadra", ni entre los espesores de placa arriostrante ensayados. Sin embargo, si existe una clara influencia de la escuadría de los pie derechos en la capacidad resistente de los muros a la compresión.

La placa arriostrante OSB es eficiente para evitar el pandeo por compresión de los pie derechos sobre su eje débil, evitando la necesidad de instalar cadenetas u otros tipos de apoyos laterales adicionales.

El sistema de anclaje "perno y escuadra" permite obtener valores de resistencia a las cargas laterales significativamente mayores respecto del sistema de anclaje "esparrago". Además el aumento de la escuadría de los pie derechos permite también un aumento de la resistencia al corte de los muros; sin embargo el espesor de la placa arriostrante OSB no evidenció un efecto sobre la capacidad resistente.

Existe una ineficiencia del sistema de anclaje "esparrago" para impedir el mecanismo de falla en el borde inferior traccionado de los muros sometidos a cargas laterales.

La resistencia a la flexión de los muros de madera ensayados es afectada por la ubicación de la placa arriostrante respecto a la carga, y por la escuadría de los pie derechos.

Todos los muros ensayados presentan un comportamiento satisfactorio frente a las cargas de impacto, no presentando fallas para energías de impacto menores a 240 J.

Las capacidades admisibles de compresión y corte de muros pueden ser utilizados en forma conservadora para espaciamientos entre pie derechos menores a 60 cm. También pueden ser utilizadas en muros con cualquier material como revestimiento interior o exterior, siempre que se respeten las especificaciones técnicas delas estructuras de muros ensayados.

2.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (**CITEC-UBB). 2012a.** Informe de Ensayo Carga Horizontal de Paneles. N° Informe 840. Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (**CITEC-UBB). 2012b.** Informe de Ensayo Carga Compresión de Paneles. N° Informe 841. Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (**CITEC-UBB). 2012c.** Informe de Ensayo Carga Flexión de Paneles. N° Informe 851. Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (**CITEC-UBB). 2012d.** Informe de Ensayo Carga Impacto de Paneles. N° Informe 863. Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural.

LEIVA, J. 1996. Comportamiento de muros de corte de madera rigidizados mediante tableros de contrachapado bajo la acción de carga horizontal estática y cíclica combinada con carga vertical en su propio plano. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad de Santiago de Chile.

WAGNER, M. 2009. Comportamiento estructural de tabiquerías de madera aserrada revestida con tableros de materiales de madera, fibro-cemento y yeso-cartón. Apuntes curso CI52J Construcciones de madera. Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

2.5 ANEXOS CARACTERIZACIÓN MECÁNICA MUROS DE MADERA

2.5.1 Capacidad admisible en compresión

Se exponen las pruebas de bondad de ajuste "Kolmogov-Sminov" para una distribución Normal de los datos de carga máxima en compresión. El análisis de datos se realizó con el programa estadístico *XLSTAT 2012*.

XLSTAT 2012.5.01 - Ajuste de una distribución - el 18-03-2013 a 16:08:09
Datos: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!$C$4:$F$9 / 5 filas y 4 columnas
Nivel de significación (%): 25
Distribución: Normal
Método de estimación: Momentos

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
MP-2X3-9	5	0	5	5633,3	7033,333	6385,000	590,856
MP-2X3-11	5	0	5	6441,7	8825,000	7865,000	979,360
MP-2X4-9	5	0	5	13391,7	17483,33	14846,67	1566,474
MP-2X4-11	5	1	4	13291,7	16575,00	15172,92	1564,869

Ajuste de una distribución (MP-2X3-9):

Parámetros estimados (MP-2X3-9):

Parámetro	Valor
μ	6385,000
sigma	590,856

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X3-9):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	6385,000	6385,000
Varianza	349111,111	349111,111
Asimetria (Pearson)	-0,206	0,000
Curtosis (Pearson)	-2,068	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X3-9):

D	0,268
p-valor	0,800
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:
H0: La muestra sigue una distribución Normal
Ha: La muestra non sigue una distribución Normal
Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,25, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

Ajuste de una distribución (MP-2X3-11):

Parámetros estimados (MP-2X3-11):

Parámetro	Valor
μ	7865,000
sigma	979,360

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal:

Estadística	Datos	Parámetros
Media	7865,000	7865,000
Varianza	959145,833	959145,833
Asimetria (Pearson)	-0,381	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,849	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

D	0,224
p-valor	0,933
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:
H0: La muestra sigue una distribución Normal
Ha: La muestra non sigue una distribución Normal
Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,25, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

Ajuste de una distribución (MP-2X4-9):

Parámetros estimados (MP-2X4-9):

Parámetro	Valor
μ	14846,667
sigma	1566,474

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X4-9):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	14846,667	14846,667
Varianza	2453840,278	2453840,278
Asimetria (Pearson)	0,770	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,236	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X4-9):

D	0,291
p-valor	0,713
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:
H0: La muestra sigue una distribución Normal
Ha: La muestra non sigue una distribución Normal
Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,25, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

Ajuste de una distribución (MP-2X4-11):

Parámetros estimados (MP-2X4-11):

Parámetro	Valor
μ	15172,917
sigma	1564,869

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal:

Estadística	Datos	Parámetros
Media	15172,917	15172,917
Varianza	2448813,657	2448813,657
Asimetria (Pearson)	-0,172	0,000
Curtosis (Pearson)	-2,230	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

D	0,272
p-valor	0,874
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:
H0: La muestra sigue una distribución Normal
Ha: La muestra non sigue una distribución Normal
Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,25, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.
El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 87,40%.

2.5.2 Capacidad admisible en corte

Se pueden observar las tablas con los valores admisibles determinados bajo los tres criterios descritos en el apartado 2.2.5. Se exponen las pruebas de bondad de ajuste "Kolmogov-Sminov" para una distribución Normal de los datos de carga admisible en corte (carga horizontal). El análisis de datos se realizó con el programa estadístico *XLSTAT 2012*

Capacidad admisible para muro MP-2x3-9

Ensayo	P (h/120)	P (2/3 Pu)	P (D/2)	Padm [kg]	Sadm [kg/m]
1	340	326,666667	370	245	204
2	270	273,333333	300	202,5	169
3	250	260	290	187,5	156
4	450	353	510	265	221
5	350	280	370	210	175
Promedio					185
Desv. Estandar					27
Percentil 5%					141

Capacidad admisible para muro MP-2x3-11

Ensayo	P (h/120)	P (2/3 Pu)	P (D/2)	Padm [kg]	Sadm [kg/m]
1	490	253,333333	510	190	158
2	340	293,333333	360	220	183
3	350	287	360	215	179
4	330	313	470	235	196
5	380	320	400	240	200
Promedio					183
Desv. Estandar					16
Percentil 5%					156

Capacidad admisible para muro MP-2x4-9

Ensayo	P (h/120)	P (2/3 Pu)	P (D/2)	Padm [kg]	Sadm [kg/m]
1	380	433,333333	430	285	238
2	350	353,333333	370	262,5	219
3	530	553	610	397,5	331
4	380	327	390	245	204
5	350	313	360	235	196
Promedio					238
Desv. Estandar					55
Percentil 5%					147

Capacidad admisible para muro MP-2x4-11

Ensayo	P (h/120)	P (2/3 Pu)	P (D/2)	Padm [kg]	Sadm [kg/m]
1	450	400	490	300	250
2	400	333,333333	440	250	208
3	510	400	530	300	250
4	400	340	530	255	213
5	430	373	440	280	233
Promedio					231
Desv. Estandar					20
Percentil 5%					198

XLSTAT 2012.5.01 - Ajuste de una distribución - el 18-03-2013 a 16:45:32
Datos: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!$B$12:$E$17 / 5 filas y 4 columnas
Nivel de significación (%): 25
Distribución: Normal
Método de estimación: Momentos

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
MP-2X3-9	5	0	5	156,250	220,833	185,00	26,655
MP-2X3-11	5	0	5	158,333	200,000	183,33	16,404
MP-2X4-9	5	0	5	195,833	331,250	237,50	54,745
MP-2X4-11	5	0	5	208,333	250,000	230,83	19,896

Ajuste de una distribución (MP-2X3-9):

Parámetros estimados (MP-2X3-9):

Parámetro	Valor
μ	185,000
sigma	26,655

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X3-9):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	185,000	185,000
Varianza	710,503	710,503
Asimetria (Pearson)	0,253	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,991	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X3-9):

D	0,246
p-valor	0,874
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:
H0: La muestra sigue una distribución Normal
Ha: La muestra non sigue una distribución Normal
Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,25, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.
El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 87,44%.

Ajuste de una distribución (MP-2X3-11):

Parámetros estimados (MP-2X3-11):

Parámetro	Valor
μ	183,333
sigma	16,404

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X3-11):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	183,333	183,333
Varianza	269,097	269,097
Asimetria (Pearson)	-0,413	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,640	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X3-11):

D	0,200
p-valor	0,975
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:
H0: La muestra sigue una distribución Normal
Ha: La muestra non sigue una distribución Normal
Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,25, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.
El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 97,51%.

Ajuste de una distribución (MP-2X4-9):

Parámetros estimados (MP-2X4-9):

Parámetro	Valor
μ	237,500
sigma	54,745

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X4-9):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	237,500	237,500
Varianza	2996,962	2996,962
Asimetria (Pearson)	0,863	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,183	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X4-9):

D	0,300
p-valor	0,675
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:
H0: La muestra sigue una distribución Normal
Ha: La muestra non sigue una distribución Normal
Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,25, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.
El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 67,51%.

Ajuste de una distribución (MP-2X4-11):

Parámetros estimados (MP-2X4-11):

Parámetro	Valor
μ	230,833
sigma	19,896

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X4-11):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	230,833	230,833
Varianza	395,833	395,833
Asimetria (Pearson)	-0,088	0,000
Curtosis (Pearson)	-2,184	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X4-11):

D	0,232
p-valor	0,914
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:
H0: La muestra sigue una distribución Normal
Ha: La muestra non sigue una distribución Normal
Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación alfa=0,25, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.
El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 91,37%.

CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-AMBIENTAL DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA

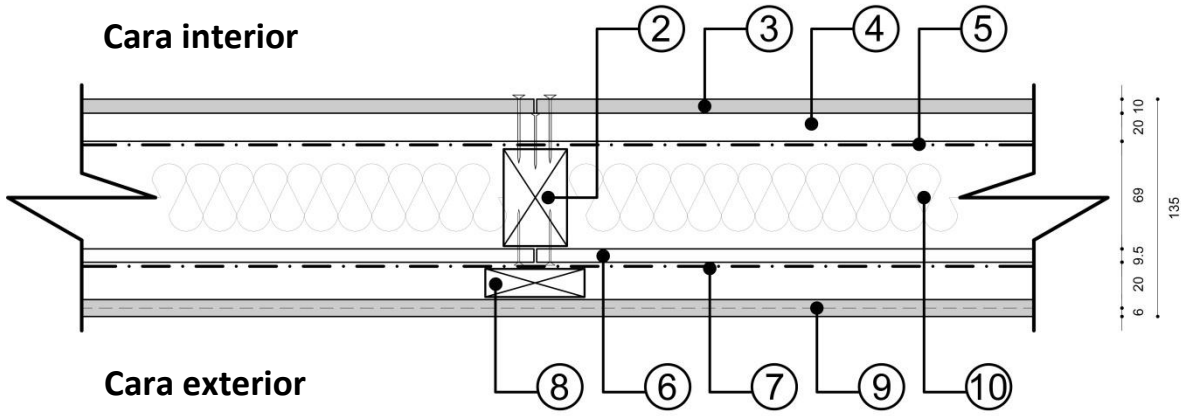
3.1 METODOLOGÍA

3.1.1 Soluciones constructivas de muros con estructura de madera

Las soluciones constructivas de muros con estructura de madera a ensayar son cuatro, cuyas descripciones se observan en las tablas 3.1 a 3.4.

Tabla 3.1: Descripción solución constructiva de muro con estructura de madera M-2x3-9-YF

M-2x3-9-YF	**Muro con pies derechos de 45x69 mm (2x3), placa arriostrante OSB de 9,5 mm, y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento**

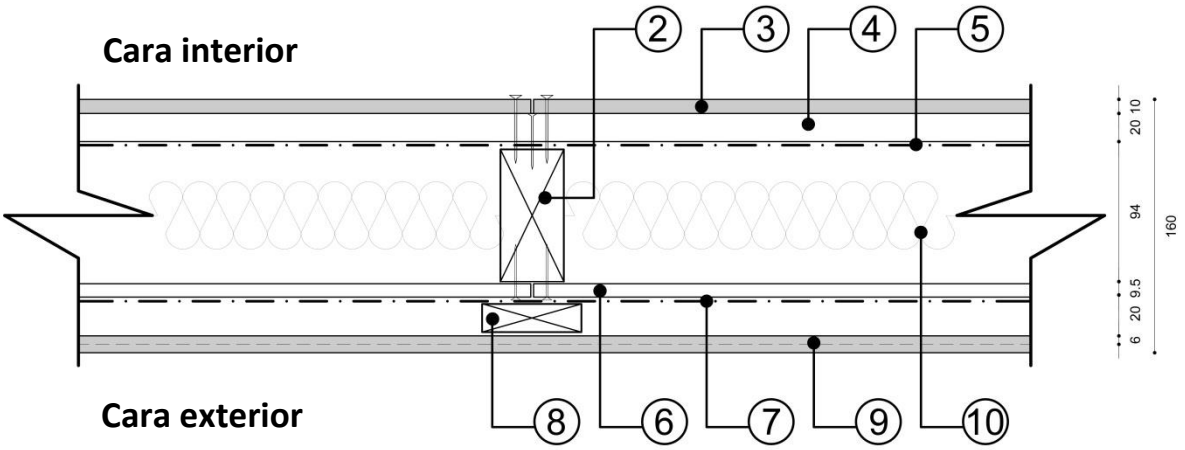


DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	**Soleras (no mostradas)**		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm.
2	**Pie derechos o montantes**		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	**Cara interior**	**Revestimiento**	Plancha de yeso-cartón "ST" de 10 mm de espesor, fijada con clavos de yeso cartón de 1 5/8´´, distanciados a 250 mm a lo largo de los separadores horizontales. Sellos de unión entre planchas son con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso.
4		**Separadores horizontales**	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		**Barrera de vapor**	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	**Cara exterior**	**Placa arriostrante**	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		**Barrera de humedad**	Papel fieltro de 15 lb
8		**Separadores verticales**	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		**Revestimiento**	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6 x 190 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm, fijado con clavos "Terrano" de 1'', distanciados a 600 mm.
10	**Aislación**		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m^3 de densidad nominal.

Tabla 3.2: Descripción solución constructiva de muro con estructura de madera M-2x4-9-YF

M-2x4-9-YF	Muro con pies derechos de 45x94 mm (2x4), placa arriostrante OSB de 9,5 mm, y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento

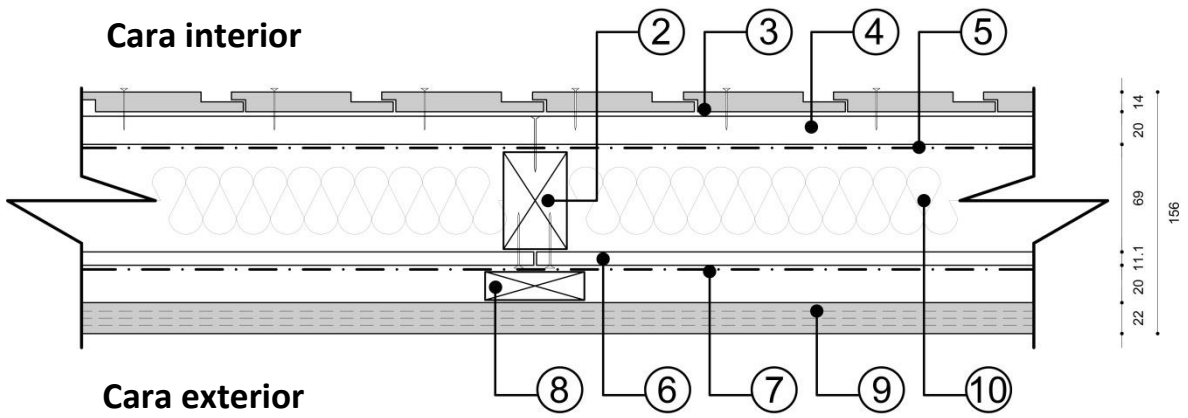


DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	Soleras (no mostradas)		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm.
2	Pie derechos o montantes		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	Cara interior	Revestimiento	Plancha de yeso-cartón "ST" de 10 mm de espesor, fijada con clavos de yeso cartón de 1 5/8´´, distanciados a 250 mm a lo largo de los separadores horizontales. Sellos de unión entre planchas son con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso.
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6 x 190 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm, fijado con clavos "Terrano" de 1'', distanciados a 600 mm.
10	Aislación		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m^3 de densidad nominal.

Tabla 3.3: Descripción solución constructiva de muro con estructura de madera M-2x3-11-MM

M-2x3-11-MM	**Muro con pies derechos de 45x69 mm (2x3), placa arriostrante OSB de 11,1 mm, y revestimientos de madera tinglada y madera.**

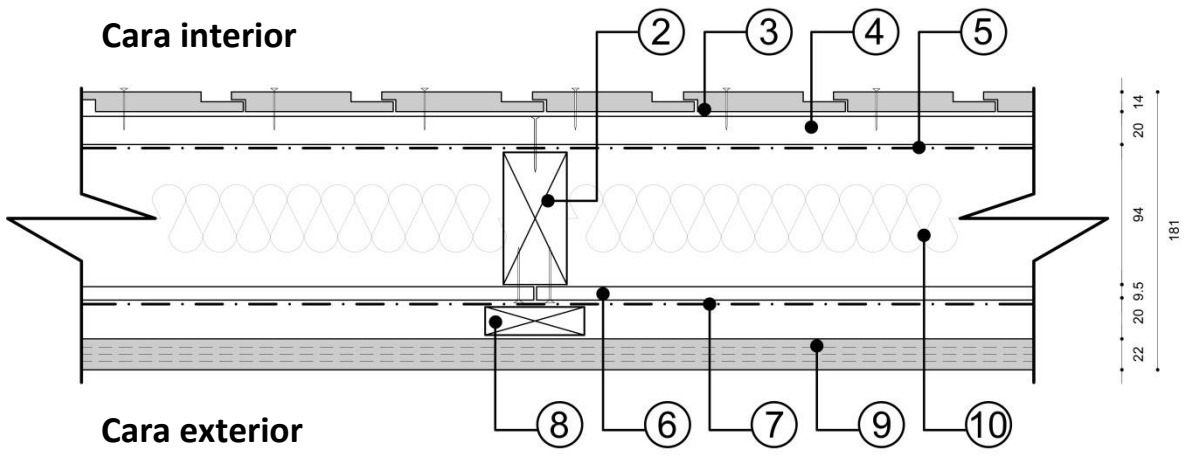


DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	**Soleras (no mostradas)**		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm.
2	**Pie derechos o montantes**		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	**Cara interior**	**Revestimiento**	Tablas de madera tinglada de Pino radiata seca en cámara, de 14 x 115 mm (14 mm de espesor en zona de tinglado), colocadas en sentido vertical y fijado con clavos "Terrano" de 1''.
4		**Separadores horizontales**	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		**Barrera de vapor**	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	**Cara exterior**	**Placa arriostrante**	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		**Barrera de humedad**	Papel fieltro de 15 lb
8		**Separadores verticales**	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		**Revestimiento**	Fajas de madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 115 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm y su fijación es con clavos helicoidales de 2''.
10	**Aislación**		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m^3 de densidad nominal.

Tabla 3.4: Descripción solución constructiva de muro con estructura de madera M-2x4-11-MM.

M-2x4-11-MM	**Muro con pies derechos de 45x94 mm (2x4), placa arriostrante OSB de 11,1 mm, y revestimientos de madera tinglada y madera.**



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento		Descripción
1	**Soleras (no mostradas)**		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm.
2	**Pie derechos o montantes**		Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	**Cara interior**	**Revestimiento**	Tablas de madera tinglada de Pino radiata seca en cámara, de 14 x 115 mm (14 mm de espesor en zona de tinglado), colocadas en sentido vertical y fijado con clavos "Terrano" de 1''.
4		**Separadores horizontales**	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		**Barrera de vapor**	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	**Cara exterior**	**Placa arriostrante**	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2'', distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		**Barrera de humedad**	Papel fieltro de 15 lb
8		**Separadores verticales**	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		**Revestimiento**	Fajas de madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 115 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm y su fijación es con clavos helicoidales de 2''.
10	**Aislación**		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m^3 de densidad nominal.

3.1.2 Metodología de cálculo y ensayos

La caracterización físico-ambiental de los muros con estructura de madera se realizó mediante la realización de cálculos térmicos, y ensayos de resistencia al fuego y aislación acústica.

3.1.2.1 Cálculos térmicos

El método de cálculo empleado fue el descrito en la norma chilena NCh 853.of2007: Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Se obtuvieron las resistencias térmicas totales (Rt) y las transmitancias térmicas (U) para las cuatro soluciones de muros.

Las conductividades térmicas de los materiales que conforman las soluciones constructivas de muros con estructura de madera, se obtuvieron de los valores que aparecen en el Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica (MART) y en la norma chilena NCh 853.of2007.

3.1.2.2 Ensayo de resistencia al fuego

Los ensayos de resistencia al fuego se realizaron en el *Laboratorio de Incendios* del *Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales de la Universidad de Chile (IDIEM)*. Los equipos e instrumentos utilizados en el laboratorio se describen en la tabla 3.5.

El método de ensayo empleado fue el descrito en la norma chilena NCh 935/1of.97, el cual consiste en exponer el elemento a ensayar por una de sus caras al calor de un incendio normalizado.

La figura 3.1 muestra la fabricación de las probetas, mientras que en la figura 3.2 se expone la implementación del ensayo de resistencia al fuego.

Tabla 3.5: Equipos e instrumentos del Laboratorio de Incendios del IDIEM.

Equipo	Características
Horno de ensayo	Horno construido con paredes interiores de ladrillo refractario, enchapadas en acero, con una boca vertical abierta para el montaje de las probetas.
Sistema mecánico de carga	Permite aplicar una carga de hasta 120 kg/m sobre el elemento a ensayar
Termocuplas Chromel-Alumel	Para el registro y monitoreo de la temperatura al interior del horno, dispuestas simétricamente a 10 cm de la cara de la probeta
Sensor infrarrojo tipo pistola	Para medir la temperatura de la cara no expuesta de la probetaa
Manómetro diferencial	Monómetro de columna de agua para medir la sobrepresión al interior del horno

Figura 3.1: Fabricación de probetas para ensayo de resistencia al fuego.

(a) Conformación de la estructura del muro con pie derechos y placa arriostrante.

(b) Instalación de lana de vidrio como material aislante térmico.

(c) Instalación de madera tinglada como revestimiento interior.

(d) Instalación de fajas de fibrocemento como revestimiento exterior.

Figura 3.2: Implementación del ensayo de resistencia al fuego de muros con estructura de madera.

3.1.2.3 Ensayo de aislación acústica

Las mediciones acústicas se realizaron en el *Laboratorio de Pérdida de Transmisión Sonora del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales de la Universidad de Chile (IDIEM).* El laboratorio de ensayo está constituido por dos recintos adyacentes, denominados recinto emisor y recinto receptor; ambos recintos son separados por el elemento (muro) bajo prueba, montado en un marco de hormigón adosado a la estructura del laboratorio. Las dimensiones del vano de prueba son 3,5 m de largo y 2,7 m de alto. Los equipos e instrumentos utilizados para la realización del ensayo fueron los siguientes:

- Sonómetro Larson Davis 824
- Calibrador de nivel sonoro Larson Davis CAL 200
- Generador de ruido Larson Davis SRC20
- Caja activa JBL EON 15 800W
- Ecualizador DOD SR231 QXLR
- Termohigrómetro Veto

El Objetivo del ensayo fue determinar el índice de reducción acústica aparente de acuerdo a lo establecido en la norma NCh 2785.of2003 y el índice de reducción acústica ponderado de acuerdo a la norma ISO 717-1:1996.

La fabricación de las probetas a ensayar se puede observar en la figura 3.3, mientras que la implementación del ensayo de aislación acústica se muestra en la figura 3.4.

Figura 3.3: Fabricación de las probetas para el ensayo de aislación acústica.

(a) Instalación de placa arriostrante OSB en la estructura de madera aserrada

(b) Instalación de separadores horizontales sobre la barrera de vapor (cara interior)

(c) Instalación de placas de yeso-cartón como revestimiento interior

(d) Instalación de fajas de madera cepillada como revestimiento exterior

Figura 3.4: Implementación del ensayo de aislación acústica de muros con estructura de madera.

3.2 RESULTADOS

3.2.1 Comportamiento térmico

La transmitancia térmica (U) es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie de un elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento (MINVU-IC, 2006), en tanto la resistencia térmica total (Rt) corresponde al valor reciproco de U, y se interpreta como la resistencia al paso de calor que opone el elemento constructivo.

Los valores de U y Rt, calculados en base a la norma NCh 853, para las cuatro tipologías de muros con estructura de madera se observan en la tabla 3.6. Los valores térmicos indican que al aumentar la escuadría de los pies derechos de 45x69 mm (2x3) a 45x94mm, para las tipologías con los mismos revestimientos, mejora la aislación térmica del muro en un 3%. Además se aprecia que el muro con pies derechos de 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada presenta el mejor valor de transmitancia térmica.

El artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) establece 7 zonas térmicas para el país, con exigencias de valores U y Rt para complejos de muros, techumbre y pisos ventilados. En la tabla 3.7 se observan las exigencias térmicas para muros en todas las zonas térmicas de Chile. Al comparar los valores exigidos por la OGUC se puede concluir que las tipologías de muros con estructura de madera y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x3-9-YF y M-2x4-9-YF) cumplen con la exigencia de la zona térmica 1 a la zona térmica 6; en tanto los muros con estructura de madera y revestimiento de madera tinglada y madera cepillada (M-2X3-11-MM y M-2X4-11-MM) cumplen con la exigencia térmica en todas las zonas del país.

Tabla 3.6: Valores de transmitancias y resistencias térmicas totales de los muros con estructura de madera.

Tipología de Muro	U [W/m2K]	Rt [m2K/W]
M-2x3-9-YF	0,64	1,57
M-2X4-9-YF	0,62	1,62
M-2X3-11-MM	0,60	1,68
M-2X4-11-MM	0,58	1,72

Tabla 3.7: Exigencia térmica para muros perimetrales en Chile.

Zona Térmica	Algunas localidades representativas de cada zona térmica	Máximo valor de U [W/m2K]	Mínimo 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, Andacollo, Ovalle, La Ligua, Zapallar, Quillota, Cartagena, San Antonio, San Felipe, Valparaiso, Viña del Mar, Villa Alemana, Juan Fernández.	3,0	0,33
3	Santiago, Los Andes, Marchihue, Pichilemu, San Fernando, Santa Cruz, Doñihue, Graneros, Rancagua, Rengo.	1,9	0,53
4	Cauquenes, Curicó, Molina, Colbún, Linares, Parral, Constitución, Maule, San Clemente, Talca, Chiguayante, Coronel, Lota, Talcahuano, Chillán, Arauco, Los Alamos, Cabrero, Los Ángeles, Yumbel, Concepción.	1,7	0,59
5	Antuco, Loncoche, Temuco, Padre Las Casas, Toltén, Villarrica, Collipulli, Victoria, Osorno, Futrono, La Unión, Panguipulli, 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, Aisén, Cochrane, O'Higgins, Coyhaique, Chile Chico, Río Ibañez, Punta Arenas, Porvenir, Torres del Paine, Antártica	0,6	1,67

3.2.2. Comportamiento frente al fuego

La resistencia al fuego de un elemento se expresa como el tiempo en minutos desde el comienzo del ensayo hasta que dejan de cumplirse las condiciones relativas a capacidad de soporte de carga, aislamiento térmico, estanquidad, y no emisión de gases inflamables (INN, 1997). Dichas condiciones para determinar la resistencia al fuego son las siguientes:

- 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 al fuego alcanza una máxima puntual de 180 °C, o una temperatura promedio del elemento de 140 °C, 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 la uniones o por grietas o fisuras formadas durante el ensayo, y se sostiene por 10 o más segundos. En caso de filtración de gases, hay pérdida de estanquidad si al colocar una mota de algodón en la filtración, esta 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 segundos de retirada la llama.

Finalmente, el elemento ensayado debe clasificarse en una “clase F” dependiendo del tiempo de resistencia al fuego que presente (Ver tabla 3.8).

Tabla 3.8: Clasificación de elementos de construcción sometidos a ensayo de resistencia al fuego.

Clase F	**Duración del ensayo en minutos**	
F0	≥ 0	< 15
F15	≥ 15	< 30
F30	≥ 30	< 60
F60	≥ 60	< 90
F90	≥ 90	< 120
F120	≥ 120	<150
F150	≥ 150	<180
F180	≥ 180	< 240
F 240	≥ 240	

Fuente: INN, 1997.

La tipología de muro con pies derechos de 45x69 mm, placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x3-9-YF), presentó una resistencia al fuego de 28 minutos, clasificándose según la NCh 935/1 Of.97 en la clase F15. La falla del muro se presentó por aislamiento térmico, evidenciando una temperatura puntual máxima de 208 °C en la cara no expuesta al fuego a 28 minutos de iniciado el ensayo (la temperatura ambiente al inicio del ensayo fue de 28 °C). La figura 3.5 muestra el muro M-2x3-9-YF durante el ensayo de resistencia al fuego.

En tanto, la tipología de muro con pies derechos de 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x4-9-YF), presentó una resistencia al fuego de 30 minutos, clasificándose según la NCh 935/1 Of.97 en la clase F30. La falla que el muro presentó fue también por aislamiento térmico, observando una temperatura puntual máxima admisible de 205 °C en la cara no expuesta al fuego a 30 minutos de iniciado el ensayo (la temperatura ambiente al inicio del ensayo fue de 25 °C). La figura 3.6 muestra el comportamiento del muro M-2x4-9-YF durante el ensayo de resistencia al fuego.

En cuanto al muro con pies derechos de 45x69 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm de espesor, y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x3-11-MM), este presentó una resistencia al fuego de 33 minutos y se clasifica como clase F30 (NCh 935/1 Of.97). La falla se evidenció por la emisión de gases inflamables en la zona central de la cara no expuesta del muro, a los 33 minutos de iniciado el ensayo. La figura 3.7 muestra el comportamiento del muro M-2x3-11-MM durante el ensayo de resistencia al fuego.

Finalmente el muro con pies derechos de escuadría 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm de espesor y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x4-11-MM), evidenció una resistencia al fuego de 26 minutos, clasificándose como clase F15 (NCh 935/1 Of.97). Esta tipología presentó problemas de estanquidad a las llamas al minuto 26 de iniciado el ensayo, produciéndose la falla en el traslapo de las fajas de madera cepillada tipo “siding” dispuestas horizontalmente. La figura 3.8 muestra el comportamiento del muro M-2x4-11-MM durante el ensayo de resistencia al fuego.

La tabla 3.9 presenta un resumen de los resultados de resistencia al fuego de las cuatro tipologías de muros ensayadas. Las tipologías de muros con resistencia al fuego clase F15 (M-2x3-9-YF y M-2x4-11-MM), pueden ser utilizadas en viviendas económicas o sociales de hasta 140 m2 de superficie. En tanto las tipologías de muro con resistencia al fuego clasificada F30 pueden ser utilizadas en cualquier tipo de edificio habitacional, de cualquier superficie, de hasta 2 pisos.

Tabla 3.9: Resultados de resistencia al fuego de los muros con estructura de madera ensayados.

Tipología de muro	**Resistencia al fuego [minutos]**	**Clase F**
M-2x3-9-YF	28	F15
M-2x4-9-YF	30	F30
M-2x3-11-MM	33	F30
M-2x4-11-MM	26	F15

Figura 3.5: Muro M-2x3-9-YF durante el ensayo de resistencia al fuego.

Figura 3.6: Muro M-2x4-9-YF durante el ensayo de resistencia al fuego.

Figura 3.7: Muro M-2x3-11-MM durante el ensayo de resistencia al fuego.

Figura 3.8: Muro M-2x4-11-MM durante el ensayo de resistencia al fuego.

3.2.3. Comportamiento acústico

Se define como aislación acústica de un elemento que separa dos ambientes, a la diferencia entre el nivel sonoro ambiente del lugar en el cual el sonido es emitido y el nivel sonoro ambiente del recinto en el cual ese sonido es percibido. Por ejemplo, si el nivel de ruido exterior es de 70 decibeles y el ruido al interior de una vivienda es de 40 decibeles, entonces la aislación acústica o índice de reducción acústica de la envolvente de la vivienda es de 30 decibeles (ver esquema de la figura 3.9) (COLONELLI y RODRIGUEZ, 2007).

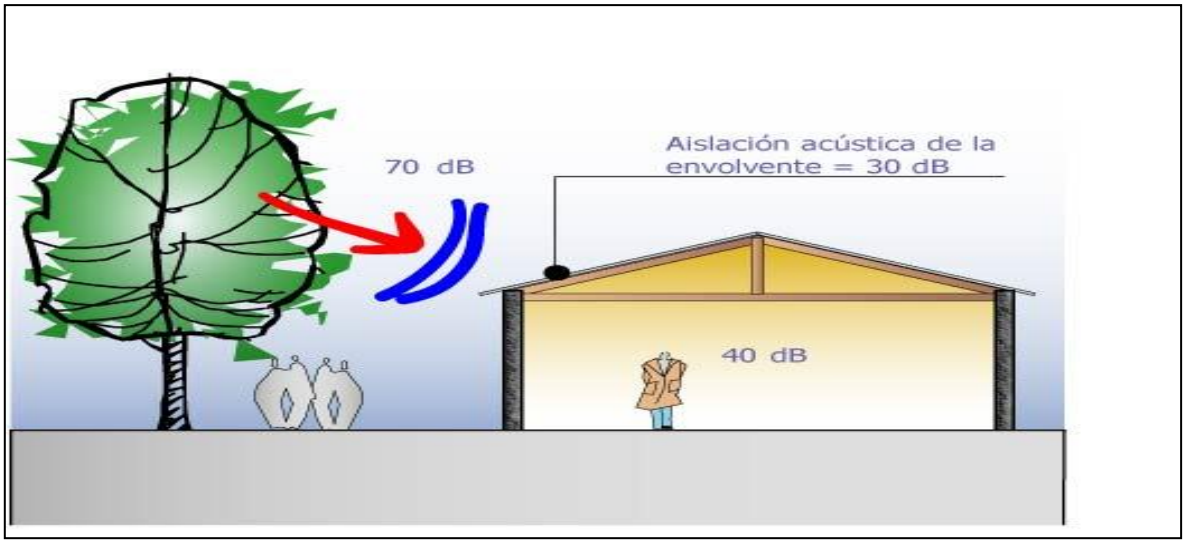
El nivel de intensidad acústica se mide en decibeles (dB), sin embargo cuando los instrumentos empleados en los ensayos imitan la sensibilidad del oído humano se dice que miden en decibeles "A" (dBA).

Los índices de reducción acústica ponderados, y ajustados a la percepción del oído humano obtenidos para las cuatro soluciones constructivas de muro con estructura de madera se muestran en la tabla 3.10; donde se puede observar que para las tipologías de muro con revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x3-9-YF y M-2x4-9-YF), el aumento de escuadría de los pies derechos de 45x69 mm (2x3) a 45x94 mm (2x4) significó un aumento de 2 dBA en aislación acústica. Por otra parte los muros con revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x3-11-MM y M-2x4-11-MM) con escuadrías de 45x69 mm y 45x94 mm no evidenciaron diferencias en su índice de reducción acústica en dBA.

Actualmente en el país no existen exigencias de nivel de aislación acústica para muros perimetrales, sin embargo la norma chilena NCh 352/1.Of2000 recomienda valores de aislación que deberían presentar estos elementos en función del nivel de ruido al exterior de la vivienda, tal como aparece en la tabla 3.11.

Según la recomendación de la norma NCh 352/1, se puede determinar que las cuatro tipologías de muro perimetral con estructura de madera presentan un alto nivel de aislación acústica, permitiendo su utilización en ambientes con ruido exterior de hasta 82 dBA, equivalentes al ruido aéreo que se producen en calles de alto tráfico o el funcionamiento de una industria.

Figura 3.9: Esquema concepto de aislación acústica de una vivienda frente a ruido exterior.



Fuente: COLONELLI y RODRIGUEZ, 2007.

Tabla 3.10: Índice de aislación acústica obtenidos para los muros con estructura de madera.

Tipología de muro	Índice de reducción acústica ponderado [dB]	Índice de reducción acústica ajustado [dBA]
M-2x3-9-YF	43	40
M-2x4-9-YF	45	42
M-2x3-11-MM	40	38
M-2x4-11-MM	39	38

Tabla 3.11: Valores de aislación acústica recomendados por normativa chilena para muros perimetrales

Ruido exterior		**Aislación mínima [dBA]**
Nivel Equivalente Diurno [5](NED) [dBA]	**Ruidos exterior usual**	
≤ 60	Calle sector residencial	20
61-65		25
66-70	Calle con trafico moderado	30
71-75		35
≥ 75	Calle con alto tráfico, martillo neumático, industrias y comercio.	NED-40

Fuente: INN, 2000.

[5] NED es el nivel de ruido equivalente medido al exterior de la fachada evaluada durante períodos de tiempo que consideran la actividad diurna característica del lugar

3.3 CONCLUSIONES

La tipología de muro con pies derechos de 45x69 mm, placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x3-9-YF), presentó una transmitancia térmica de 0,64 W/m2K, una clasificación F15 de resistencia al fuego y un nivel de aislamiento acústico de 40 dBA; por lo que esta tipología puede ser usada en viviendas económicas o sociales de hasta 140 m2 de superficie, emplazadas entre las zona térmica 1 y la zona térmica 6.

La tipología de muro con pies derechos de 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x4-9-YF), presentó una transmitancia térmica de 0,62 W/m2K, una clasificación F30 de resistencia al fuego y un nivel de aislamiento acústico de 42 dBA; por lo que esta tipología puede ser usada en edificios habitacionales de cualquier superficie de hasta dos pisos de altura, emplazados entre las zona térmica 1 y la zona térmica 6.

El muro con pies derechos de 45x69 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm de espesor, y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x3-11-MM), presentó una transmitancia térmica de 0,60 W/m2K, una clasificación F30 de resistencia al fuego, y un nivel de aislamiento acústico de 38 dBA; por lo que esta tipología puede ser usada en edificios habitacionales de cualquier superficie de hasta 2 pisos de altura, emplazados en cualquiera de las zonas térmicas del país.

El muro con pies derechos de escuadría 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm de espesor y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x4-11-MM), presentó una transmitancia térmica de 0,58 W/m2K, una clasificación F15 de resistencia al fuego, y un nivel de aislamiento acústico de 38 dBA; por lo que esta tipología puede ser usada en viviendas económicas o sociales de hasta 140 m2 de superficie, emplazadas en cualquiera de las zonas térmicas del país.

3.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de aislamiento acústico. N° Informe 796.180-A1/2012. Laboratorio Acústico.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de aislamiento acústico. N° Informe 796.180-A2/2012. Laboratorio Acústico.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de aislamiento acústico. N° Informe 796.180-A3/2012. Laboratorio Acústico.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de aislamiento acústico. N° Informe 796.180-A4/2012. Laboratorio Acústico.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180-3. Laboratorio de Incendios.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180. Laboratorio de Incendios.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180-1. Laboratorio de Incendios.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180-2. Laboratorio de Incendios.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180-3. Laboratorio de Incendios.

COLONELLI, P., RODRIGUEZ, G. 2007. Ruidos en viviendas. Proyecto Fondef D00I1039 Bienestar habitacional. Fundación Chile.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1997. Norma chilena oficial NCh 935/1.Of97: Prevención de incendio en edificios – Ensayo de Resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción en general.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2000. Norma chilena oficial NCh352/1.Of2000: Aislación acústica – Parte 1: Construcciones de uso habitacional – Requisitos mínimos y ensayos.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2007. Norma chilena oficial NCh 853.of2007: Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO – INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN (MINVU-IC). 2006. Manual de aplicación reglamentación térmica: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones artículo 4.1.10.

3.5 ANEXOS CARACTERIZACIÓN FÍSICO-AMBIENTAL MUROS DE MADERA

3.5.1 Cálculos térmicos de muros

Se exponen tablas con los cálculos de resistencias y transmitancias térmicas basados en la norma chilena NCh 853.of2007.

Muro M-2X3-9-YF		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m2°C/W]	Rt [m2°C/W]	U [W/m2°C]	% Superficie	U Ponderado [W/m2°C]	Rt Ponderado [m2°C/W]
Zona Aislación	Rse	--	--	0	1,661	0,6	89%	0,64	1,57
	Panel OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Rsi	--	--	0,12					
Zona puente térmico	Rse	--	--	0,00	1,075	0,93	11%		
	Panel OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Pino Radiata	0,069	0,104	0,663					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160					
	Rsi	--	--	0,12					

Muro M-2X4-9-YF		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m2°C/W]	Rt [m2°C/W]	U [W/m2°C]	% Superficie	U Ponderado [W/m2°C]	Rt Ponderado [m2°C/W]
Zona Aislación	Rse	--	--	0,00	1,661	0,60	89%	0,62	1,62
	Panel OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Rsi	--	--	0,12					
Zona puente térmico	Rse	--	--	0,00	1,315	0,76	11%		
	Panel OSB	0,0095	0,106	0,09					
	Pino Radiata	0,094	0,104	0,90					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,04					
	Cámara de aire NV	0,06	-	0,16					
	Rsi	--	--	0,12					

Muro M-2X3-11-MM		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m2°C/W]	Rt [m2°C/W]	U [W/m2°C]	% Superficie	U Ponderado [W/m2°C]	Rt Ponderado [m2°C/W]
Zona Aislación	Rse	--	--	0,00	1,769	0,57	89%	0,60	1,68
	Panel OSB	0,0111	0,106	0,105					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160					
	Madera tinglada	0,014	0,104	0,135					
	Rsi	--	--	0,12					
Zona puente térmico	Rse	--	--	0,00	1,183	0,85	11%		
	Panel OSB	0,0111	0,106	0,10					
	Pino Radiata	0,069	0,104	0,66					
	Madera tinglada	0,014	0,104	0,13					
	Cámara de aire NV	0,06	-	0,16					
	Rsi	--	--	0,12					

Muro M-2X4-11-MM		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m2°C/W]	Rt [m2°C/W]	U [W/m2°C]	% Superficie	U Ponderado[W/m2°C]	Rt Ponderado [m2°C/W]
Zona Aislación	Rse	--	--	0,00					
	Panel OSB	0,0111	0,106	0,105					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire				1,769	0,57	89%		
	NV	0,055	-	0,160					
	Madera tinglada	0,014	0,104	0,135					
	Rsi	--	--	0,12				0,58	1,72
Zona puente térmico	Rse	--	--	0,00					
	Panel OSB	0,0111	0,106	0,10					
	Pino Radiata	0,094	0,10	0,90					
	Madera tinglada	0,014	0,104	0,13	1,423	0,70	11%		
	Cámara de aire								
	NV	0,06	-	0,16					
	Rsi	--	--	0,12					

OFICINA DIAGUITAS
Km 5 costado aeródromo La Florida, La Serena
Fono / Fax: (56-51) 543627

SEDE METROPOLITANA
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Fono: (56-2) 23667100. Fax: (56-2) 23667131

SEDE BIO BIO
Camino a Coronel km 7,5, San Pedro de la Paz, Concepción
Fono / Fax: (56-41) 2853260

SEDE VALDIVIA
Fundo Teja Norte s/n, Valdivia
Fono: (56-63) 218968

OFICINA PATAGONIA
Camino Coyhaique Alto km 4, Coyhaique
Fono: (56) 98831860

INFOR

www.infor.cl