

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA DE PINO RADIATA SOMETIDOS A CARGA HORIZONTAL



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA DE PINO RADIATA SOMETIDOS A CARGA HORIZONTAL¹

Luis Vásquez ²; Raúl Campos; Patricio Elgueta; Gonzalo Hernández;
Jorge Catalán; Cristian Reyes y Pablo Mardones

INSTITUTO FORESTAL
Área Tecnología y Productos de Madera
2019

¹ Estudio financiado por convenio transferencia INFOR-MINAGRI 2019

² Investigadores Instituto Forestal, Sede Bio Bio luis.vasquez@infor.cl



INSTITUTO FORESTAL
Sucre 2397 Ñuñoa, Santiago
Chile
F. 223667115
ISBN N° 978-956-318-155-5
Registro Propiedad Intelectual N° 2020-A-740
www.infor.cl

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

Vásquez, Luis; Campos, Raúl; Elgueta, Patricio; Hernández, Gonzalo; Catalán, Jorge; Reyes, Cristian y Mardones, Pablo, 2019. Caracterización Mecánica de Muros Estructurales de Madera de Pino Radiata Sometidos a Carga Horizontal. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 228 P. 14

PRÓLOGO

El Estado de Chile se ha propuesto como meta para el año 2050 que el país sea carbono neutral con el objeto de contribuir a la mitigación del cambio climático global. Múltiples medidas pueden ser abordadas desde todos los ámbitos de la actividad humana para el logro de este objetivo. Entre las principales están la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la captura y fijación de carbono atmosférico.

En este contexto, el sector forestal debe jugar un rol determinante a través del manejo sostenible de los bosques nativos y las plantaciones forestales, y de un incremento de la superficie de estas últimas, a través de la forestación de extensas superficies de suelos forestales desarbolados que existen en diferentes regiones del centro y sur del país. Los bosques, sean nativos o plantados, capturan carbono atmosférico y lo fijan en su biomasa.

Todos los productos de madera de los bosques mantienen retenido este carbono por muchos años en tanto la madera no se queme o descomponga. Es por esto que el empleo de madera en construcciones de viviendas y otras obras tiene un doble efecto positivo, dado por la retención de carbono del material y por el reemplazo de otros materiales, como acero, cemento y otros, cuya producción tiene una huella de carbono importante. El incremento del uso de madera en ámbito nacional se presenta así también como una interesante contribución a la mitigación de los efectos del cambio climático.

Diversas iniciativas existen en el país para un mayor desarrollo de la industria secundaria de la madera y para incrementar el uso de esta, principalmente en la construcción de viviendas y otras obras en este material, que tienen ventajas económicas, sociales y ambientales respecto de las construidas con otros materiales como lo ya mencionados. La industria secundaria genera empleo, agrega valor a los productos y diversifica la producción, dando con esto un mayor valor a los bosques.

El Instituto Forestal (INFOR) desde sus inicios ha estudiado las maderas de los bosques nativos y las plantaciones, determinando sus propiedades físicas y mecánicas y sus aptitudes de uso, y actualizando esta información con cierta periodicidad para las maderas de plantaciones dadas las variaciones que se generan por los avances de la silvicultura y el mejoramiento genético. Especial atención ha prestado a la construcción en madera y a los componentes para esta, como madera con clasificación estructural y diversos productos de ingeniería en madera, entre los que se cuentan maderas laminadas de diferentes tipos, tipologías de muros estructurales, cerchas y otros

En el presente informe se entrega una caracterización de tipologías de muros fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata, a través de diferentes ensayos mecánicos llevados a cabo en el Laboratorio de Madera Estructural de la institución en Concepción, que cuenta con un sistema de gestión acreditado bajo la norma NCh-ISO 17025.

Fernando Raga Castellanos
Director Ejecutivo
Instituto Forestal

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVO	1
3.	METODOLOGÍA	1
3.1.	Tipologías de Muro con Estructura de Madera	2
3.2.	Metodología de Ensayos de Extracción Lateral de Clavos	4
4.	RESULTADOS	5
4.1.	Resultados de Ensayos de Carga Lateral	5
4.2.	Resultados de Ensayos de Extracción de Clavos	10
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	11
6.	CONCLUSIONES	13
7.	REFERENCIAS	14

1. INTRODUCCIÓN

Considerando 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 Área de Tecnología y Productos de Madera del Instituto Forestal (INFOR) ejecutó una serie de ensayos mecánicos que permiten caracterizar tipologías de muros fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata.

Un muro estructural tiene por función transmitir hacia la fundación las cargas verticales y horizontales a las que se somete una vivienda.

Los muros de madera fueron contruidos según el sistema constructivo plataforma, en base a pies derechos de madera aserrada estructural de pino radiata y placa arriostrante OSB fijada bajo un esquema de clavado específico.

La norma NCh 1198 (INN, 2014) que rige el cálculo estructural en madera, no propone un método analítico para verificar la capacidad estructural de un muro sometido a cargas horizontales. La norma NCh 802 (INN, 2017) define el método de ensayo para determinar el comportamiento y resistencia de segmentos de muro sometidos a una carga horizontal contenida en su plano, donde las condiciones de borde representan el comportamiento de la estructura, sin considerar la restricción al giro de la probeta de ensayo.

En este informe se exponen los resultados de los ensayos mecánicos de carga vertical aplicados sobre 4 configuraciones de muros con estructura de madera, considerando un único sistema de anclaje. Los resultados permitieron estimar capacidades admisibles de los muros frente a cargas de corte, valores que son de utilidad para el diseño estructural.

Los ensayos mecánicos fueron ejecutados en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR) en Concepción, que cuenta con un sistema de gestión acreditado bajo la norma NCh-ISO 17025.

2. OBJETIVO

El objetivo de este estudio es determinar la carga horizontal máxima para tipologías de muro y su capacidad resistente a carga horizontal asociada a deformaciones máximas permitidas en Chile y Estados Unidos. Adicionalmente, comparar los resultados con ensayos previos.

3. METODOLOGÍA

El método de ensayo aplicado a los muros se describe en la norma chilena NCh 802 Elementos de Construcción - Segmentos de Muro - Ensayo de Carga Horizontal.

El diseño experimental consideró 4 tipologías de muros y 5 repeticiones por tipología.

A la primera probeta de cada tipología se le aplicó una carga monotónica, hasta alcanzar la falla. A las 4 probetas restantes se les aplicaron cargas cíclicas, con un mínimo de 5 incrementos discretos de carga. Para cada ciclo se registraron la deformación del muro bajo carga y su deformación residual.

3.1. Tipologías de Muro con Estructura de Madera

Las tipologías de muros de madera sometidas a los ensayos de carga horizontal se indican en el Cuadro N° 1. Todos los muros presentan un sistema de anclaje unido a una viga de fundación de acero. El tamaño de las probetas de muro ensayados fue 1,22 m de ancho por 2,44 m de alto. Las Figuras N° 1 y N° 2 registran la configuración de muro ensayado y el conector “*hold-down* HTT4” utilizado en el sistema de anclaje, respectivamente.

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

Tipología	Estructura	Placa de Arriostre	Sistema de Anclaje
MP-75-9	Madera pino radiata, aserrada, estructural C24, seca en cámara, escuadría 45x94 mm (2x4"); y pie derechos distanciados a 406 mm.	Placa de madera OSB de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos de 3" (diámetro 3 mm) distanciados en la zona perimetral a 75 mm y 150 mm en la zona central, hincados con una pistola neumática	2 pernos de anclaje grado 8, de 5/8" de diámetro; con conectores de acero modelo HTT4 de Simpson <i>Strong-Tie</i> .
MP-75-11	Madera pino radiata, aserrada, estructural C24, seca en cámara, escuadría 45x94 mm (2x4"); y pie derechos distanciados a 406 mm.	Placa de madera OSB de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos de 3" (diámetro 3 mm) distanciados en la zona perimetral a 75 mm y 150 mm en la zona central, hincados con una pistola neumática	2 pernos de anclaje grado 8, de 5/8" de diámetro; con conectores de acero modelo HTT4 de Simpson <i>Strong-Tie</i> .
MP-50-9	Madera pino radiata, aserrada, estructural C24, seca en cámara, escuadría 45x94 mm (2x4"); y pie derechos distanciados a 406 mm.	Placa de madera OSB de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos de 3" (diámetro 3 mm) distanciados en la zona perimetral a 50 mm y 100 mm en la zona central, hincados con una pistola neumática	2 pernos de anclaje grado 8, de 5/8" de diámetro; con conectores de acero modelo HTT4 de Simpson <i>Strong-Tie</i> .
MM-75-9	Madera pino radiata, aserrada, estructural C24, seca en cámara, escuadría 45x94 mm (2x4"); y pie derechos distanciados a 406 mm.	Placa de madera OSB de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos de 3" (diámetro 2,8 mm) distanciados en la zona perimetral a 75 mm y 150 mm en la zona central, hincados con martillo	2 pernos de anclaje grado 5, de 5/8" de diámetro; con conectores de acero modelo “HTT4” de Simpson <i>Strong-Tie</i> .



Figura N° 1
CONFIGURACIÓN DEL MURO



Figura N° 2
CONECTOR UTILIZADO EN EL ANCLAJE

3.2. Metodología de Ensayos de Extracción Lateral de Clavos

La metodología de ensayo utilizada para la caracterización mecánica de la unión clavada de un tablero OSB, sometida a extracción lateral, está descrita en la norma internacional ASTM D1037-12, apartado 13 (ASTM, 2012). En los ensayos se utilizó una máquina universal 10 t.

La muestra de paneles OSB ensayados corresponde a tableros estructurales fabricados por la industria nacional, bajo estándar de calidad APA. Las probetas de ensayo fueron extraídas de los bordes de los paneles. La Figura N° 3 registra la implementación del ensayo. Se consideraron 3 distancias de clavado desde el borde: 5, 10 y 15 mm. En la Figura N° 4 se indica la distancia medida desde el centro del clavo al borde de la probeta.



Figura N° 3
ENSAYO DE EXTRACCIÓN DIRECTA



Figura N° 4
DISTANCIA AL BORDE DEL TABLERO

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de Ensayos de Carga Lateral

Los valores máximos de carga lateral por metro lineal se registran en el Cuadro N° 2.

En la Figura N° 5 se muestra el gráfico de carga por metro lineal y deformación bajo carga de los ensayos monotónicos.

En las Figuras N° 6 a N° 9 aparecen los gráficos de carga por metro lineal, deformación bajo carga, y residual de los ensayos cíclicos, para las 4 tipologías de muro ensayadas.

Se observa en el Cuadro N° 2 que los muros MP-75-9 y MP-75-11 alcanzaron una carga lateral máxima promedio de 20.358 N/m y 20.056 N/m, respectivamente.

Los muros MM-75-9 presentan una carga promedio de 18.061 N/m, y los muros MP-50-9, que presentan la mayor concentración de clavos, alcanzaron una carga promedio de 26.185 N.

En todas las tipologías de muro, la falla se produce en el borde traccionado. La falla característica responde a la siguiente secuencia: Plastificación del acero de los medios de unión, aplastamiento y desgarramiento de la zona de clavado de unión OSB-madera y desclavado parcial de la unión pie derecho con la solera inferior de la zona en tracción.

En algunos casos el pie derecho falla por tracción, ya que la sollicitación supera la tensión característica de la madera.

En las Figuras N°10 a N° 12 se aprecian las fallas antes descritas.

Cuadro N° 2
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARGA LATERAL

Muro	Carga Máxima (N/m)			
	MP-75-9	MP-75-11	MP-50-9	MM-75-9
1 (*)	18.510	18.509	26.153	18.330
2	19.365	21.578	28.306	19.586
3	22.794	21.560	27.409	15.641
4	19.931	18.689	25.238	18.115
5	21.189	19.945	23.820	18.635
Promedio (N/m)	20.358	20.056	26.185	18.061
Desviación estándar (N/m)	1.674	1.487	1.767	1.465
Coeficiente variación (%)	8,2	7,4	6,7	8,1

(*) Corresponde a ensayo monotónico

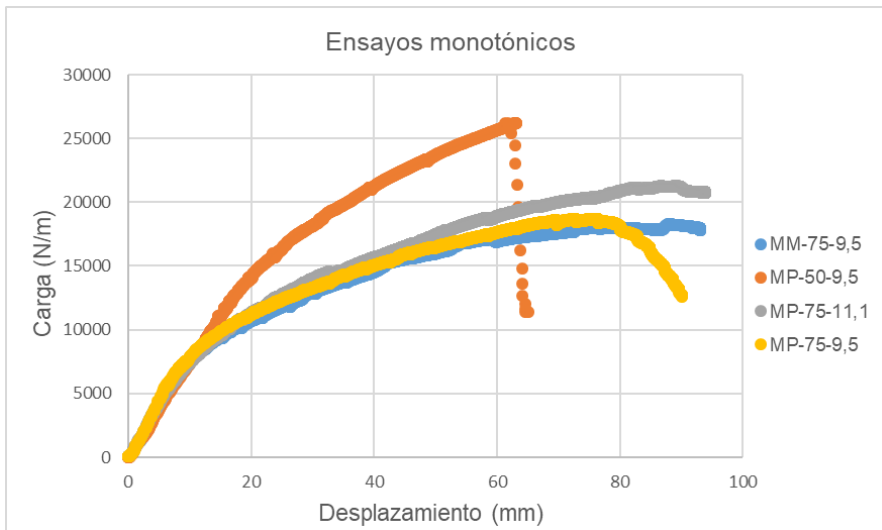


Figura N° 5
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MONOTÓNICOS

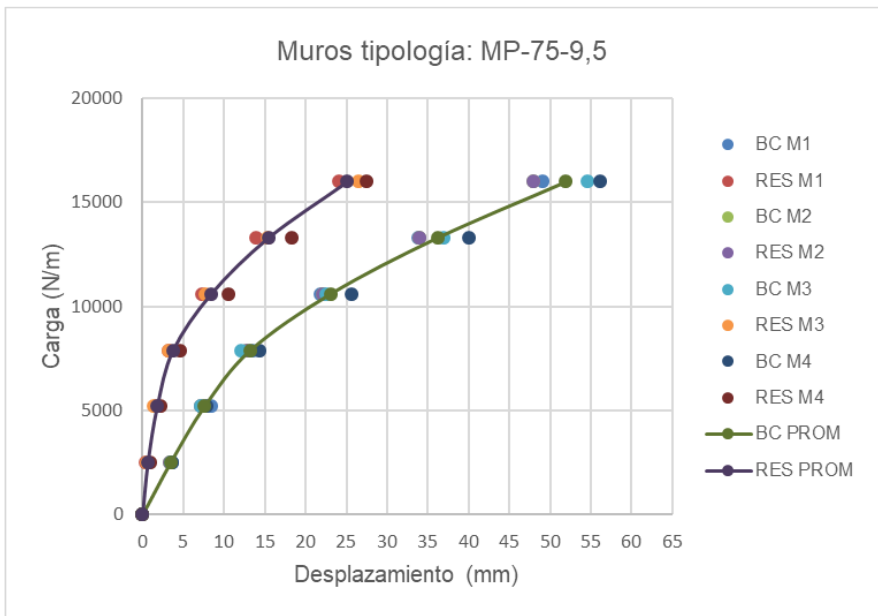


Figura N° 6
RESULTADO DE ENSAYOS CÍCLICOS MUROS MP-75-9,5

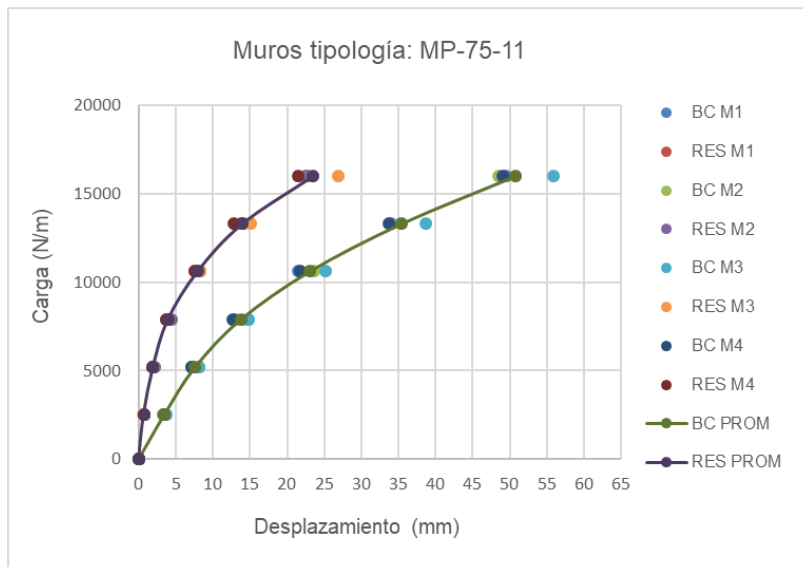


Figura N° 7
RESULTADO DE ENSAYOS CÍCLICOS MUROS MP-75-11

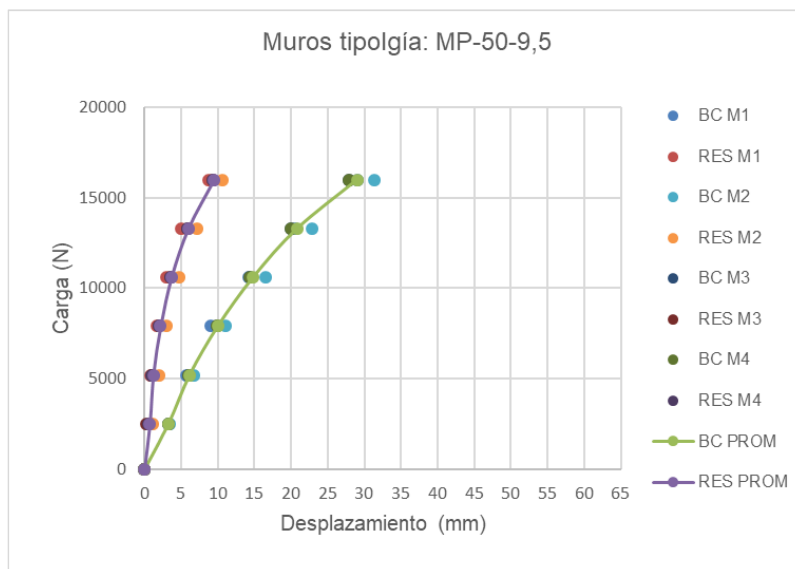


Figura N° 8
RESULTADO DE ENSAYOS CÍCLICOS MUROS MP-50-9,5

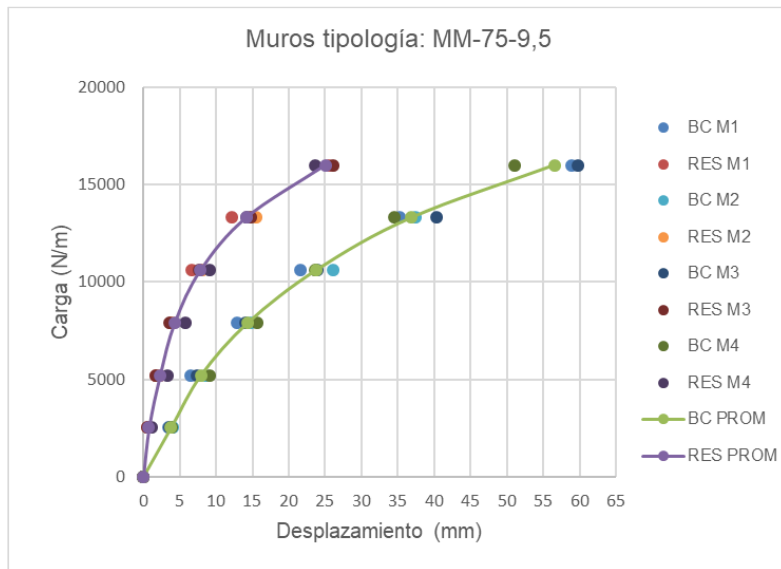


Figura N° 9
RESULTADO DE ENSAYOS CÍCLICOS MUROS MP-75-9,5



Figura N° 10
FLUENCIA CLAVO, APLASTAMIENTO OSB



Figura N° 11
DESCLAVADO DEL PIE DERECHO



Figura N° 12
FALLA DEL PIE DERECHO EN TRACCIÓN

4.2. Resultados de Ensayos de Extracción de Clavos

En el Cuadro N° 3 se muestran los resultados de los ensayos de extracción lateral ejecutados para las distintas distancias del eje del clavo al borde de la placa de OSB. Los resultados indican que a distancias inferiores a 1 cm disminuye considerablemente la capacidad de la unión, situación que se corrobora con las especificaciones del fabricante y las recomendaciones constructivas en documentos de “APA *builders tips*”. Por otro lado, no se observan diferencias relevantes en relación a la capacidad resistente de la unión al extraer probetas de cualquier borde del panel (en orientación horizontal y vertical). Las fallas tipo obtenidas se presentan en la Figura N° 13.

Cuadro N° 3
RESULTADOS DE ENSAYOS DE EXTRACCIÓN LATERAL

Orientación Panel	Distancia a Borde (mm)	Cantidad de Ensayos	Carga Máxima Promedio (N)	Carga Mínima (N)	Carga Máxima (N)	Desv. Estándar (N)	Coef. Variación (%)
Vertical	5	5	517,2	290,0	827,0	216,5	41,9
Vertical	10	5	1.056,4	764,0	1.510,0	285,5	27,0
Vertical	15	5	1.209,2	772,0	1.660,0	351,5	29,1
Horizontal	5	5	284,0	207,0	383,0	68,5	24,1
Horizontal	10	5	946,2	654,0	1.330,0	302,3	31,9
Horizontal	15	5	1.248,0	810,0	1.750,0	343,2	27,5



Figura N° 13
FALLA EXTRACCIÓN LATERAL DE CLAVOS

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Cuadro N° 4 se registran los valores de carga máxima promedio obtenidos para las tipologías abordadas en este estudio y los presentados por INFOR (2016). También se registran las cargas admisibles asociadas a los criterios de deformaciones máximas permitidas por la norma chilena NCh 433 y la estadounidense ASCE-07 (ASCE, 2005).

Al comparar la tipología de muro fabricado con OSB de 9,5 mm, considerando espaciamientos de unión perimetral de @150 mm y @100 mm, la carga máxima se incrementa en un 40%. Para el muro con espaciamiento @75 mm el incremento es de 150% y con el espaciamiento @50 mm un 225%.

Los muros con espaciamiento del medio de unión @150 mm y @100 mm fueron fabricados con clavos de 2" (diámetro de 2,8 mm) e hincados con martillo neumático, mientras que los muros con espaciamiento del medio de unión @75 mm y @50 mm fueron fabricados con clavos de 3" (diámetro de 3 mm).

De manera adicional se fabricó y ensayó una tipología de muro con espaciamiento del medio de unión @75 mm, considerando clavos de 2" (diámetro 2,8 mm), para evaluar el aporte en resistencia que genera la diferencia de diámetros. De estos ensayos se desprende que el aumento de diámetro del clavo aumenta la resistencia del muro un 13%.

Por otro lado, no se evidencia una diferencia significativa en la resistencia máxima a la carga lateral al comparar los muros con igual espaciamiento de uniones perimetrales, igual diámetro del clavo, pero con tablero OSB de 9,5 mm u 11,1 mm de espesor.

Al comparar la tipología de muro fabricado con OSB de 9,5 mm, considerando espaciamientos de la unión perimetral @150 mm y @100 mm, la carga máxima admisible determinada según el procedimiento en NCh 433 se incrementa en un 22%. Para el muro con espaciamiento @75 mm, el incremento es 46%, y con espaciamiento @50 mm, 71%.

Al comparar la tipología muro fabricado con OSB 9,5 mm, considerando espaciamientos de unión perimetral @150 mm y @100 mm, la carga máxima admisible determinada según el procedimiento de ASCE-07 se incrementa en un 21%. Para el muro con espaciamiento @75 mm, el incremento es 83%, y con el espaciamiento @50 mm, 125%.

En el Cuadro N° 5 se registran las tensiones axiales generadas en el pie derecho traccionado. Se verifica la necesidad de contar con una pieza de madera aserrada con grado estructural mínimo C16 en la escuadría ensayada.

En la Figura N° 14 se muestran las curvas de carga por metro lineal y la deformación bajo carga promedio para las 4 tipologías de muros ensayadas. Se observa un comportamiento inicial elástico lineal y una marcada zona dúctil que refleja gran deformación antes de alcanzar la rotura.

Cuadro N° 4
RESISTENCIA A CARGA LATERAL DE TIPOLOGÍAS DE MUROS SISTEMA PLATAFORMA

Muro	Carga Máxima Promedio (N)	Cargas Admisibles, según Criterio de Deformación (N/m)	
		*H/500 (NCh 433)	*H/200 (ASCE-07)
MM-100-9 (*)	13.848	2.890	4.931
MM-100-11 (*)	14.599	3.669	6.133
MM-150-9 (*)	9.899	2.360	4.065
MM-150-11 (*)	10.967	3.267	4.942
MP-75-9	24.836	3.436	7.420
MP-75-11	24.468	3.452	7.214
MP-50-9	32.292	4.027	9.128
MM-75-9	22.035	3.236	7.002

(*): Obtenido en estudio previo de INFOR.

*H: Altura entre pisos.

MP: Clavo de 3"; Hincado con pistola neumática

MM: Clavo de 2"; Hincado con martillo.

Cuadro N° 5
TENSIONES AXIALES EN TRACCIÓN

Muro	*H/500 N/m (NCh 433)	Carga en Tracción (N) (NCh 433)	Tensión en Tracción (MPa) (45x95 mm)	Grado Estructural Mínimo Necesario en Pie Derecho
MM-100-9 (*)	2.890	8.603	2,0	C16 (3,5 MPa) o G2 (4,7 MPa)
MM-100-11 (*)	3.669	10.922	2,6	
MM-150-9 (*)	2.360	7.025	1,6	
MM-150-11 (*)	3.267	9.725	2,3	
MP-75-9	3.436	10.228	2,4	
MP-75-11	3.452	10.276	2,4	
MP-50-9	4.027	11.988	2,8	
MM-75-9	3.236	9.633	2,3	

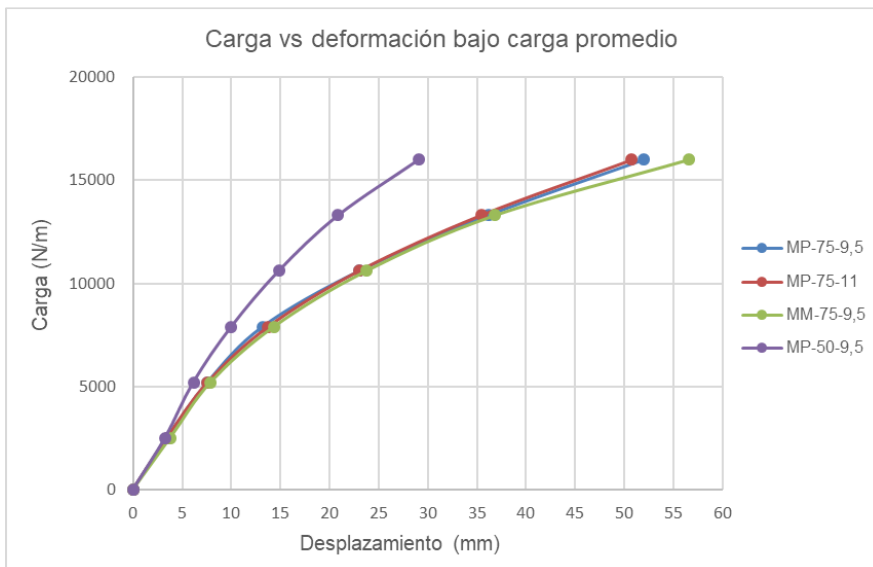


Figura N° 14
GRÁFICA DE CARGA POR METRO LINEAL Y DEFORMACIÓN BAJO CARGA
POR TIPOLOGÍA ENSAYADA

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para las tipologías de muros ensayados permiten caracterizar las propiedades mecánicas a carga horizontal del elemento estructural ya que las cargas máximas presentan un bajo coeficiente de variación en todas las tipologías.

El comportamiento de la estructura otorga ductilidad siempre que la capacidad en tracción del pie derecho sea mayor al esfuerzo necesario para restituir el máximo momento volcante.

No se evidenciaron variaciones importantes en la capacidad al corte de los muros cuando se modificó el espesor de la placa OSB, de 9,5 mm a 11,1 mm.

Los resultados muestran que existe una alta correlación entre el espaciamiento de clavado perimetral y la carga máxima de rotura del muro. Por lo tanto, a menor espaciamiento se obtiene una mayor capacidad a la carga horizontal.

Las cargas asociadas a las deformaciones máximas permitidas por la norma NCh 433 presentan una menor diferencia entre las distintas tipologías ensayadas respecto de las cargas obtenidas bajo la norma ASCE-07. Esto se debe a que la normativa nacional es más restrictiva.

7. REFERENCIAS

ASCE, 2005. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers, EE.UU.

INN, 2009. NCh 433.Of1996 Modificada en 2009. Diseño Sísmico de Edificios. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

ASTM, 2012. ASTM D1037-12. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, American Society of Testing Materials.

INN, 2017. NCh 802/2017: Elementos de construcción – Segmento de muro – Ensayo de carga horizontal. Instituto de Normalización Nacional, Chile.

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

Vásquez, L., González, M., Elgueta, P., Campos, R., Hernández, G., 2016. Informe de Ensayos Mecánicos de Muros Estructurales de Madera. Instituto Forestal. Concepción, Chile.



INFOR

www.infor.cl