Informe Técnico N° 245

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE TIPOLOGÍAS DE MUROS FABRICADOS CON MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE PINO RADIATA Y SOMETIDOS A CARGA LATERAL







Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

INSTITUTO FORESTAL
2021

INFOR

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

Informe Técnico N° 245

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE TIPOLOGÍAS DE MUROS FABRICADOS CON MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE PINO RADIATAY SOMETIDOS A CARGA LATERAL

Jorge Catalán [1]; Luis Vásquez; Pablo Mardones y Raúl Campos

INSTITUTO FORESTAL
2021

[1] Investigadores Instituto Forestal, Sede Biobío. jorge.catalan@infor.cl



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

ISBN N° 978 956 318 222 - 4
Registro Propiedad Intelectual N° 2022 A 1827

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

Catalán, Jorge; Vásquez, Luis; Mardones, Pablo y Campos, Raúl, 2021. Caracterización Mecánica de Muros Fabricados con Madera Aserrada Estructural de Pino Radiata y Sometidos a Carga Lateral. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 245. P. 11.
https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31351

PRÓLOGO

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

No solo los bosques contribuyen a mitigar los gases de efecto invernadero, también lo hace la construcción con madera, cuya fabricación de componentes emite menos CO_2 que los fabricados con materiales alternativos, tales como el acero y el hormigón.

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

Este estudio permite determinar las capacidades admisibles de tipologías de muro sometidos a cargas de corte, fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata y tableros contrachapados, considerando las restricciones a la deformación que señalan la normativa nacional y americana.

El trabajo fue financiado con recursos provenientes de convenio suscrito entre el Ministerio de Agricultura (MINAGRI) y el Instituto Forestal (INFOR).

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVO 1
3. METODOLOGÍA 1
4. RESULTADOS 3
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 7
6. CONCLUSIONES 11
7. REFERENCIAS 11

1. INTRODUCCIÓN

Un muro estructural tiene por objetivo transmitir a la fundación de una vivienda las cargas verticales y horizontales a las ella es sometida.

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 un 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.

Este informe entrega la metodología, resultados y conclusiones obtenidas de ensayos mecánicos a cargas de corte, ejecutados a 3 tipologías de muros con estructura de madera.

Los muros son construidos según el sistema constructivo plataforma, en base a pie derechos de madera aserrada estructural de pino radiata, grado visual G1, y tablero contrachapado arriostrante fijado al tabique con un esquema de clavado específico.

A partir de los resultados de los ensayos mecánicos se estimaron las capacidades admisibles de los muros sometidos a cargas de corte, considerando la restricción a la deformación que establece la norma NCh 433 (H/500) (INN, 1996) y luego se compararon los resultados con los criterios que señala la ASCE 7 (H/200) (ASCE, 2005).

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 considera determinar las capacidades admisibles de tipologías de muro sometidos a cargas de corte, fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata y tableros contrachapados, considerando las restricciones a la deformación que señalan la normativa chilena y estadounidense.

3. METODOLOGÍA

El método de ensayo aplicado a los muros se describe en la Norma chilena NCh 802 (INN, 2017): Elementos de construcción. Segmentos de muro. Ensayo de carga horizontal.

El diseño experimental consideró 3 tipologías de muros y 5 repeticiones por tipología.

A la primera probeta de cada tipología ensayada 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 registró la deformación del muro bajo carga y su deformación residual.

Las tipologías de muros ensayadas a carga horizontal se describen 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.

Cuadro N°1
TIPOLOGÍAS DE MUROS ENSAYADOS A CARGA LATERAL

Tipología	Estructura	Placa de Arriostre	Sistema de Anclaje
MP-75/CP	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural visual G1, seca en cámara, escuadría 41x90 mm (2x4"); y pie derechos distanciados a 406 mm.	Placa contrachapada de 12 mm de espesor, fijada con clavos de 3" de largo (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 Strong-Tie.
MP-100/CP	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural visual G1, seca en cámara, escuadría 41x90 mm (2x4"); y pie derechos distanciados a 406 mm.	Placa contrachapada de 12 mm de espesor, fijada con clavos de 3" de largo (diámetro 3 mm) distanciados en la zona perimetral a 100 mm y 200 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 *Strong-Tie*.
MP-150/CP	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural visual G2, seca en cámara, escuadría 41x90 mm (2x4"); y pie derechos distanciados a 406 mm.	Placa contrachapada de 12 mm de espesor, fijada con clavos de 3" de largo (diámetro 3 mm) distanciados en la zona perimetral a 150 mm y 300 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 *Strong-Tie.*

Las Figuras N°1 y N°2 ilustran la configuración del muro ensayado y el conector *hold-down* HTT4 utilizado en el sistema de anclaje, respectivamente.

Los tableros contrachapados se compraron directamente del *retail* nacional y no presentan un sello de grado o calidad que los identifique.



Figura N°1
CONFIGURACIÓN DEL MURO



Figura N°2
CONECTOR UTILIZADO EN EL ANCLAJE

4. RESULTADOS

El Cuadro N°5 registra la estadística descriptiva asociada a los resultados de los ensayos ejecutados a las 3 tipologías de muros.

Se observa que las tipologías de muro MP-75/CP, MP-100/CP y MP-150/CP alcanzaron cargas laterales máximas promedio de 23.709 N/m, 19.752 N/m y 13.007, respectivamente. De lo anterior se desprende que a menor espaciamiento de clavado del tablero arriostrante, mayor es la capacidad de resistencia del muro a la carga lateral.

La Figura N°3 registra las curvas de los ensayos monotónico, carga *vs* deformación.

Las Figuras N°4 a N°6 registran las curvas promedio, residual y bajo carga, de los ensayos cíclicos para las 3 tipologías de muros ensayadas.

En todas las tipologías de muro ensayadas la falla se genera en el borde traccionado, que responde a la siguiente secuencia de desarrollo:

- Plastificación del acero de los medios de unión.
- Aplastamiento y desgarramiento de la zona de clavado (unión tablero y madera).
- Desclavado parcial de la unión pie derecho con solera inferior y superior en zona de tracción.

Las Figuras N°7 a N°9 registran las fallas descritas.

También contribuye a la falla de los muros la presencia del medio de unión herraje-pie derecho, que debilita la zona y concentra tensiones en su entorno. En algunos casos el pie derecho falla por tracción en la zona de unión con el herraje (Figura N°10). En este caso la carga en tracción supera la resistencia característica de la madera aserrada a este esfuerzo.

Cuadro N° 5
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARGA LATERAL

Muro	Carga máxima (N/m)		
	MP-150/CP	MP-100/CP	MP-75/CP
1(*)	13.455	21.485	27.025
2	14.344	20.889	25.743
3	14.807	21.613	21.120
4	9.865	15.027	23.160
5	12.564	19.748	21.494
Promedio	13.007	19.752	23.709
Desviación estándar	1.956	2.742	2.600
Coeficiente de variación (%)	15	14	11

(*) Corresponde al ensayo monotónico

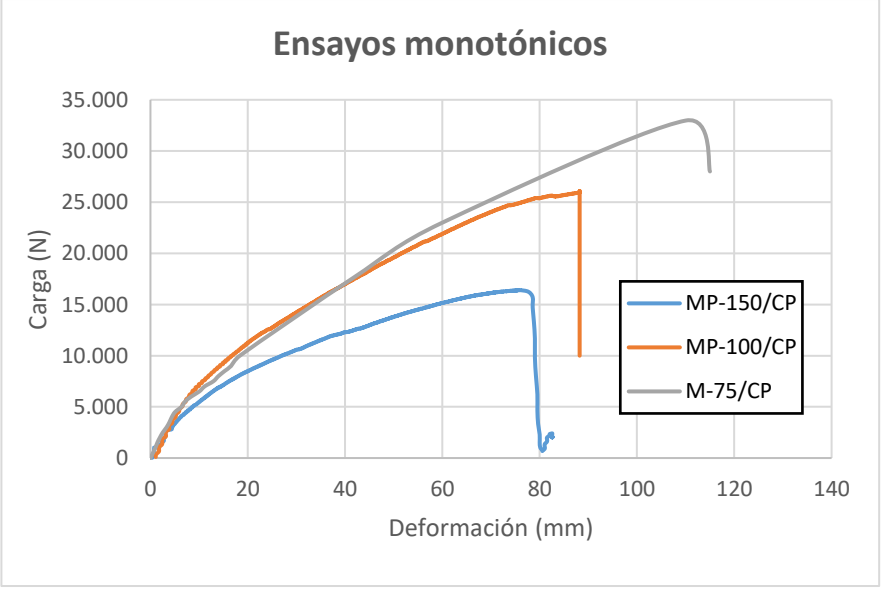

Figura N° 3
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MONOTÓNICOS

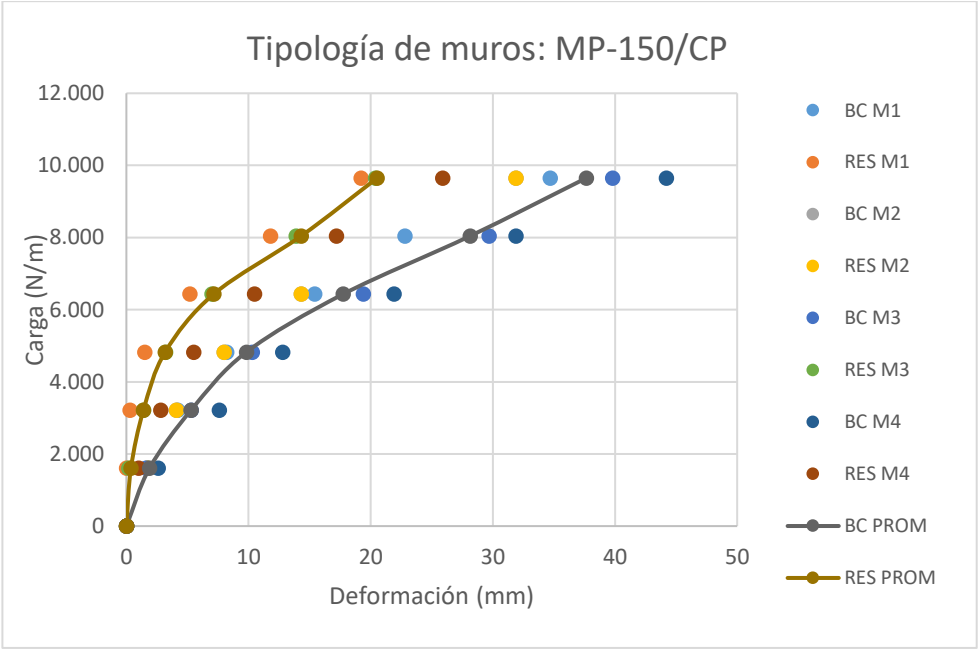

Figura N° 4
CURVAS PROMEDIO, RESIDUAL Y BAJO CARGA, MUROS MP-150/CP

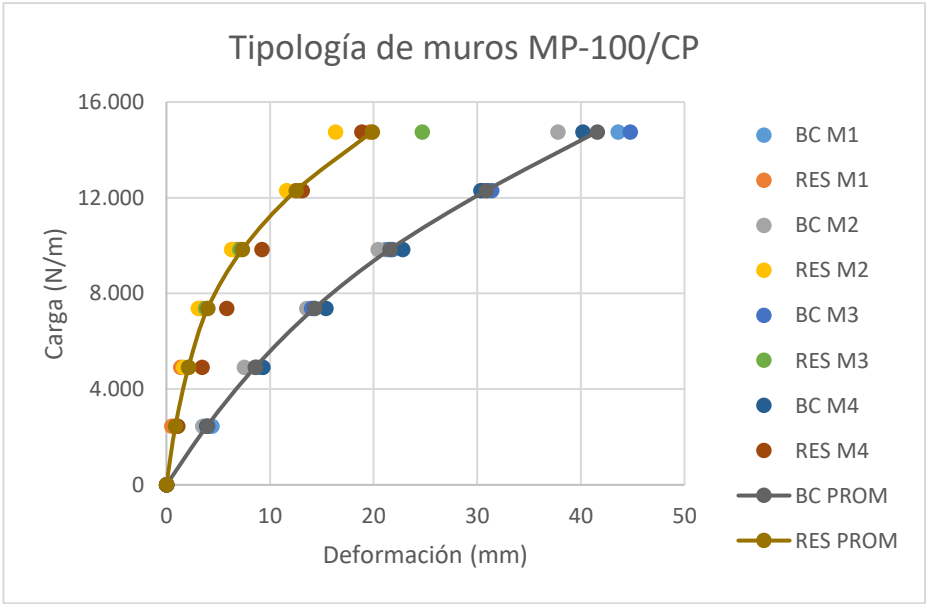

Figura N° 5
CURVAS PROMEDIO, RESIDUAL Y BAJO CARGA, MUROS MP-100/CP

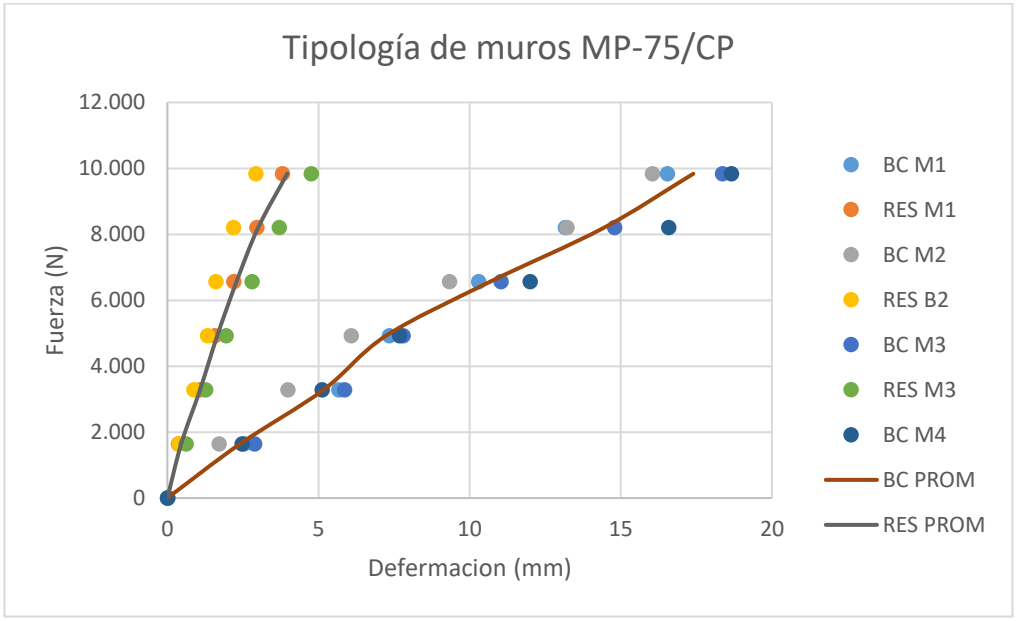

Figura N° 6
CURVAS PROMEDIO, RESIDUAL Y BAJO CARGA, MUROS MP-75/CP

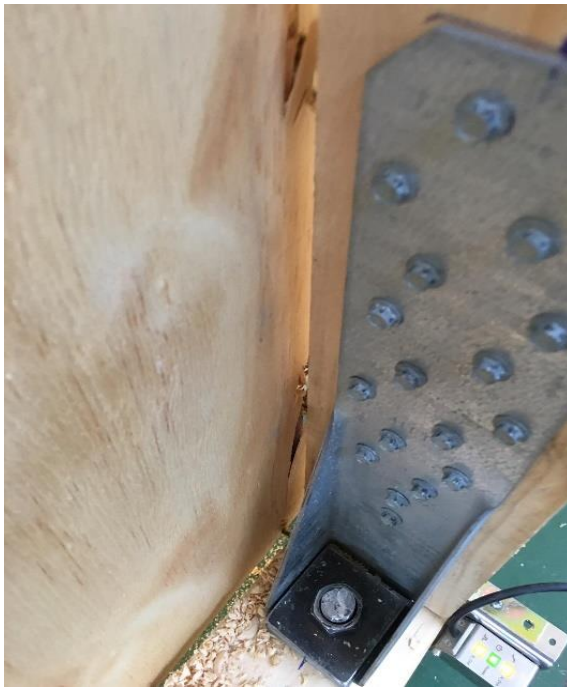

Figura N° 7
FLUENCIA CLAVO

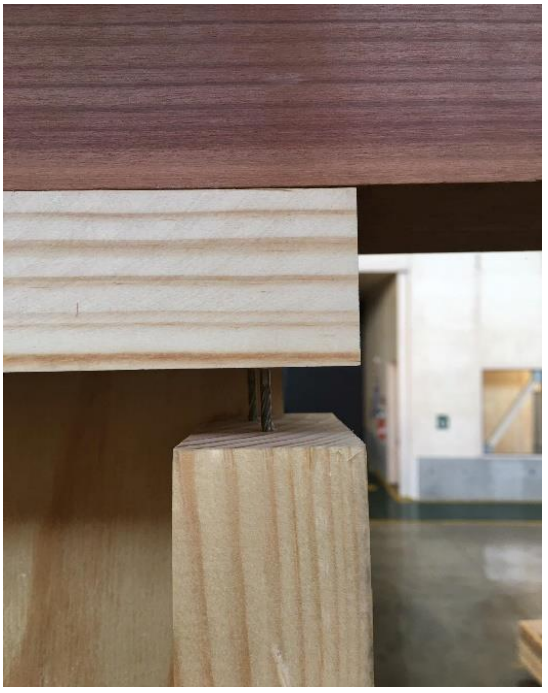

Figura N° 8
DESCLAVADO DEL PIE DERECHO



Figura N° 9
FALLA POR APLASTAMIENTO LOCAL DEL TABLERO CONTRACHAPADO



Figura N° 10
FALLA PIE DERECHO TRACCIONADO EN ZONA DE UNIÓN CON HERRAJE

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El Cuadro N°6 registra los resultados de los ensayos de muros estructurales, fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata y arriostrados con tablero contrachapado, además de resultados previos obtenidos por INFOR que consideran tipologías de muros fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata y pino oregón y arriostramiento con tableros OSB de 11,1 y 9 mm de espesor.

Se informan los valores de carga máxima promedio y las cargas admisibles asociadas a los criterios de deformaciones máximas permitidas por la norma chilena NCh 433 y la norma americana ASCE 7.

Para las tipologías ensayadas se observa que la resistencia máxima a la carga lateral aumenta en un 52% al disminuir el espaciamiento de clavado perimetral de 150 a 100 mm.

Además, al disminuir el espaciamiento de clavado perimetral de 150 a 75 mm, la resistencia máxima a la carga lateral se incrementa en un 82%,

El criterio de deformación señalado por la NCh 433 limita los desplazamientos relativos entre pisos a un máximo de H/500. Al ser aplicado a las tipologías estudiadas, provoca diferencias poco significativas de resistencia al corte (influencia menor al 5%).

En el caso de las resistencias asociadas al criterio de deformación americano (ASCE 7) se observa un incremento de un 22% al disminuir el espaciamiento de clavado de 150 a 100 mm y de un 36% al disminuir el espaciamiento de clavado perimetral de 150 a 75 mm.

En el Cuadro N°7 se presenta un análisis comparativo entre los resultados promedio de los muros ensayados en este estudio con las tipologías que presentan igual espaciamiento de clavado registradas en estudios previos ejecutados por INFOR.

Se observa que la mayor diferencia se encuentra en las cargas máximas asociadas a cada tipología, donde se obtuvo un incremento de hasta un 53% de la resistencia máxima a la carga lateral en los muros fabricados con tableros contrachapados, respecto de los fabricados con tableros OSB.

Sin embargo, al comparar las resistencias asociadas a los criterios de deformación, se observa un incremento máximo del 11% para la tipología asociada a espaciamiento de clavado perimetral de 100 mm bajo el criterio americano.

En tanto, para el criterio de deformaciones de la norma nacional NCh 433, no existe una tendencia de variación considerable de la resistencia a carga lateral.

El Cuadro N°8 se registran las tensiones axiales generadas en el pie derecho en tracción para las condiciones de carga máxima permitida por metro lineal, según el criterio de la NCh 433, registrándose tensiones de tracción inferiores a la capacidad otorgada a los grados G2 y C16 asociados al pino radiata.

La Figura N°12 registra las curvas de carga por metro lineal y la deformación bajo carga promedio para las 3 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.

Lo anterior es posible debido a las uniones placa madera materializadas con acero.

Cuadro N°6
RESISTENCIA A CARGA LATERAL DE TIPOLOGÍAS DE MUROS CON SISTEMA PLATAFORMA

Muro	Carga máxima promedio (N/m)	Cargas admisibles, según criterio de deformación (N/m)	
		H/500 (NCh 433)	H/200 (ASCE 7)
MP-75/CP	23.709	3.113	7.224
MP-100/CP	19.752	2.963	6.478
MP-150/CP	13.007	3.018	5.307
MP-100-9 (*)	13.500	3.306	6.221
MP-100-11 (*)	15.752	3.202	6.304
MP-150-11 (*)	12.075	2.990	5.698
MM-100-9 (**)	11.351	2.890	4.931
MM-100-11 (**)	11.966	3.669	6.133
MM-150-9 (**)	8.114	2.360	4.065
MM-150-11 (**)	8.989	3.267	4.942
MP-75-9 (**)	20.357	3.436	7.420
MP-75-11 (**)	20.056	3.452	7.214
MP-50-9 (**)	26.469	4.027	9.128
MM-75-9 (**)	18.061	3.236	7.002

(*): Tipologías en pino oregon (estudios previos de INFOR, 2020)
(**): Tipologías en pino radiata (estudios previos de INFOR, 2019)
H: Altura entre pisos
MP: Clavo de 3"; Hincado con pistola neumática
MM: Clavo de 2"; Hincado con martillo

Cuadro N°7
TABLA COMPARATIVA DE TIPOLOGÍAS DE MUROS CON IGUAL ESPACIMIENTO DE CLAVADO

Tipología según espaciamiento de clavado	Carga máxima promedio (N/m)	Cargas admisibles, según criterio de deformación (N/m)	
		*H/500 (NCh 433)	*H/200 (ASCE 7)
@75	22%	-8%	0%
@100	53%	-9%	11%
@150	38%	7%	10%

Cuadro N°8
TENSIONES AXIALES EN TRACCIÓN

Muro	*H/500 (N/m) (NCh 433)	Carga en Tracción (N) (NCh 433)	Tensión en Tracción (MPa) (45x90 mm)	Grado Estructural Mínimo Necesario en Pie Derecho
MP-75/CP	3.113	7.595	2,1	Pino radiata C16 (3,5 MPa) o G2 (4,7 MPa)
MP-100/CP	2.963	7.230	2,1	
MP-150/CP	3.018	7.363	2,0	
MP-100-9 (*)	3306	8.067	2,0	
MP-100-11 (*)	3202	7.813	1,9	
MP-150-11 (*)	2990	7.295	1,8	
MM-100-9 (**)	2.890	7.052	1,7	
MM-100-11 (**)	3.669	8.952	2,2	
MM-150-9 (**)	2.360	5.758	1,4	
MM-150-11 (**)	3.267	7.971	2,0	
MP-75-9 (**)	3.436	8.384	2,1	
MP-75-11 (**)	3.452	8.423	2,1	
MP-50-9 (**)	4.027	9.826	2,4	
MM-75-9 (**)	3.236	7.896	1,9	

(*): Tipologías en pino oregon (estudios previos de INFOR, 2020)
(**): Tipologías en pino radiata (estudios previos de INFOR, 2019)

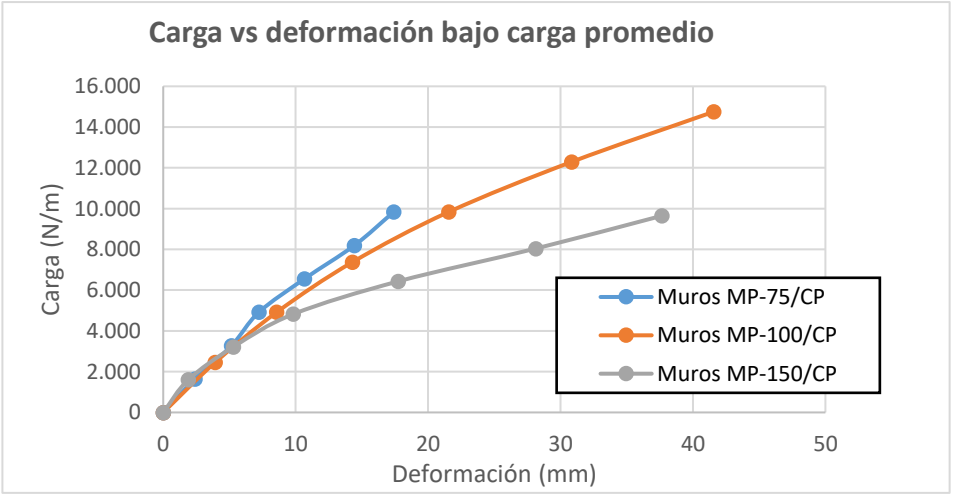

Figura N° 11
GRÁFICA DE CARGA POR METRO LINEAL Y DEFORMACIÓN BAJO CARGA POR TIPOLOGÍA ENSAYADA

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para las tipologías de muros ensayados permiten caracterizar las propiedades mecánicas a carga horizontal del elemento estructural, considerando un coeficiente de variación máximo de los resultados de un 15%.

Los resultados muestran la misma tendencia que en estudios previos ejecutados por INFOR. El espaciamiento de clavado perimetral es el factor de más relevancia para la resistencia al corte de los muros estructurales.

Si bien el mecanismo de falla de los muros arriostrados con tableros contrachapados es similar al de muros arriostrados con tableros OSB, se observa que en los primeros la falla de los medios de unión es más localizada, lo que permite desarrollar una mayor resistencia última.

Al comparar los resultados de ensayos de muros ejecutados por INFOR en estudios previos, fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata y arriostrados con tableros OSB, con los resultados obtenidos con muros arriostrados con tableros contrachapados, considerando los mismos espaciamientos de clavado, se observa que las principales diferencias ocurren para la resistencia máxima promedio a carga lateral. Sin embargo, al comparar las resistencias asociadas a los criterios de deformaciones de la NCh 433 y la ASCE 7, la diferencia es menos significativa.

7. REFERENCIAS

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

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

INN. 1996. NCh 433: Diseño sísmico de edificios. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

ASCE 7, 2005. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers, EEUU.

INFOR, 2019. Caracterización mecánica de muros estructurales de madera de pino radiata sometidos a carga horizontal. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N°228.

INFOR, 2020. Caracterización mecánica de muros fabricados con madera aserrada estructural de pino oregón. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N°234.



INFOR

www.infor.cl