



ENSAYOS CÍCLICOS DE MUROS DE MADERA SOMETIDOS A CARGA VERTICAL Y MOMENTO FLECTOR

CYCLIC TESTS OF WOOD FRAME SHEAR WALLS WITH VERTICAL LOAD AND BENDING MOMENT

Orellana, Paúl ⁽¹⁾*; Santa María, Hernán ⁽²⁾; Almazán, José Luis ⁽³⁾

⁽¹⁾ Ing. Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

⁽²⁾ Ph.D. Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, CIM-UC, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

⁽³⁾ Ph.D. Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, CIM-UC, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

* Contacto: pforellana@uc.cl

CÓDIGO: 4619588

Resumen

La normativa vigente en Chile restringe el uso de estructuraciones con muros de madera de entramado ligero como sistema resistente lateral en edificaciones de mediana altura. Esto debido a que la norma de diseño sísmico de edificios prescribe deformaciones de entrepiso admisibles que parecen ser muy conservadoras para el caso de dichas estructuraciones. Además, el código de diseño para madera fue desarrollado para construcciones de baja altura. Por lo tanto, no considera los efectos del uso de pies derechos de borde con secciones transversales grandes y de anclajes robustos, que son elementos estructurales necesarios para transferir las elevadas cargas gravitacionales y laterales generadas en edificios de mediana altura ubicados en zonas de alta sismicidad. Este código tampoco considera efectos de la carga vertical y del momento flector sobre el comportamiento lateral de muros de corte. Para evaluar estos efectos, se ensayaron ocho muros a escala real con altura de 2470 mm y diferentes longitudes (1200mm, 2400mm y 3600mm). Como placas de arriostramiento se usaron paneles OSB en ambas caras del muro, conectados al entramado con patrones de clavado que consideran espaciamientos de 50 mm y 100 mm en los bordes de panel. Durante los ensayos, se aplicó un protocolo cíclico de desplazamientos laterales. Simultáneamente, se aplicó un protocolo controlado de fuerzas para generar carga vertical y momento flector. Se observó incremento de resistencia y rigidez con respecto a muros sin carga vertical y momento. Además, los muros con carga vertical y momento muestran mayor capacidad de disipar energía.

Palabras-clave: Muros de madera. Carga cíclica. Edificios de mediana altura.

Abstract

The current provisions in Chile restrict the use of wood frame shear walls as lateral resisting system in mid-rise buildings. This is because the seismic building design standard prescribes admissible inter-story drifts that could be too conservative for these structural wood systems. Also, the structural wood design standard was developed for low-rise constructions, and therefore, does not consider the effects of sturdy end studs and strong hold downs necessities to transfer the large vertical and lateral loads in a mid-rise building located in high seismicity regions. This standard neither considers the effects of vertical load and bending moment in the lateral response of shear walls. To evaluate the lateral behavior of these walls, eight full size specimens were tested. The tested walls were 2470 mm high with different lengths (1200mm, 2400mm and 3600mm). The walls sheathing consisted in OSB panels in both faces of wall nailed to the frame at 50 mm and 100 mm in panel edges. During the tests, a cyclic lateral load displacement protocol was applied in the top of the walls. Simultaneously, a controlled force protocol was applied to generate vertical load and bending moment. An increase in the wall strength and stiffness was observed in comparison with walls tested without vertical load nor bending moment. Also, walls with vertical load and bending moment have greater dissipation capacity.

Keywords: Timber shear walls. Cyclic load. Mid-rise buildings.



1. INTRODUCCIÓN

Debido a la buena relación resistencia-peso de la madera estructural, los edificios construidos con este material muestran un buen desempeño ante cargas laterales de sismo. Además, los muros de entramado ligero de madera tienen un comportamiento altamente no lineal que genera una respuesta cíclica histerética con una importante capacidad de disipación de energía (Van de Lindt, 2004). En las construcciones con entramado ligero de madera (ELM) el sistema resistente ante cargas laterales se compone de diafragmas de piso y de muros de corte. Entonces, el comportamiento cíclico de estos muros ante cargas laterales influye directamente sobre el desempeño sísmico del edificio. Además, los mismos muros transfieren las cargas gravitacionales. Por lo tanto, durante un sismo los muros se encuentran sometidos a los efectos combinados de fuerza axial, corte y momento flector. Para construcciones de baja altura la carga gravitacional vertical y el momento flector en un muro son relativamente bajos. En cambio, en un edificio de mediana altura los esfuerzos internos pueden alcanzar magnitudes importantes, especialmente en los muros de los primeros pisos. Por lo tanto, el esfuerzo axial y el momento flector podrían tener un importante efecto sobre el comportamiento cíclico ante cargas laterales de los muros de corte. Históricamente, los sistemas de ELM se han usado en edificios residenciales y comerciales de baja altura (Lam et al., 2002); debido a esto, muchos de los desarrollos en investigación y normativas se centran en muros para edificaciones de baja altura.

Un muro de madera típico para edificaciones de baja altura, como el mostrado en la Figura 1, se compone de un entramado de postes verticales (pies derechos) y elementos horizontales (soleras). Estos elementos se unen mediante clavos en los extremos generando una conexión que prácticamente no tiene rigidez a flexión (Gupta & Kuo, 1985). Para generar el arriostramiento necesario para resistir cargas laterales se instalan paneles clavados al entramado de madera. Los paneles se colocan en una o en las dos caras de los muros. En la configuración marco-plataforma, los muros tienen la altura del entrepiso, lo cual favorece la prefabricación. Además, es necesario el uso de sistemas de anclaje en los entrepisos y en la base para asegurar la transferencia de los esfuerzos internos generados por sismo o viento. En edificaciones de mediana altura, las cargas gravitacionales generan esfuerzos de compresión axial grandes en los muros de los primeros pisos. Esto hace necesario el uso de pies derechos con mayor sección transversal que para muros convencionales. Además, el momento flector y el esfuerzo de corte generan fuerzas de tracción en los bordes del muro. Para transferir estas fuerzas y restringir el levantamiento, se requieren dispositivos de anclaje de grandes dimensiones (anclajes robustos).

Varios proyectos de investigación se han desarrollado para estudiar el desempeño sísmico de edificios de madera, como los mencionados en Lam et al. (2002) y en Gatto & Uang (2002). En estos proyectos, una importante parte de la componente experimental se enfocó en el comportamiento lateral monotónico, cíclico y dinámico de muros de corte. Van de Lindt (2004) presenta una revisión de publicaciones sobre ensayos realizados en muros de corte para estructuras de baja altura. Estos ensayos se realizaron aplicando protocolos de carga lateral, sin considerar los efectos de esfuerzos axiales o de momento flector. Guíñez et al. (2019) reportan los resultados de ensayos monotónicos y cíclicos de muros de entramado ligero de madera con pies derechos de borde de grandes dimensiones y anclajes robustos, diseñados para edificios de mediana altura.

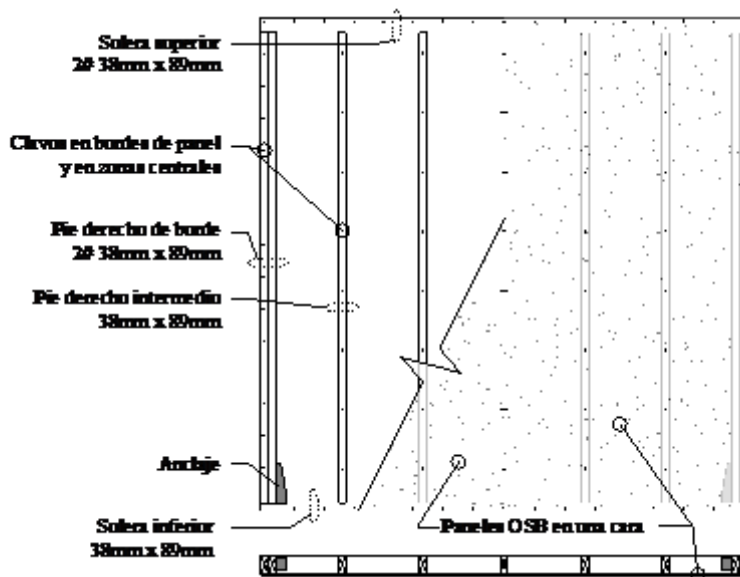


Figura 1: Muro típico de entramado ligero de madera (adaptado de Salenikovich et al. 2010)

En investigaciones anteriores se estudió el efecto de la carga gravitacional sobre la respuesta lateral de muros de corte de entramado ligero de madera. Dean & Shenton (2005) realizaron ensayos estáticos en muros con distintos niveles de carga vertical, entre 0 y 25 kN/m, sometidos a tres semiciclos de desplazamiento lateral (no reversible), con el último semiciclo extendido hasta la falla del muro. Ensayaron muros con y sin anclajes, observaron que la presencia de carga vertical genera un incremento en la capacidad ante cargas laterales y un incremento de la rigidez. Johnston et al. (2006) estudiaron el efecto de la carga vertical sobre la rigidez y capacidad de disipación de muros de madera de entramado ligero sometidos a carga lateral cíclica. Usaron niveles de carga vertical entre 0 y 25 kN/m en muros con y sin anclajes. Estudiaron 21 muros con una configuración similar a la mostrada en la Figura 1. Concluyeron que los efectos de la fuerza vertical en la respuesta lateral de los muros son incremento de la rigidez lateral y el incremento en la capacidad de disipación de energía. Salenikovich & Payeur (2010) ensayaron 43 muros de entramado ligero de madera. Estos ensayos consideraron la acción combinada de carga lateral cíclica y carga vertical de distintas magnitudes. La configuración de los muros ensayados es la mostrada en la Figura 1 y los niveles de carga vertical fueron de entre 0 y 16.3 kN/m. Concluyeron que no se notó una influencia adversa de la carga vertical sobre el desempeño lateral de los muros. En los estudios citados, el nivel de carga vertical y la configuración de los muros corresponden a construcciones de baja altura.

Sadeghi Marzaleh et al. (2018) estudiaron los efectos combinados de esfuerzo axial, corte y momento flector en un muro de madera de entramado ligero con carga monotónica. Ensayaron tres muros de madera diseñados para ser parte del sistema resistente ante cargas laterales en edificios de múltiples pisos. Los muros se construyeron con pies derechos y soleras de grandes dimensiones, usando paneles OSB de 15 mm de espesor en las dos caras. El esfuerzo axial se aplicó a través de una carga distribuida actuando sobre la solera superior, que representa la carga de un piso sobre el muro; y dos fuerzas puntuales aplicadas sobre los pies derechos de borde, que representan las cargas de los pisos subsiguientes hasta el nivel de techo. En uno de los ensayos, las fuerzas puntuales tenían magnitud variable para generar un momento flector. Los autores concluyeron que, para carga monotónica, la fuerza vertical y el momento flector causan una ligera



reducción en la resistencia y rigidez lateral del muro estudiado. Sin embargo, señalan que existen diferencias entre los detalles constructivos de los especímenes ensayados, por lo que las reducciones podrían deberse a estas diferencias. Esto evidencia que los resultados de ensayos de una configuración de muro no pueden extenderse a otras configuraciones.

En este artículo se presentan los resultados de ensayos realizados en ocho muros de entramado ligero de madera con una configuración diseñada para la construcción de edificios de mediana altura, de hasta seis pisos. Durante los ensayos, los muros se sometieron a carga lateral cíclica y a la aplicación simultánea de fuerzas verticales para generar compresión axial y momento flector en el plano del muro. Estos ensayos son parte de la componente experimental de un proyecto de investigación conducido por el Centro de Innovación en Madera de la Pontificia Universidad Católica de Chile (CIM-UC). El proyecto busca generar propuestas de modificación de la normativa de diseño sísmico vigente en Chile para hacer factible la construcción de una edificación de mediana altura con estructura en madera usando el sistema marco plataforma.

2. METODOLOGÍA

Los ensayos de muros de madera con aplicación simultánea de carga lateral, axial y momento flector en el plano no se encuentran estandarizados. El estudio experimental se realizó siguiendo el estándar ASTM E2126-11 (2011) para ensayos con carga cíclica lateral, y adicionalmente se aplicaron fuerzas de compresión para generar esfuerzo axial y momento flector.

2.1. Especímenes de prueba

Se ensayaron ocho muros a escala real. Los muros tenían 2470 mm de altura y tres diferentes longitudes: 1200 mm, 2400 mm y 3600 mm. La Figura 2 muestra los detalles constructivos de los muros. El entramado se fabricó con elementos de pino radiata chileno con sección transversal de 2" x 6" (36 mm x 138 mm) con clasificación MGP10 según la norma chilena de diseño de estructuras de madera, NCh 1198 (2014). Los pies derechos de borde se construyeron con cinco elementos unidos con clavos y adhesivo (encolado). Los pies derechos intermedios consisten en elementos individuales en las zonas centrales de los paneles. En los bordes de cada panel se colocaron pies derechos dobles, clavados y encolados. Las soleras superior e inferior se construyeron con dos elementos, clavados y encolados. Las placas de arriostramiento fueron paneles OSB colocados en las dos caras del muro. Cada panel tenía espesor de 11.1 mm y dimensiones de 1200 mm x 2400 mm. Para la conexión de los paneles al entramado de madera se utilizaron clavos helicoidales con diámetro 3 mm y longitud 70 mm. El patrón de clavado consideró un espaciamiento de 200 mm en las zonas centrales de los paneles y espaciamientos de 50 mm y 100 mm en los bordes de los paneles. Los muros se anclaron usando conectores tipo "hold-down" Simpson-StrongTie HD12, colocados en la cara interna de los pies derechos de borde. Cada anclaje se conectó a los pies derechos con cuatro pernos de diámetro 1" y con pernos de diámetro 1-1/8" a vigas de acero en los extremos inferior y superior del muro. Para restringir el deslizamiento se colocaron pernos de corte de diámetro 1" a través de las soleras, entre los pies derechos. En la Tabla 1 se listan los muros ensayados y sus características principales.



Tabla 1: Muros ensayados

Identificación de los muros	Longitud [mm]	Espaciamento del clavado ¹ [mm]
A120-10-01	1200	100
A120-10-02	1200	100
A120-05-01	1200	50
A240-10-01	2400	100
A240-10-02	2400	100
A240-05-01	2400	50
A360-10-01	3600	100
A360-10-02	3600	100

¹ Es el espaciamento entre clavos en el perímetro de los paneles

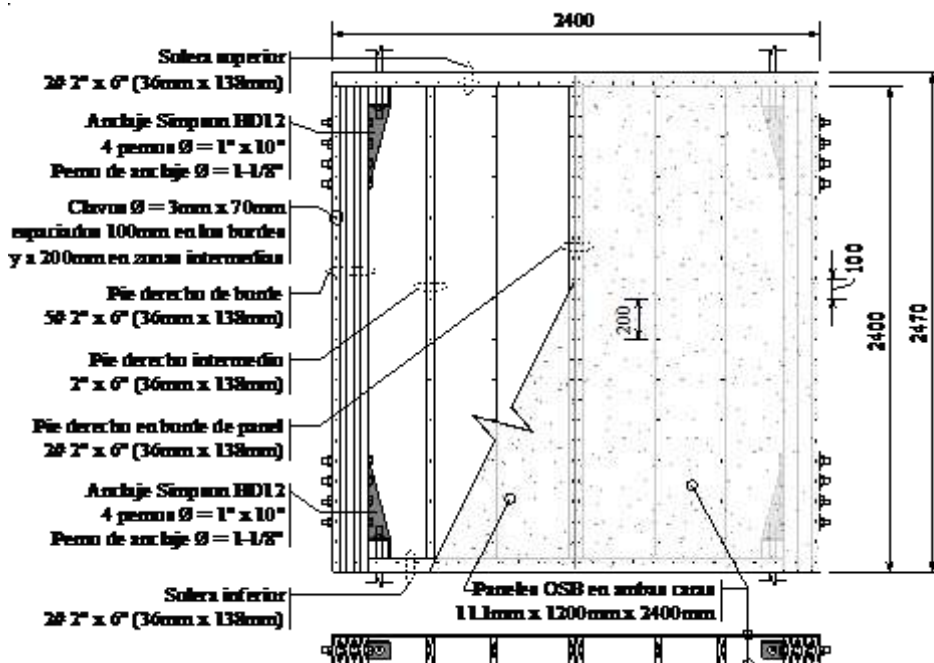


Figura 2: Configuración de los muros ensayados (dimensiones en mm)

2.2. Configuración del ensayo

La Figura 3 muestra la configuración general de los ensayos. Para facilitar la aplicación de las cargas, los muros se ensayaron en posición horizontal anclados a vigas de acero en sus extremos. El desplazamiento de la viga base se restringió mediante un muro de hormigón armado y con elementos de reacción anclados a una losa de reacción de hormigón armado. Se aplicó el protocolo de desplazamientos laterales mediante un actuador hidráulico sobre la viga de carga conectada en el extremo superior del muro. Se usaron dos actuadores hidráulicos para aplicar protocolos controlados de fuerza de manera tal que se genere una carga de compresión constante y un momento flector cíclico en el plano del muro. Para permitir el desplazamiento lateral, se colocaron rodillos en el contacto entre los actuadores de carga de compresión y la viga de carga.



actuador aplica toda la carga de compresión. El valor total del momento flector de referencia se alcanza para un desplazamiento correspondiente a la máxima fuerza lateral obtenida en un ensayo cíclico sin fuerzas de compresión de un muro similar (Gutiérrez et al., 2019). La Figura 5 muestra los protocolos de fuerza aplicados por cada actuador. Las cargas aplicadas al muro ensayado pretenden representar el estado de carga de un muro de corte que es parte de un edificio respondiendo en su primer modo de vibración, en el cual toda la masa sísmica se desplaza en la misma dirección para cada instante de tiempo.

2.4. Evaluación del comportamiento

La evaluación del desempeño de los muros ensayados se realizó de acuerdo a la metodología del estándar ASTM E2126-11 (2011). Se define la curva envolvente que contiene las fuerzas máximas alcanzadas en los ciclos primarios (ciclos con mayor amplitud de desplazamiento que los subsiguientes) de cada fase del protocolo de carga. La Figura 6(a) muestra un ejemplo de los ciclos de histéresis y las curvas envolventes, positiva y negativa. Se obtiene una envolvente promedio con los valores absolutos de fuerza y desplazamiento de las envolventes positiva y negativa (Figura 6b). En la envolvente promedio, se define el valor de la fuerza máxima P_{peak} . También se define el desplazamiento último Δ_u asociado a la fuerza última P_u , que corresponde al último punto de la envolvente con valor de fuerza igual o mayor a $0.8P_{peak}$. La curva idealizada elasto-plástica con energía equivalente (EEEP por sus siglas en inglés) se construye de manera que inscriba un área igual al área inscrita en la curva envolvente promedio entre el origen, el desplazamiento último y el eje de desplazamientos (Figura 6c). La rigidez elástica inicial, K_0 , de la EEEP se calcula como la rigidez secante en la curva envolvente promedio asociada al punto con fuerza $0.4P_{peak}$. Como parámetro para medir la capacidad de disipación de energía de los muros ensayados, se utilizó la fracción de amortiguamiento viscoso equivalente (Chopra, 2012). Para un ciclo de histéresis, la fracción de amortiguamiento viscoso equivalente se calcula como:

$$\xi_e = \frac{1}{4\pi} \frac{E_d}{E_{s0}} \quad (1)$$

en donde:

- ξ_e es la fracción de amortiguamiento viscoso equivalente del ciclo analizado
- E_d es la energía disipada en el ciclo de histéresis
- E_{s0} es la máxima energía elástica acumulada en un ciclo, calculada usando la rigidez secante asociada al máximo desplazamiento del ciclo analizado.

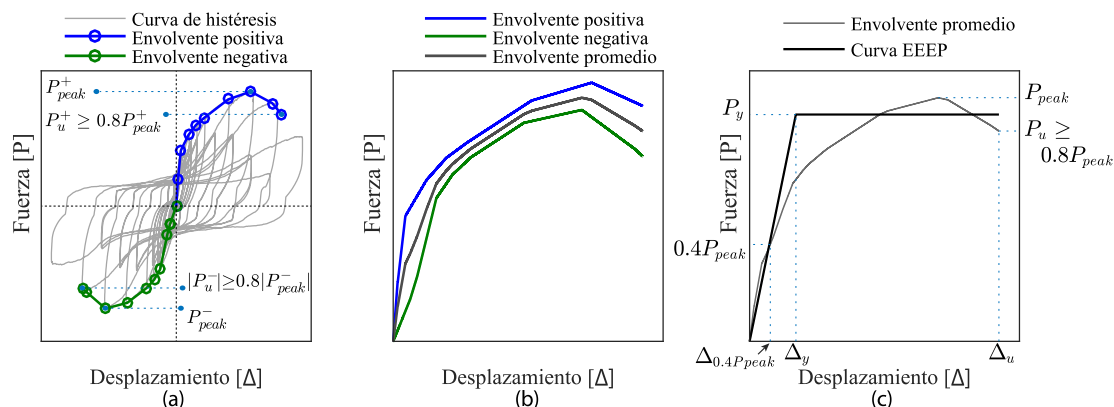


Figura 6: Obtención de la curva EEEP



3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Figura 7 muestra las curvas de histéresis de algunos de los muros ensayados. Estas curvas se construyeron usando el desplazamiento lateral total de la solera superior con respecto a la inferior y se usaron para calcular las curvas EEEP. La forma de los ciclos de histéresis muestra un comportamiento altamente no lineal con degradación de rigidez y estrechamiento (pinching) de los ciclos de histéresis. La forma de los ciclos es similar a la reportada por otros autores (Johnston et al., 2006; Lam et al., 1997). La para muros de la misma configuración, pero ensayados sin carga axial ni momento flector, se observa que los muros aquí reportados alcanzan valores mayores de fuerza máxima, rigidez, amortiguamiento y ductilidad; pero muestran menores desplazamientos de fluencia y desplazamientos últimos en las curvas EEEP.

Los modos de falla observados fueron los típicamente reportados en ensayos de muros de madera de entramado ligero. Principalmente, el corte de los clavos en los bordes de panel, el aplastamiento de la madera en la zona de contacto del panel con los clavos de conexión y el pandeo fuera del plano del panel para grandes desplazamientos.

Tabla 2 presenta los resultados de los ensayos, incluyendo el valor máximo absoluto de fuerza medida durante el ensayo P_{max} ; los parámetros de la curva EEEP, P_{peak} , K_0 , Δ_y , Δ_u ; la ductilidad, $\mu = \Delta_u/\Delta_y$; la deriva calculada para un nivel de carga de $0.4P_{peak}$, $\delta_{40} = \Delta_{0.4P_{peak}}/altura$. En los resultados se reporta el valor del percentil 10% calculado del conjunto de valores de la fracción de amortiguamiento equivalente de todos los ciclos de histéresis para cada ensayo. El amortiguamiento equivalente se calculó usando la deformación de corte del muro (sin considerar desplazamiento por volcamiento), por lo tanto, representa la capacidad de disipación del muro sin considerar el sistema de anclaje.

Los resultados resumidos en la para muros de la misma configuración, pero ensayados sin carga axial ni momento flector, se observa que los muros aquí reportados alcanzan valores mayores de fuerza máxima, rigidez, amortiguamiento y ductilidad; pero muestran menores desplazamientos de fluencia y desplazamientos últimos en las curvas EEEP.

Los modos de falla observados fueron los típicamente reportados en ensayos de muros de madera de entramado ligero. Principalmente, el corte de los clavos en los bordes de panel, el aplastamiento de la madera en la zona de contacto del panel con los clavos de conexión y el pandeo fuera del plano del panel para grandes desplazamientos.

Tabla 2 muestran el efecto de la longitud del muro y del espaciamiento entre clavos sobre el comportamiento lateral de los muros. La fuerza lateral máxima es mayor para muros de mayor longitud y para espaciamientos de clavos menores. La rigidez K_0 aumenta con la longitud. La ductilidad es mayor para los muros con espaciamiento de clavos a 100 mm, sin embargo, los muros con clavos a 50 mm presentan valores mayores de desplazamiento de fluencia y desplazamiento último. En la para muros de la misma configuración, pero ensayados sin carga axial ni momento flector, se observa que los muros aquí reportados alcanzan valores mayores de fuerza máxima, rigidez, amortiguamiento y ductilidad; pero muestran menores desplazamientos de fluencia y desplazamientos últimos en las curvas EEEP.

Los modos de falla observados fueron los típicamente reportados en ensayos de muros de madera de entramado ligero. Principalmente, el corte de los clavos en los bordes de panel,



el aplastamiento de la madera en la zona de contacto del panel con los clavos de conexión y el pandeo fuera del plano del panel para grandes desplazamientos.

Tabla 2 también se presenta el valor de P_{peak} normalizado entre la longitud de muro. Este valor de fuerza máxima unitaria parece no depender de la longitud del muro y aumenta cuando el espaciamiento entre clavos disminuye.

Comparando los resultados mostrados en la para muros de la misma configuración, pero ensayados sin carga axial ni momento flector, se observa que los muros aquí reportados alcanzan valores mayores de fuerza máxima, rigidez, amortiguamiento y ductilidad; pero muestran menores desplazamientos de fluencia y desplazamientos últimos en las curvas EEEP.

Los modos de falla observados fueron los típicamente reportados en ensayos de muros de madera de entramado ligero. Principalmente, el corte de los clavos en los bordes de panel, el aplastamiento de la madera en la zona de contacto del panel con los clavos de conexión y el pandeo fuera del plano del panel para grandes desplazamientos.

Tabla 2 con los resultados reportados por Guíñez et al. (2019) para muros de la misma configuración, pero ensayados sin carga axial ni momento flector, se observa que los muros aquí reportados alcanzan valores mayores de fuerza máxima, rigidez, amortiguamiento y ductilidad; pero muestran menores desplazamientos de fluencia y desplazamientos últimos en las curvas EEEP.

Los modos de falla observados fueron los típicamente reportados en ensayos de muros de madera de entramado ligero. Principalmente, el corte de los clavos en los bordes de panel, el aplastamiento de la madera en la zona de contacto del panel con los clavos de conexión y el pandeo fuera del plano del panel para grandes desplazamientos.

Tabla 2: Resultados de los ensayos

Muro	P_{max} [kN]	P_{peak} [kN]	$\frac{P_{peak}}{L}$ [kN/m]	K_0 [kN/mm]	$\frac{K_0}{L}$ [kN/mm/m]	δ_{40}	ξ_E	Δ_y [mm]	Δ_u [mm]	μ
A120-10-01	49.2	46.3	38.6	2.30	1.92	0.0033	0.22	17	89	5.1
A120-10-02	47.0	45.4	37.9	3.63	3.02	0.0020	0.22	10	64	6.3
A120-05-01	86.9	84.2	70.2	2.84	2.36	0.0048	0.22	25	104	4.1
A240-10-01	98.9	89.3	37.2	6.87	2.86	0.0021	0.21	11	84	7.4
A240-10-02	100.7	93.8	39.1	6.97	2.90	0.0022	0.12	12	82	7.0
A240-05-01	145.1	143.0	59.6	6.49	2.71	0.0036	0.22	19	93	4.9
A360-10-01	158.5	155.9	43.3	10.49	2.91	0.0024	0.10	13	70	5.4
A360-10-02	148.2	139.6	38.8	9.64	2.68	0.0023	0.16	13	69	5.4

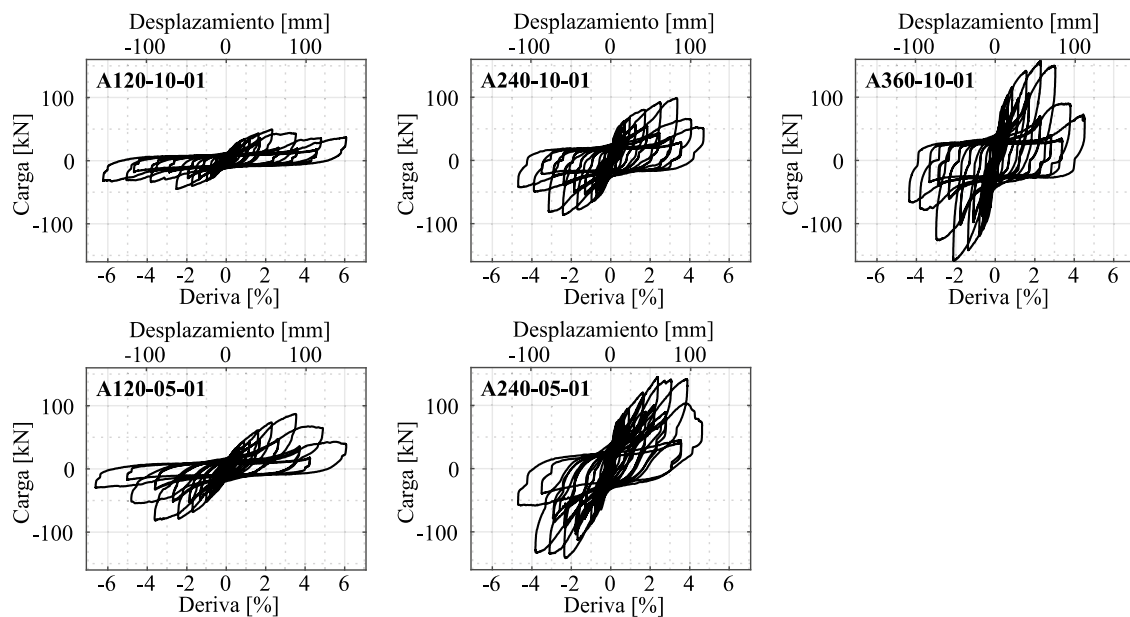


Figura 7: Curvas de histéresis de los muros ensayados

4. CONCLUSIONES

Se ensayaron ocho muros de entramado ligero de madera con una configuración diseñada para la construcción de edificios de mediana altura. Los muros se ensayaron con carga lateral cíclica y la aplicación simultánea de fuerzas para generar compresión axial y momento flector en el plano del muro. Los resultados del estudio sugieren que la acción combinada del esfuerzo axial y del momento flector mejora el comportamiento lateral de los muros de entramado ligero de madera. Del estudio se concluye que:

- Es necesaria una adecuada caracterización de los efectos combinados del esfuerzo axial y el momento flector sobre el comportamiento lateral de muros de corte de entramado de madera. La consideración de estos efectos durante el diseño resultaría en estructuras que aprovechen de mejor manera las ventajas de los muros de madera optimizando recursos.
- Aunque no se investigó el efecto individual de la compresión axial (o del momento flector) sobre la respuesta lateral, estudios anteriores que consideran cargas verticales sugieren que la mejora en el desempeño ante cargas laterales se debe principalmente a la compresión axial. Lo anterior tiene lógica ya que la carga vertical genera un momento que restringe el volcamiento inducido por la fuerza lateral y el momento flector.
- Se evidencia el importante efecto del espaciamiento entre clavos en el perímetro de los paneles. Un menor espaciamiento conduce a un aumento en la capacidad ante carga lateral, aumenta el desplazamiento último y reduce la ductilidad.
- La información obtenida se puede usar para calibrar modelos numéricos que permitan extender los resultados a muros de otras longitudes y generar modelos de edificios para el análisis de su respuesta sísmica.



AGRADECIMIENTOS

La investigación presentada fue financiada por el proyecto 16BPE-62260, CORFO, y el Centro de Innovación en Madera de la Pontificia Universidad Católica de Chile (CIM-UC). Los ensayos experimentales se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Estructural de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM E2126-11. Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls. *ASTM E2126-11*, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1520/E2126-11.2>
- Chopra, A. K. (2012). *Dinamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering* (4.^a ed.; Pearson Education, Ed.). Pearson Education/Prentice Hall.
- Dean, P. K., & Shenton, H. W. (2005). Experimental Investigation of the Effect of Vertical Load on the Capacity of Wood Shear Walls. *Journal of Structural Engineering*, *131*(7), 1104-1113. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2005\)131:7\(1104\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2005)131:7(1104))
- Gatto, K., & Uang, C.-M. (2002). Cyclic Response of Woodframe Shearwalls: Loading Protocol and Rate of Loading Effects. En *CUREE - Caltech Woodframe Project*.
- Guíñez, F., Santa María, H., & Almazán, J. L. (2019). Monotonic and cyclic behaviour of wood frame shear walls for mid-height timber buildings. *Engineering Structures*, *189*(March), 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.043>
- Gupta, A. K., & Kuo, G. P. (1985). Behavior of Wood-Framed Shear Walls. *Journal of Structural Engineering*, *111*(8), 1722-1733.
- Instituto Nacional de Normalización. (2014). *NCh 1198. Madera - Construcciones en Madera - Cálculo*. Instituto Nacional de Normalización.
- Johnston, A. R., Dean, P. K., & Shenton, H. W. (2006). Effects of Vertical Load and Hold-Down Anchors on the Cyclic Response of Wood Framed Shear Walls. *Journal of Structural Engineering*, *132*(9), 1426-1434.
- Lam, F., Filiatrault, A., Kawai, N., Nakajima, S., & Yamaguchi, N. (2002). Performance of timber buildings under seismic load. Part 1: experimental studies. *Progress in Structural Engineering and Materials*, *4*(3), 276-285. <https://doi.org/10.1002/pse.121>
- Lam, F., Prion, H. G. L., & He, M. (1997). Lateral Resistance of Wood Shear Walls with Large Sheathing Panels. *Journal of Structural Engineering*, *123*(12), 1666-1673.
- Sadeghi Marzaleh, A., Nerbano, S., Sebastiani Croce, A., & Steiger, R. (2018). OSB sheathed light-frame timber shear walls with strong anchorage subjected to vertical load, bending moment, and monotonic lateral load. *Engineering Structures*, *173*(May), 787-799.
- Salenikovich, A., & Payeur, M. (2010). Influence of vertical loads on lateral resistance of light-frame shear walls. *11th World Conference on Timber Engineering 2010, WCTE 2010*, 3.
- Van de Lindt, J. W. (2004). Evolution of Wood Shear Wall Testing, Modeling, and Reliability Analysis: Bibliography. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, *9*(1), 44-53. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0680\(2004\)9:1\(44\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0680(2004)9:1(44))