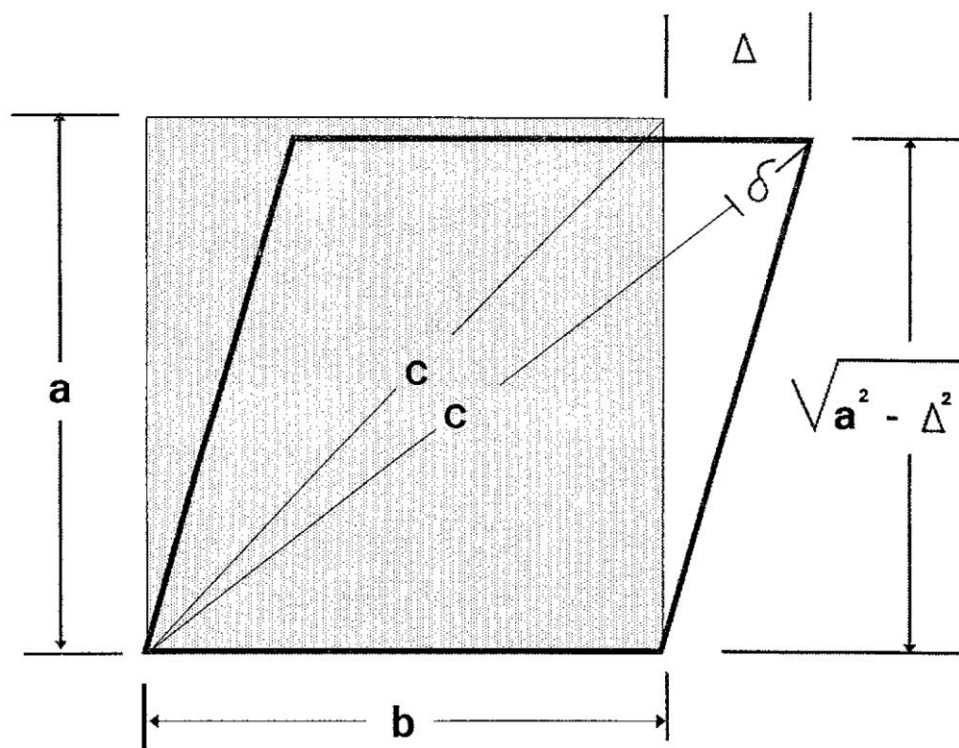


CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA SOMETIDOS A CARGAS LATERALES



INSTITUTO FORESTAL
2015

INSTITUTO FORESTAL
ÁREA DE TECNOLOGÍA Y PRODUCTOS DE LA MADERA

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA SOMETIDOS A CARGAS LATERALES

Autores

Luis Vásquez V.¹
Gonzalo Hernández C.²
Raúl Campos P.³
Patricio Elgueta M.⁴
Marcelo González R.⁵

¹ Instituto Forestal. luis.vasquez@infor.cl

² Instituto Forestal. gonzalo.hernandez@infor.cl

³ Instituto Forestal. raul.campos@infor.cl

⁴ Instituto Forestal. patricio.elgueta@infor.cl

⁵ Instituto Forestal. marcelo.gonzalez@infor.cl



INFOR

INSTITUTO FORESTAL - Chile 2015

Caracterización mecánica de muros estructurales de madera sometidos a cargas laterales

Informe Técnico N° 205

Área de Tecnología y Productos de la Madera, INFOR, Sede Bio Bio.

Estudio financiado por el Contrato de Desempeño INFOR-MINAGRI 2015.

www.infor.cl

www.construccionenmadera.cl

PRÓLOGO

Debido a la poca información existente en el país sobre el comportamiento mecánico de las viviendas y edificios de mediana altura (3-4 pisos) con estructura de madera, particularmente sobre la capacidad de los muros estructurales; el Instituto Forestal decidió realizar una serie de ensayos para caracterizar las tipologías de muros de madera, además de comenzar a generar una base de datos que permita la modificación de la norma chilena de diseño sísmico de edificios (NCh 433).

Se exponen resultados de ensayos mecánicos de carga lateral de dos tipologías de muros con estructura de madera considerando configuraciones de muros en doble altura y doble ancho. Los muros fueron materializados según el sistema constructivo plataforma, en base a pie derechos de pino radiata y placa arriostrante OSB fijada bajo un esquema de clavado específico.

Todos los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), que cuenta con un sistema de gestión acreditado bajo norma NCh-ISO 17025.

La información que entrega 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.

La presente publicación “Caracterización mecánica de muros estructurales de madera sometidos a cargas laterales”, fue financiada con recursos provenientes de convenio 2015, suscrito entre Ministerio de Agricultura (Minagri) y el Instituto Forestal (INFOR).

Participaron en este estudio los profesionales y técnicos del Área de Tecnología y Productos de la Madera del INFOR Srs. Luís Vásquez Valenzuela, Gonzalo Hernández Careaga, Patricio Elgueta Muñoz, Raúl Campos Pous, y Marcelo González Retamal.

ÍNDICE

1. METODOLOGÍA	1
1.1 Tipologías de muros con estructura de madera	1
1.2 Metodología de ensayo de carga horizontal	4
2. RESULTADOS	5
2.1 Ensayo de carga horizontal en muros de doble altura	5
2.2 Ensayo de carga horizontal en muros de doble ancho	11
3. CONCLUSIONES	17
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1. METODOLOGÍA

1.1 Tipologías de muros con estructura de madera

Se sometieron a ensayos de carga horizontal dos tipologías de muros de madera: (1) tipo M2x4-G1 y tipo M2x4-G2. La descripción de ambas tipologías aparece en la tabla 1.1, las cuales presentaron un sistema de anclaje unido a una viga de fundación de hormigón.

Para cada tipología a ensayar se evaluó el comportamiento de los muros en tamaño “doble altura” y en tamaño “doble ancho”. Los muros en doble altura consistieron en dos paneles de 2,44 m x 2,44 m unidos a través de una viga cabezal doble de 41x 140 mm (2x6) grado estructural C24. La altura total del muro en doble altura fue de 5,0 m y ancho de 2,44 m. En tanto, los muros en doble ancho consistieron en un panel de 2,44 m x 2,44 m. Las figuras 1.1 y 1.2 exponen las configuraciones de los muros en doble altura y doble ancho respectivamente; mientras que la figura 1.3 muestra el sistema de anclaje utilizado para la realización de los ensayos.

Tabla 1.1: Tipologías de muros de madera sometidos a ensayos de compresión y carga horizontal

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Sistema de anclaje
M2x4 –G1	Madera aserrada estructural G1 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x90 mm (2x4); y pie derechos separados 406 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 150 mm y zona central a 300 mm	6 pernos de anclaje, grado 5, de 1/2” de diámetro; con conectores de acero modelo “HTT4”, marca Simpson Strong-Tie.
M2x4 –G2	Madera aserrada estructural G1 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x90 mm (2x4); y pie derechos separados 406 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 150 mm y zona central a 300 mm	6 pernos de anclaje, grado 5, de 1/2” de diámetro; con conectores de acero modelo “HTT4”, marca Simpson Strong-Tie.

Figura 1.1: Configuración de muro de madera en doble altura para ensayo de carga horizontal.



Figura 1.2: Configuración de muro de madera en doble ancho para ensayo de carga horizontal.



Figura 1.3: Conector utilizado en el sistema de anclaje de los muros de madera ensayados.



1.2 Metodología de ensayo de carga horizontal

Todos los ensayos mecánicos de los muros de madera se realizaron en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR). Los equipos utilizados en la realización de los ensayos se encuentran incorporados en el sistema de gestión del Laboratorio, acreditado bajo norma NCh-ISO 17025.

El método de ensayo aplicado es el descrito en la norma chilena NCh 802.Eof71: Arquitectura y construcción – Paneles prefabricados – Ensayo de carga horizontal; con las siguientes consideraciones:

- La restricción horizontal y vertical inferior de los muros se generó a través de sistemas de anclaje a una viga de fundación.
- Por cada tipología de muro se evaluaron 5 probetas en doble altura y 5 probetas en doble ancho.
- A la primera probeta de cada tipología se le aplicó una carga monotónica hasta la falla. No se realizaron incrementos discretos de carga ni se midieron desplazamientos laterales residuales.
- Para las cuatro probetas restantes de cada tipología se aplicaron cargas con incrementos discretos, midiendo los desplazamientos laterales residuales. Las deformaciones residuales se obtuvieron como la diferencia entre la lectura cuando la carga fue retirada y la lectura inicial. La cantidad de ciclos de carga se estableció en función del valor de falla de la primera probeta.

2. RESULTADOS

2.1 Ensayo de carga horizontal en muros de doble altura

Los resultados de carga horizontal máxima y desplazamiento lateral para carga máxima, se observan en las tablas 2.1 y 2.2 respectivamente. En tanto, las figuras 2.1 a 2.4 muestran los gráficos carga-desplazamiento de las dos tipologías ensayadas.

En la tabla 2.1, se observa que en las 2 tipologías ensayadas se obtuvieron valores promedios de carga lateral máxima entre los 17.871 N y 17.997 N, no presentando diferencias significativas; y evidenciando que no existió una influencia de la calidad estructural (G1 y G2) de los pies derechos en la resistencia de los muros. Además, se obtuvo una variabilidad de datos homogénea, encontrándose entre un 11,1% y 16,4%.

De la tabla 2.2 se puede apreciar que los desplazamientos laterales asociados a la carga horizontal máxima, en la tipología con madera grado G1 (M2x4-G1), se obtuvo un promedio de 94,8 mm, mientras que la tipología con madera grado G2 (M2x4-G2), presentó un valor promedio de 103,6 mm; sin evidenciar diferencias significativas entre ambas tipologías. Sin embargo hay una diferencia apreciable en la variabilidad de los datos de desplazamiento lateral; donde la tipología con madera grado G2 presentó un 45,2% de variabilidad en los datos, mientras que la tipología con madera grado G1 presentó una variabilidad significativamente menor de 27,8%.

Para los muros con madera grado estructural G1, se obtuvo que la “probeta 1” ensayada hasta la falla en forma monotónica muestra una curva carga-deformación (figura 2.1) con una pendiente constante hasta el nivel de carga de 14.000 N, a partir del cual presenta una zona de fluencia (aumento de la deformación sin un aumento de la carga) antes de la falla del muro. Esta fluencia final se debe al trabajo realizado por los clavos (uniones madera-OSB y madera-madera), y conectores de acero que formaron parte de la estructura. La figura 2.2 presenta las curva carga lineal – deformación de las cuatro probetas ensayadas con cargas cíclicas, donde para cada nivel de carga se obtuvieron los puntos de deformación bajo carga (BC) y la deformación residual (R), junto a las curvas promedio de deformación bajo carga (CP_BC) y deformación residual (CP_R).

Finalmente, para los muros con madera grado estructural G2, se obtuvo que la “probeta 1” ensayada hasta la falla en forma monotónica muestra una curva carga-deformación (figura 2.3) ascendente, pero con una disminución de la pendiente hasta el nivel de carga de falla de 19.200 N, sin presentar una zona de fluencia debido a que el muro presentó una falla en el pie derecho traccionado en la zona del anclaje a la fundación de hormigón. La figura 2.4 presenta las curva carga lineal – deformación de las cuatro probetas ensayadas con cargas cíclicas, donde para cada nivel de carga se obtuvieron los puntos de deformación bajo carga (BC) y la deformación residual (R), junto a las curvas promedio de deformación bajo carga (CP_BC) y deformación residual (CP_R).

Tabla 2.1: Carga horizontal máxima en muros con estructura de madera de doble altura.

N° ensayo	Carga máxima lateral [N]	
	M2x4-G1	M2x4-G2
1	14.226	19.191
2	17.435	20.325
3	18.530	14.377
4	19.553	14.619
5	19.610	21.474
Promedio	17.871	17.997
Desv. Estándar	1.988	2.948
Coef. Variación	11,1%	16,4%

Tabla 2.2: Desplazamiento lateral para carga horizontal máxima en muros con estructura de madera de doble altura.

N° ensayo	Desplazamiento máximo lateral [mm]	
	M2x4-G1	M2x4-G2
1	55,2	118,4
2	91,1	154,3
3	80,3	41,6
4	124,1	55,4
5	123,5	148,2
Promedio	94,8	103,6
Desv. Estándar	26,4	46,8
Coef. Variación	27,8%	45,2%

Figura 2.1: Gráfico carga-desplazamiento del ensayo de carga horizontal monotónica en muros de tipología M2x4-G1.

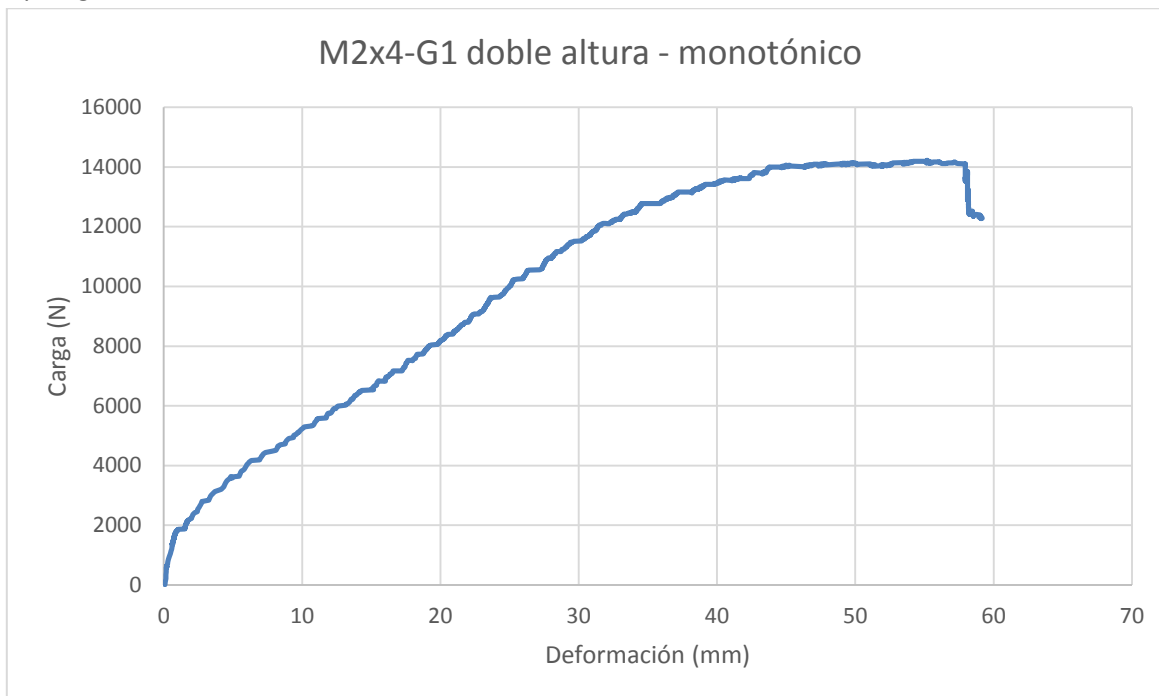


Figura 2.2: Gráficos carga lineal-desplazamiento del ensayo de carga horizontal cíclica en muros de tipología M2x4-G1.

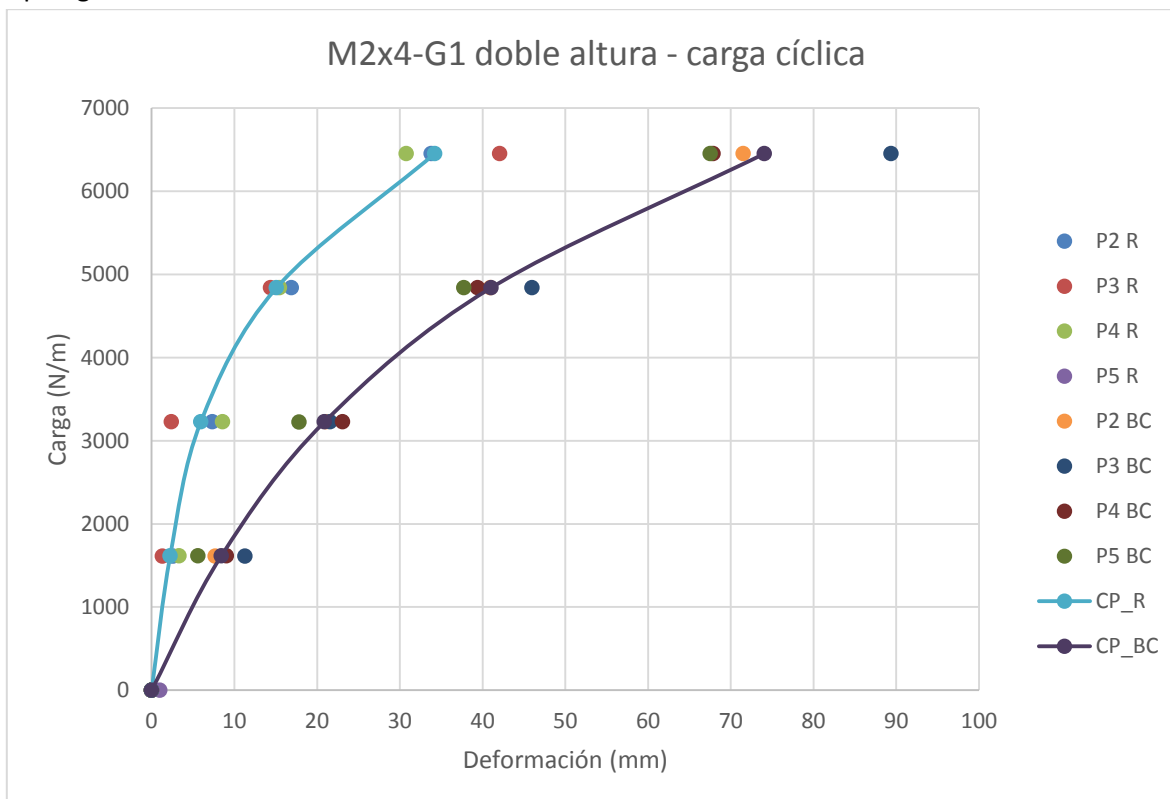


Figura 2.3: Gráfico carga-desplazamiento del ensayo de carga horizontal monotónica en muros de tipología M2x4-G2.

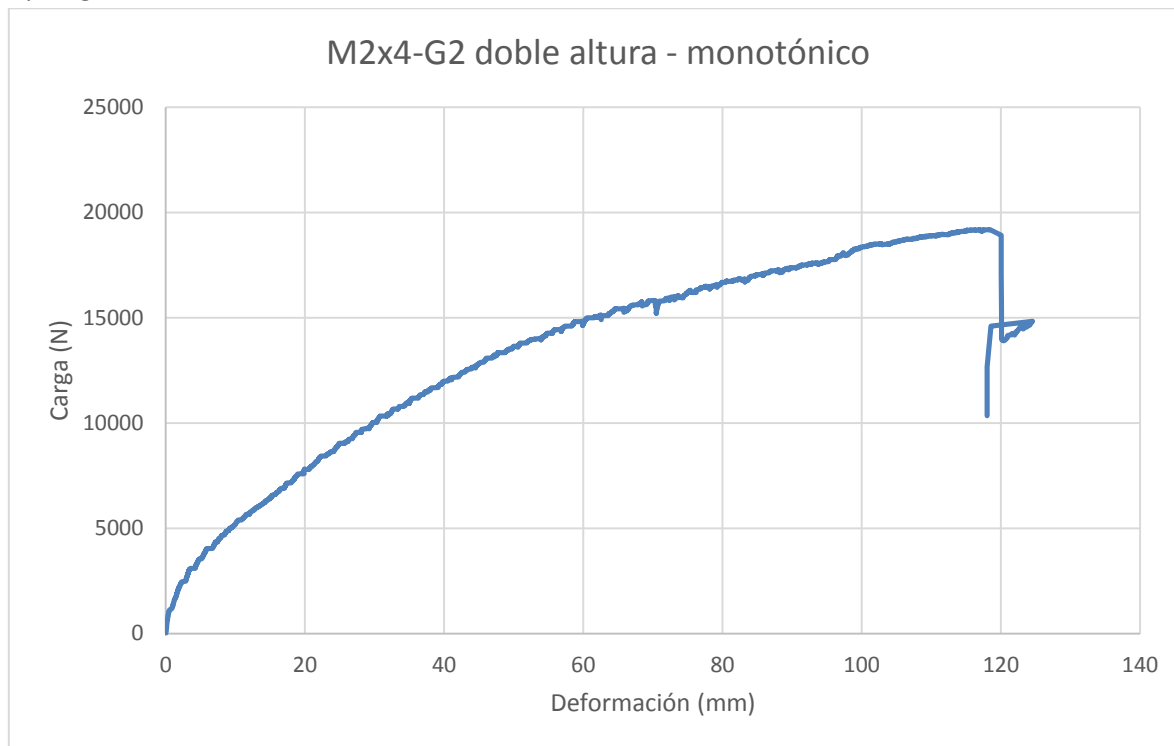
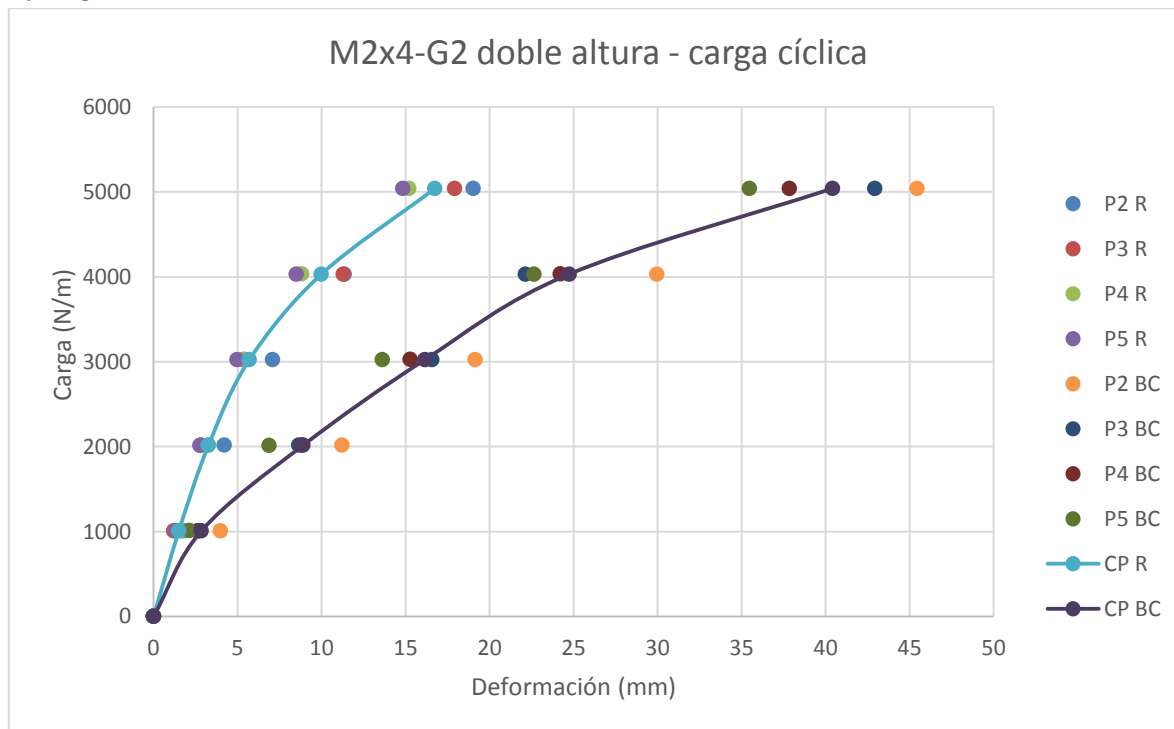


Figura 2.4: Gráficos carga lineal-desplazamiento del ensayo de carga horizontal cíclica en muros de tipología M2x4-G2.



El modo de falla característico de las dos tipologías de muro ensayados fue similar, concentrándose en dos zonas: la parte inferior del pie derecho traccionado (zona del anclaje) y la zona traccionada del clavado madera-OSB en el nivel superior del muro. La falla característica responde a la siguiente secuencia: plastificación, aplastamiento y desgarramiento en la zona traccionada del clavado de unión madera-OSB en el nivel superior del muro; desclavado parcial de la unión de los pies derechos con la solera inferior; y falla del pie derecho traccionado en la zona del anclaje (ver figura 2.5).

El modo de falla que presentaron las dos tipologías de muros, puede explicar en parte la similitud en los resultados de carga lateral máxima expuestos en la tabla 2.1, ya que gran parte del trabajo de resistencia fue realizado por las uniones clavadas OSB-madera y madera-madera, dejando en un plano secundario la influencia en la resistencia aportada por los pies derechos que formaron parte de la estructura. Finalmente la figura 2.6 muestra la desangulación típica observada en los ensayos de muros de doble altura.

Figura 2.5: Modo de falla característico de ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera de doble altura.



Figura 2.6: Desangulación observada de ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera de doble altura.



2.2 Ensayo de carga horizontal en muros de doble ancho

Los resultados de carga horizontal máxima y desplazamiento lateral para carga máxima, se observan en las tablas 2.3 y 2.4 respectivamente. En tanto, las figuras 2.7 a 2.10 muestran los gráficos carga-desplazamiento de las dos tipologías ensayadas.

En la tabla 2.3, se observa que en las 2 tipologías ensayadas se obtuvieron valores promedios de carga lateral máxima entre los 21.481 N y 22.408 N, no presentando diferencias significativas; y evidenciando que no existió una influencia de la calidad estructural (G1 y G2) de los pies derechos en la resistencia de los muros. Además, se obtuvo una variabilidad de datos muy homogénea, encontrándose entre un 1,88% y 6,12%.

De la tabla 2.4 se puede apreciar que los desplazamientos laterales asociados a la carga horizontal máxima, en la tipología con madera grado G1 (M2x4-G1), se obtuvo un promedio de 69,1 mm, mientras que la tipología con madera grado G2 (M2x4-G2), presentó un valor promedio de 66,4 mm; sin evidenciar diferencias significativas entre ambas tipologías. Además, se obtuvo una variabilidad de datos muy homogénea, encontrándose entre un 5,80% y 3,55%.

Para los muros con madera grado estructural G1, se obtuvo que la “probeta 1” ensayada hasta la falla en forma monotónica, la figura 2.7 muestra una curva carga-deformación ascendente pero con una disminución de la pendiente hasta el nivel de carga cercano a los 21.500 N, a partir del cual presenta un comportamiento con alto grado de ductilidad antes de comenzar a perder carga (falla del muro). Esta ductilidad final se debe al trabajo realizado por los clavos (uniones madera-OSB y madera-madera), y conectores de acero que formaron parte de la estructura. La figura 2.8 presenta las curvas carga lineal – deformación de las cuatro probetas ensayadas con cargas cíclicas, donde para cada nivel de carga se obtuvieron los puntos de deformación bajo carga (BC) y la deformación residual (R), junto a las curvas promedio de deformación bajo carga (CP_BC) y deformación residual (CP_R).

Finalmente, para los muros con madera grado estructural G2, se obtuvo que la “probeta 1” ensayada hasta la falla en forma monotónica (figura 2.9) muestra una curva carga-deformación ascendente, pero con una disminución de la pendiente hasta el nivel de carga de falla de 20.700 N, sin presentar un comportamiento dúctil. La figura 2.10 presenta las curvas carga lineal – deformación de las cuatro probetas ensayadas con cargas cíclicas, donde para cada nivel de carga se obtuvieron los puntos de deformación bajo carga (BC) y la deformación residual (R), junto a las curvas promedio de deformación bajo carga (CP_BC) y deformación residual (CP_R).

Tabla 2.3: Carga horizontal máxima en muros con estructura de madera de doble ancho.

N° ensayo	Carga máxima lateral [N]	
	M2x4-G1	M2x4-G2
1	21.899	20.743
2	21.522	24.647
3	20.720	23.047
4	21.728	22.288
5	21.535	21.316
Promedio	21.481	22.408
Desv. Estándar	405	1.371
Coef. Variación	1,88%	6,12%

Tabla 2.4: Desplazamiento lateral para carga horizontal máxima en muros con estructura de madera de doble altura.

N° ensayo	Desplazamiento máximo lateral [mm]	
	M2x4-G1	M2x4-G2
1	70,9	65,2
2	64,6	71,0
3	67,9	66,1
4	75,9	64,4
5	66,1	65,3
Promedio	69,1	66,4
Desv. Estándar	4,0	2,4
Coef. Variación	5,80%	3,55%

Figura 2.7: Gráfico carga-desplazamiento del ensayo de carga horizontal monotónica en muros de tipología M2x4-G1.

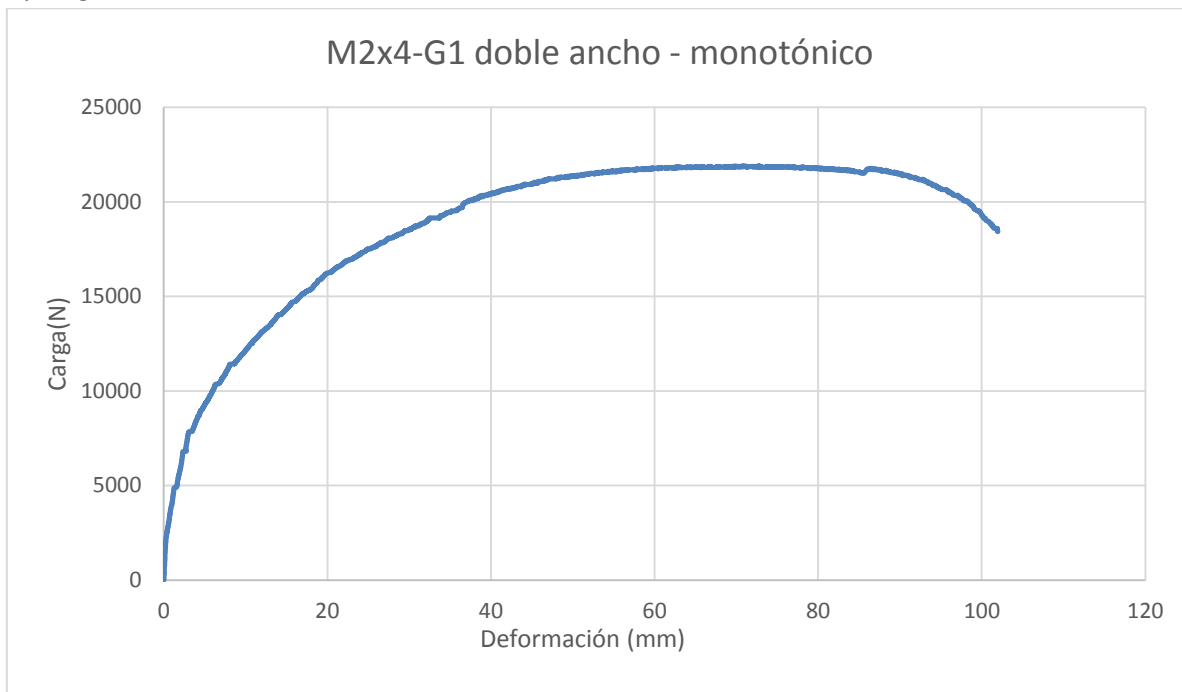


Figura 2.8: Gráficos carga lineal-desplazamiento del ensayo de carga horizontal cíclica en muros de tipología M2x4-G1.

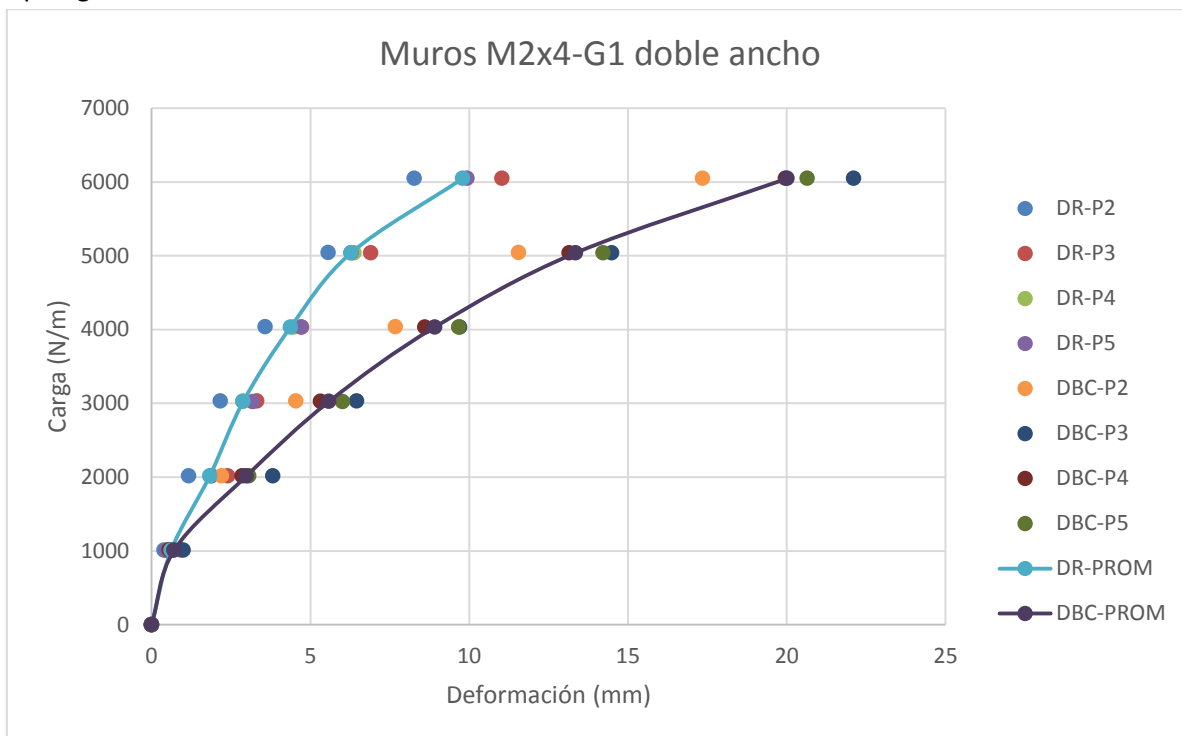


Figura 2.9: Gráfico carga-desplazamiento del ensayo de carga horizontal monotónica en muros de tipología M2x4-G2.

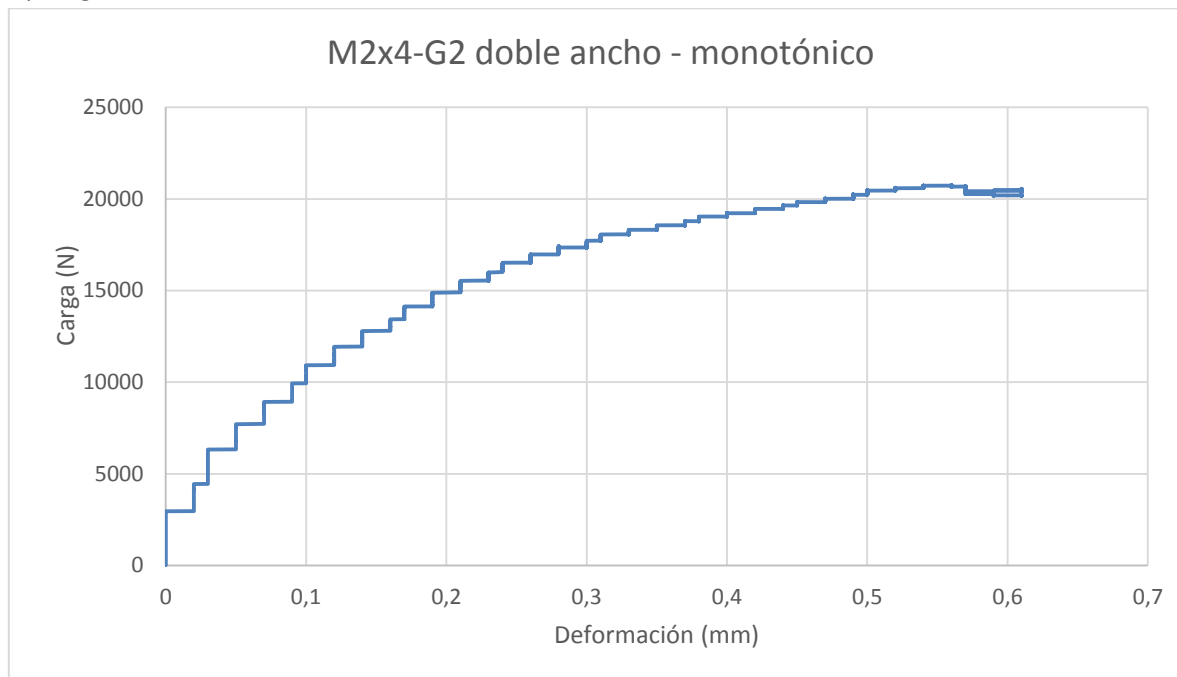
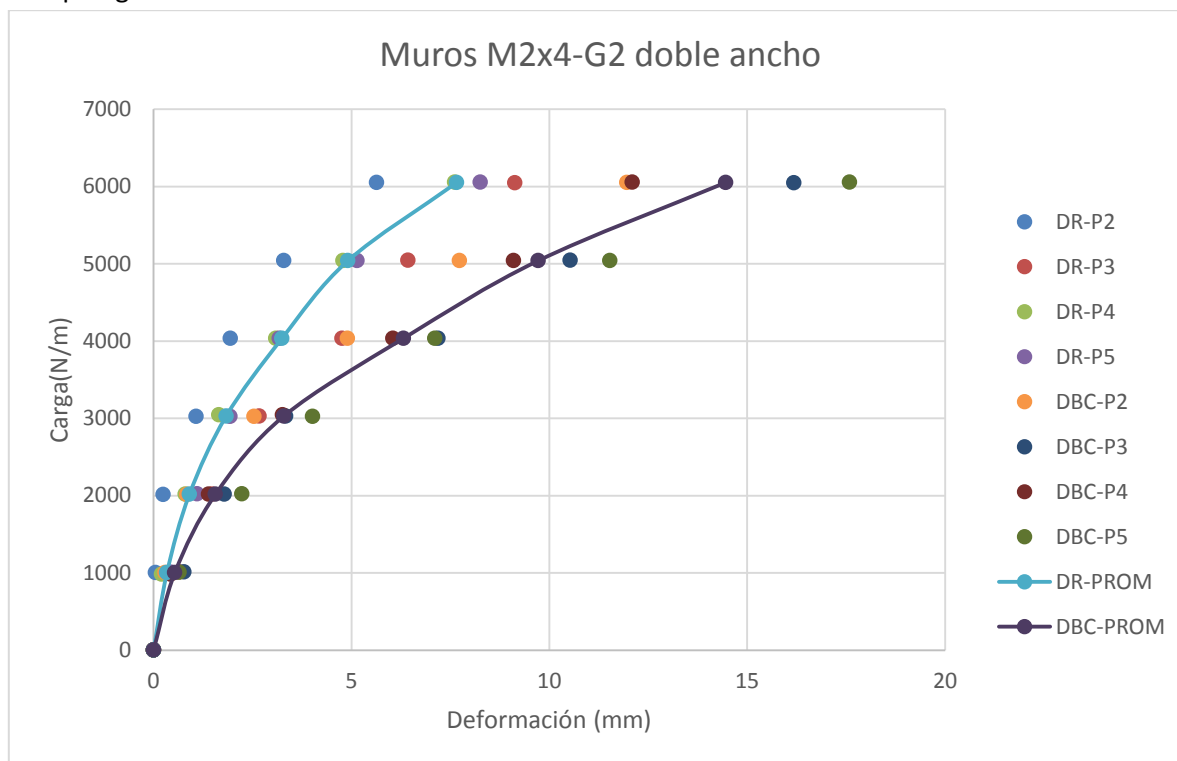


Figura 2.10: Gráficos carga lineal-desplazamiento del ensayo de carga horizontal cíclica en muros de tipología M2x4-G2.



El modo de falla característico de las dos tipologías de muro ensayados fue similar, concentrándose en la zona traccionada del clavado madera-OSB. La falla característica responde a la siguiente secuencia: plastificación, aplastamiento y desgarramiento en la zona traccionada del clavado de unión madera-OSB; y desclavado parcial de la unión de los pies derechos con la solera inferior (ver figura 2.11).

Nuevamente, el modo de falla que presentaron las dos tipologías de muros, puede explicar en parte la similitud en los resultados de carga lateral máxima expuestos en la tabla 2.3, ya que gran parte del trabajo de resistencia fue realizado por las uniones clavadas OSB-madera y madera-madera, dejando en un plano secundario la influencia en la resistencia aportada por los pies derechos que formaron parte de la estructura. Finalmente, la figura 2.12 muestra la desangulación típica observada en los ensayos de muros de doble ancho.

Figura 2.11: Modo de falla característico de ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera de doble ancho.



Figura 2.12: Desangulación observada de ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera de doble ancho.



3. CONCLUSIONES

La resistencia a la carga lateral de las tipologías de muros de madera ensayados presenta valores promedios similares, sin evidenciar una influencia de la calidad estructural de los pies derechos.

Los gráficos carga-deformación de los muros de madera ensayados en general presentaron curvas similares con un comportamiento ascendente y una zona de dúctil hasta el nivel de carga de falla. En los muros de doble altura, este comportamiento se vio acelerado por la falla del pie derecho traccionado en la zona del anclaje, sin embargo el modo de falla característico de las tipologías de muro ensayadas se concentró en la zona traccionada del clavado madera-OSB.

Finalmente, los resultados expuestos son adecuados y válidos para la determinación de capacidades admisibles de corte (carga lateral), para muros que cumplan con las descripciones técnicas de las tipologías ensayadas. También, pueden ser utilizados en forma conservadora para espaciamientos entre pies derechos menores a 406 mm.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). 2012. ASTM E564-06: Standard practice for static load test for shear resistance of framed walls for buildings.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1971. NCh 802: Arquitectura y construcción – Paneles prefabricados – Ensayo de carga horizontal

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

www.construccionenmadera.cl