



DESEMPEÑO SÍSMICO DE MUROS MIDPLY ELABORADOS CON MADERA CHILENA

SEISMIC PERFORMANCE OF MIDPLY WALLS MANUFACTURED WITH CHILEAN TIMBER

Schmitt, Cristian; Cárcamo, Sebastián
Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

CÓDIGO: 4603403

Resumen

Los muros de corte de madera Midply consisten en una variación del sistema marco plataforma para lograr una mayor resistencia a las cargas laterales. La placa arriostrante se ubica al centro del muro con pies derechos por ambas caras, lo que permite que las fijaciones trabajen a cizalle doble, entregando una carga lateral admisible aproximadamente dos veces mayor al muro convencional. Este sistema tiene su origen en Canadá con procesos de manufactura que consideran maderas del hemisferio norte e investigación que incluye su aplicación en destacados casos como el edificio "Neeswood". El presente artículo estudia la manufactura y desempeño de estos paneles en Chile. Para evaluar su factibilidad de implementación se analizaron paneles construidos pino radiata certificado disponible en el mercado local. Se caracterizó el comportamiento sísmico del sistema mediante ensayos de Carga Lateral Monotónico y Cíclica.

Los resultados fueron comparados con ensayos similares realizados en Canadá. El comportamiento de los clavos trabajando a doble cortadura presentó la resistencia deseada y absorbieron la energía aplicada en el muro en forma de deformación permanente. La comparación de resultados muestra que los muros Midply fueron capaces de alcanzar una carga lateral similar a otros muros Midply manufacturados con madera SFP. Sin embargo, los tipos de fallas estuvieron determinadas por los distintos anclajes utilizados y requiere un rediseño de la configuración de ensayo para su correcto estudio y evaluación.

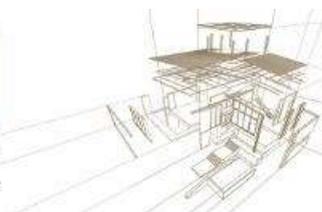
Palabras-clave: muros de corte en madera, cizalle doble, ensayo de carga lateral.

Abstract

Midply timber shearwalls consist on a variation of the platform frame system in order to achieve a higher resistance to lateral loads. The shearplate is located at the middle of the panel with studs on both sides, which allows connectors a double shear behaviour with approximately double the rigidity of standard shearwalls. This building system has its origin in Canada with manufacturing processes that consider lumber from the northern hemisphere and research that includes its application in outstanding study cases such as the "Neeswood" building. This article studies the manufacture and performance of these panels in Chile. To evaluate its feasibility, the analysis studies panels manufactured with certified radiate available in the local context. Seismic behavior was characterized using Monotonic Lateral Loads tests and Cyclic with Alternate Loads tests.

Results were compared with similar tests conducted in Canada. The double shear performance of connectors showed the expected resistance and absorbed the applied energy to the wall as permanent deformations. Results show that Midply walls achieve similar lateral loads to other Midply walls manufactured with SPF stud-grade lumber. However, wall failures were caused by different anchoring systems used so the test configuration requires a design for a proper analysis and evaluation.

Keywords: timber shearwalls, double shear, lateral loads test.



Introducción

Los edificios deben soportar tanto cargas verticales como cargas laterales. Es por esto que toda estructura debe contar con un sistema de resistencia lateral que impida su colapso producto de la acción del viento o sismos. La resistencia lateral se puede lograr mediante el uso de riostras, marcos rígidos o muros arriostrantes, entre otros. En estructuras de marco plataforma para edificios de madera el sistema comúnmente utilizado es el de muros arriostrantes. Este elemento se compone por marcos con pies derechos y soleras de madera aserrada donde, por una de sus caras, se clava una placa rígida de madera (i.e. OSB o terciado) que lo proveen de la rigidez lateral requerida. Cuando el muro arriostrante recibe cargas laterales los clavos se someten a esfuerzo de corte comportándose de manera dúctil.

En el diseño de edificios de madera en mediana altura, la inclusión de aperturas y generar recintos de mayores dimensiones consisten en uno de los principales desafíos para las demandas en las resistencias laterales de las estructuras debido a sus requerimientos sísmicos y la reducción de longitud de los muros arriostrantes. Es por esto que se han estudiado nuevas soluciones que aumente la resistencia lateral de los muros de madera y posibiliten diseños más flexibles.

El sistema Midply consiste en una variación del sistema marco plataforma para lograr una mayor resistencia a las cargas laterales. Este sistema fue creado por Dr. Erol Varoglu de Forintek Canada Corp. y el Profesor S.F. Stierner de la Universidad de British Columbia en 1998 (Varoglu et al, 1998). El sistema de paneles considera los mismos componentes del muro arriostrante estándar pero con una disposición diferente con el objetivo de reducir los costos de la construcción y mantener los procesos constructivos y dimensiones del sistema de entramado. En el caso del sistema Midply la placa arriostrante se ubica al centro del muro con pies derechos por ambas caras creando uniones en donde las fijaciones (clavos o tornillos) trabajaran con dos planos de corte, lo que permite una mayor resistencia a esfuerzos laterales (figura 1). Los pies derechos en los muros Midply están rotados 90° respecto a la posición de estos elementos en muros tradicionales, es decir que la placa arriostrante es clavada en la cara más ancha de los pies derechos.

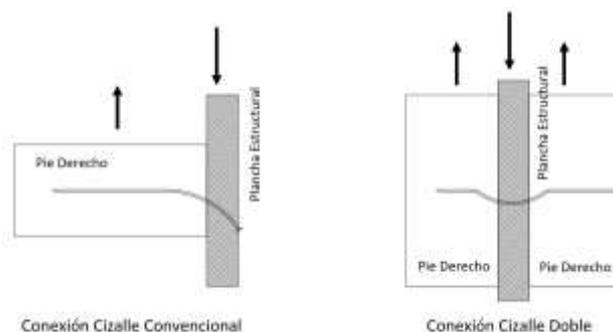
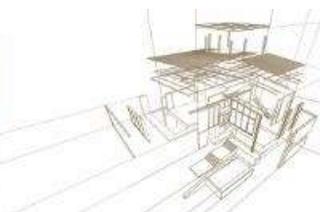


Figura 1: Comportamiento de las fijaciones en un muro arriostrante de madera convencional y en un muro Midply.

Esto aumenta la capacidad de carga y la superficie de clavado, evitando fallas por astillamiento de la madera cuando se clava muy cercano al borde (Karacabeyli et al, 2001). Este sistema corresponde a elementos de muros arriostrantes, su aplicación no pretende ser utilizado en la totalidad del edificio, sino que está orientada a zonas con altas cargas laterales o situaciones en que los requerimientos estructurales o diseño arquitectónico no permiten la longitud requerida de muros para lograr el desempeño deseado. La capacidad de carga a los esfuerzos laterales al menos duplica a la de un muro arriostrante convencional (Ni, 2008).

Este sistema se ha aplicado en estructuras de hasta 6 pisos, teniendo un buen desempeño, como parte de ensayos sísmicos a escala 1:1 en el año 2009 en Miki, Japon (Van De Lindt et al, 2011).



En el año 2001 se construyó el primer edificio con el sistema Midply: el edificio Winslow Commons es un edificio residencial de 4 pisos en la Universidad de British Columbia, mientras que en 2018 se utilizó en un proyecto de viviendas en la prefectura Saitama, Tokyo (Lawlor, 2018).

En los últimos años Chile ha experimentado un creciente desarrollo en la aplicación de sistemas en madera. Entre las iniciativas se encuentra el desarrollo de proyectos de viviendas sustentables utilizando el sistema marco plataforma, jardines infantiles en paneles de madera contralaminada (CLT) y regeneración de edificios públicos utilizando estructuras masivas (Gobierno de Chile, 2017). El desarrollo de muros Midply elaborados con madera producida localmente representa una posibilidad para el diseño de proyectos con mayor flexibilidad de diseño en sus plantas.

Ensayos experimentales y manufactura de muros Midply.

Los ensayos experimentales realizados por Forintek han sido desarrollados de acuerdo a los estándares constructivos canadienses. Los principales factores que inciden en el desempeño de los paneles son: el sistema de conexiones de anclaje y el tipo de madera utilizada.

Los ensayos realizados por Forintek y NEES Wood han utilizado dos sistemas de conectores con resultados exitosos en ensayos de paneles: el sistema “hold-down” (Buitellar, 2001) y barras de acero (Karacabeyli, 2001). En el ensayo de un prototipo de un edificio de 6 pisos en marco de madera en la mesa vibratoria en Miki, Japón, dos muros Midply dobles fueron instalados desde el primer hasta el quinto piso para proveer la resistencia lateral necesaria. Para prevenir el colapso de los paneles en los extremos de los paneles por esfuerzos de tracción, se usaron barras de acero en cada extremo en lugar de los tradicionales conectores “hold-down” (Van De Lindt et al, 2011).

Otras simulaciones realizadas en Nueva Zelanda con modelos numéricos incorporaron han estudiado la utilización *slip-friction connectors* en muros Midply para evaluar su desempeño sísmico. Los resultados predictivos del modelo se alinearon con los resultados obtenidos del trabajo experimental realizado por FPInnovations en Canadá (Loo et al., 2009).

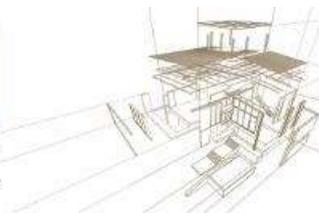
La construcción de los paneles Midply considera madera con resistencia adecuada para su uso como elementos estructurales (stud-grade lumber) de clasificación SPF (spruce-pine-fir). Este tipo de madera se utiliza comúnmente para la construcción de estructuras de marco plataforma en Canadá y Estados Unidos y está compuesto principalmente por especies de píceas (*Picea glauca* y *Picea mariana*), pino (*Pinus banksiana*) y abeto (*Abies alba*).

Asimismo, las simulaciones realizadas en Nueva Zelanda con modelos numéricos por Loo et al (2009) consideraron para sus cálculos madera aserrada Canadiense SPF y tableros de OSB con un Módulo de Young de 10Gpa. Los resultados predictivos del modelo se alinearon con los resultados obtenidos del trabajo experimental realizado por FPInnovations en Canadá

La construcción de estructuras de madera en Chile se caracteriza por la utilización masiva de pino radiata (*pinus radiata*), una especie conífera de crecimiento rápido. La madera aserrada certificada con clasificación mecánica se clasifica en los grados C16, C24, MGP10 y MGP12. La madera MGP10 es aquella que posee mayor potencial de homologación con SPF en su aplicación en estructuras de madera, aún cuando poseen características físicas y mecánicas distintas.

Las escuadrías de los listones difieren de acuerdo a los procesos de manufactura de los distintos países, así un listón de dimensión nominal 2”x6” MGP10 posee dimensiones reales de 35mm x 138mm, mientras que el mismo listón SPF es de 38mm x 140mm.

En la Figura 2 se comparan: Módulo de Elasticidad (E), Tensión Admisible a Flexión (Ff), Tensión Admisible a Compresión Paralela (Fcp) y Tensión Admisible a Cizalle (Fcz) de las maderas MGP10 y SPF. Pese a que el SPF es una madera más flexible que el MGP10, en general



las tensiones admisibles son mayores. Por lo que se estima que los modos de falla y su comportamiento histerético debieran variar el desempeño de los muros.

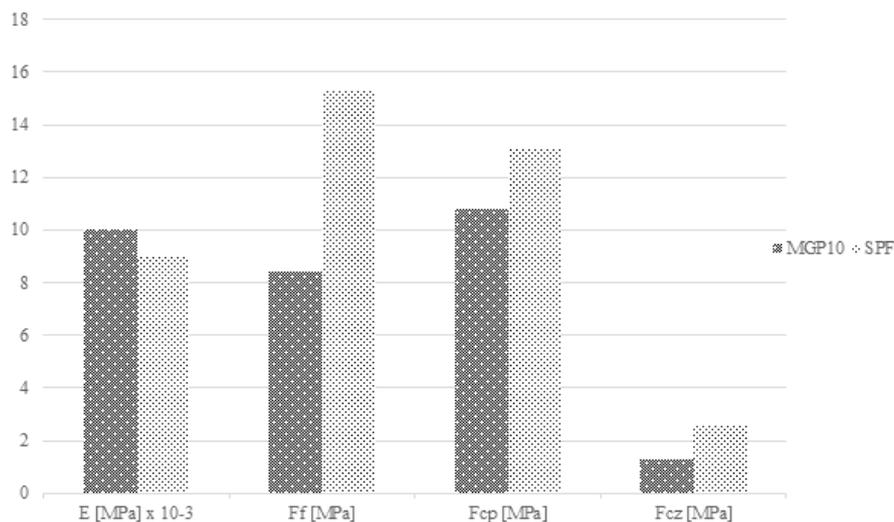


Figura 2: Propiedades físicas de la maderas MGP10 y SPF.

Las placas arriostrantes de OSB utilizadas en el contexto chileno cumplen con la certificación APA – The Engineered Wood Association (APA, 2015) utilizada en Norteamérica que certifica sus normas de desempeño, por lo que se ha considerado homologable para efectos del estudio.

La aplicación del pino radiata al desarrollo de paneles Midply representa una oportunidad para expandir el uso de este sistema en un país sísmico como Chile. En base a lo anterior, resulta de interés conocer el desempeño de los muros Midply con maderas chilenas, en especial su desempeño a la compresión. Esta investigación estudia el desempeño sísmico de paneles fabricados con materiales chilenos para poder compararlo con las características de los paneles fabricados con especies del hemisferio norte.

Metodología.

El estudio de los muros considera dos rondas de ensayos para evaluar distintos sistemas de anclaje de muros, los que tienen como función resistir el levantamiento que experimenta un muro ante una carga lateral en uno de sus extremos.

La primera ronda consideró 2 ensayos de carga lateral monotónico con anclajes tipo “Hold Down” y 2 con sistema de barras de acero con compensador “ATS”. Ante la inexistencia de conectores prefabricados locales que se ajusten a la dimensión de las soleras de acuerdo a los esfuerzos estructurales solicitados, se fabricaron herrajes “Hold Down” a partir del diseño desarrollado por FPInnovations en experiencias anteriores (Buitellar, 2001). El sistema de barras de acero con es producido para sistemas convencionales de marco plataforma por lo que se debió modificar la conexión con la solera para ajustarse a la dimensión de éstas. A partir de los resultados de la primera ronda, se seleccionó el sistema de anclaje con mejor desempeño para evaluar su comportamiento en 2 ensayos de carga lateral cíclica según protocolos ISO98 y comparar sus resultados con el desempeño de muros construidos con madera SPF.

Para definir la configuración de los muros se utilizó como referencia la matriz de ensayos realizada en la Universidad de British Columbia (Varoglu et al, 2007) debido a que considera simulaciones de terremotos mediante ensayos monotónicos y cíclicos según protocolos ISO98. El estudio considera diversas configuraciones de dimensiones de listones, espaciamientos y placas



arriostrantes para muros principalmente de 2.44 [m.] por 2.44 [m.], pero también para muros de 1.22 [m.] por 2.44 [m.].

Asimismo, la resistencia a esfuerzos laterales de los muros depende de la configuración de placas arriostrantes utilizadas. Estudios con paneles de hasta 2.4 [m.] por 7.3 [m.] han utilizado de placas completas en los muros, en vez de varias placas unidas, posee un mejor desempeño y podría traer beneficios en los procesos de prefabricación (He et al, 1999). En Chile la dimensión máxima para placas de OSB es de 1.22 [m.] por 2.44 [m.]. Esta dimensión de probeta permite utilizar una placa completa y eliminar variables ocasionadas por la unión entre placas.

Se fabricaron 6 probetas de largo de 1.22 [m.] y 2.44 [m.] de altura con las mismas escuadrías, espesor de placas y espaciamiento de clavado. Se consideró madera de pino radiata Arauco MGP10 impregnada en Boro en escuadrías de 2"x6" y 2"x4", placa OSB LP de 11.1 mm de espesor y clavos helicoidales de 3". Cada panel considera 3 pies derechos dobles 2"x6" espaciados a 61cm. con dos pies derechos de borde 2"x4"; solera inferior y superior doble 2"x6"; y solera superior de amarre 2"x4". El clavado de los listones con la placa de OSB se realizó con un espacido cada 100 mm.

La configuración de los ensayos considera un muro de reacción de hormigón armado sobre el que se ubica un brazo actuador que aplica las cargas laterales a la probeta. Estas cargas son distribuidas por medio de una viga y una placa de traspaso de carga. Estos elementos son estructurados en acero y se conectan al panel por medio de pernos de anclaje tanto en el borde superior. El borde inferior la probeta se fija sobre una base de acero mediante pernos de anclaje (Figura 3).



Figura 3: Configuración de ensayo de carga lateral cíclica.

Resultados

- Ensayos Monotónicos

Los ensayos monotónicos fueron realizados para estudiar el comportamiento del muro con los dos tipos de conectores anteriormente descritos: "Hold Down" (MP/HD) y "ATS" (MP/ATS). Los muros fueron sometidos a una carga lateral hasta su colapso, registrando su curva Fuerza - Desplazamiento. En la figura 4 se presentan dichas curvas para los 4 ensayos monotónicos realizados.

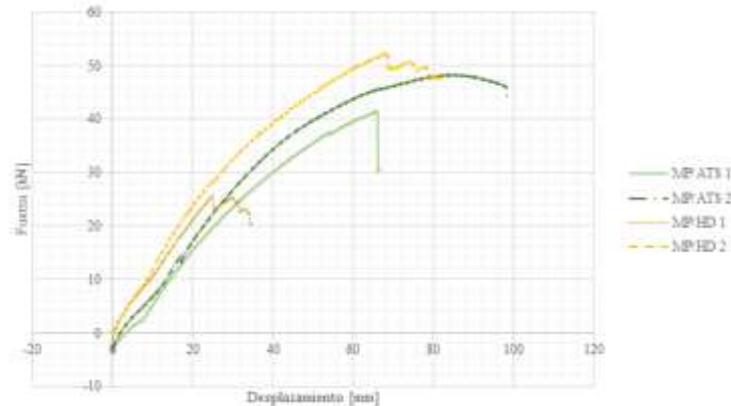


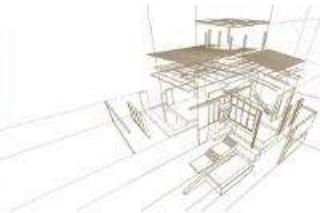
Figura 4: Gráfico fuerza/desplazamiento de ensayos monotónicos.

Se aprecia que los muros, en general, presentaron fallas frágiles. Los modos de falla estuvieron asociados a los elementos de borde, es decir en los pies derechos de borde o los anclajes. En el caso de los muros con “Hold Down”, el anclaje presentó una falla frágil localizada en su plancha inferior del herraje, donde la soldadura se desprendió súbitamente. En el caso de los muros con sistema de barras de acero, pese a presentar una menor rigidez inicial, alcanzaron mayores desplazamientos que permitieron desarrollar la fluencia de los clavos y disipar la energía del modo deseado. La falla en este caso se desarrolló en la solera y desprendiendo el pie derecho de borde (figura 5).



Figura 5: Fallas en los elementos de borde en anclaje “Hold Down” (izq) y barra de acero (der).

Para analizar el comportamiento sísmico de la configuración Midply del muro se compara la capacidad disipativa observada en ambos sistemas de anclaje durante los ensayos monotónicos. A partir de los resultados, se propone utilizar el sistema de barra de acero con “ATS” para los ensayos cíclicos y evaluar el comportamiento del muro en su rango no lineal.



- Ensayos Cíclicos

Se realizaron dos ensayos cíclicos con conectores de barra de acero para estudiar su comportamiento histerético y la resistencia ante cargas sísmicas. Para el desarrollo del ensayo se utilizó el mismo protocolo de carga definido el ISO 98 . Los parámetros de carga se definieron a partir de los resultados de lo ensayos monotónicos.

Los resultados de los ensayos presentan fallas en los elementos de bordes. En ambos casos fueron los pies derechos de borde fallaron a compresión. En la figura 6 se presentan las curvas histeréticas de los ensayos realizados.

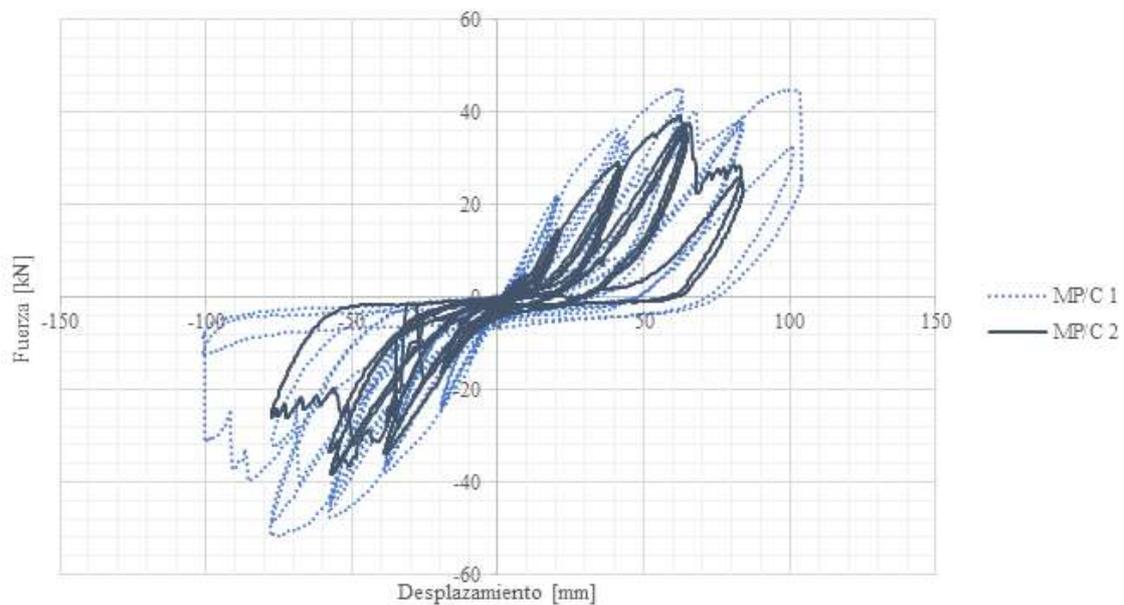
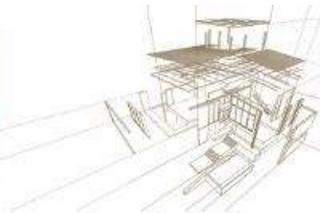


Figura 6: Gráfico fuerza/desplazamiento de ensayos cíclicos.

Se puede apreciar que las dos probetas ensayadas presentan cierto nivel de disipación y una rigidez pronunciada en el primer tramo. Cerca de los 50 mm de desplazamiento, ambos muros entran en un rango no lineal pronunciado. Este comportamiento es producto de la deformación de las fijaciones de clavos que actúan a doble curvatura (figura 7).



Figura 7: Comportamiento de las fijaciones a doble curvatura en ensayo cíclico



Análisis de los Resultados

Los ensayos cíclicos realizados son comparados con los resultados obtenidos por Forintek (Varoglu et al, 2007). Ambos muros estudiados corresponden a muros de 1.22 [m.] por 2.44 [m.] que fueron sometidos al mismo protocolo de carga (ISO 98). Los resultados de ambas series de ensayos se presentan en la figura 8,.

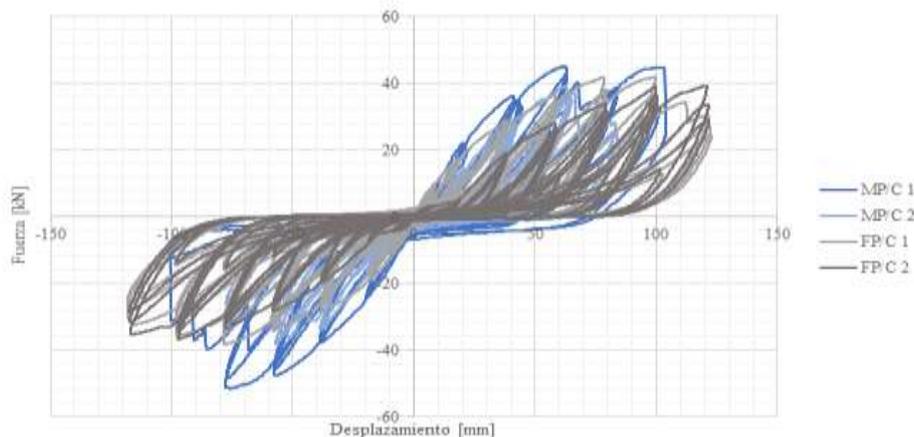


Figura 8: Gráfico fuerza/desplazamiento de ensayos cíclicos para ensayos muros Midply con pino radiata (MP) y para los ensayos realizados por Forintek con SPF (FP).

Los muros estructurados con SPF poseen una carga admisible levemente menor, sin embargo presentan una mayor disipación que los muros estructurados con pino radiata MGP10. Este comportamiento es esperable al comparar las propiedades de ambas maderas, expuestas en la figura 2, donde se indica que la madera SPF es más flexible (mayor E) pero con tensiones admisibles mayores (F_f , F_{cp} , F_{cz}).

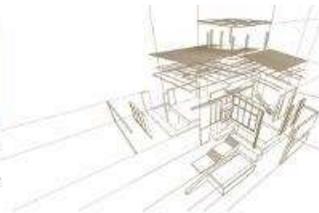
El comportamiento de los muros de corte no depende exclusivamente de la madera que los componen, este también está definido por la configuración del muro, fijaciones y anclajes. Al compatibilizar a estas variables, las diferencias apreciadas reflejarían la incidencia del cambio de madera.

Conclusiones

Se realizó un set de ensayos para evaluar el desempeño de muros Midply utilizando madera pino radiata producido en Chile. A partir de los ensayos monotónicos se apreció que, dada la alta resistencia del muro, es necesario utilizar anclajes de alta capacidad (barras continuas de acero con sistema de compensación “ATS”) para que el muro pudiese entrar en un rango no lineal y observar la disipación de energía incurrida en las fijaciones trabajando a cizalle doble

Se realizaron ensayos cíclicos para un muro de 1.22 [m.] de largo con sistema de anclaje de barra de acero y fueron comparados con los ensayos realizados por Forintek con la misma configuración pero diferente especie madera. Se apreció que las resistencias de ambos muros varían levemente, siendo la madera chilena más resistente, sin embargo los muros con madera SPF permitieron un rango no lineal mayor, disipando así mayor energía.

Se propone investigar a futuro el comportamiento del muro variando su longitud y optimizando sus elementos para resistir de mejor manera los esfuerzos compresión/tracción en los que incurren sus extremos



AGRADECIMIENTOS:

El equipo de investigadores quiere agradecer al Dr. Marjan Poposki y Dr. Chun Ni de FPInnovations por su buena disposición y colaboración en este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA (2015) Oriented Strand Board. Guía de Productos W410. The Engineered Wood Association. Tacoma, WA, Estados Unidos.

Buitellar, M. (2001). Static and Dynamic Testing of the Midply™ Shear Wall System, Master of Applied Science Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.

CORFO (2017) Cuenta Pública 2017. Gobierno de Chile.

He, M., Magnusson, H., Lam, F. & G. L. Prion, H. (1999) Cyclic Performance of Perforated Wood Shear Walls with Oversize OSB Panels Journal of Structural Engineering-asce - J STRUCT ENG-ASCE. Vol 125

Karacabeyli, E., Stiemer, S. & Ni, C. (2001) MIDPLY Shearwall System. Proceedings of Structures Congress 2001, Washington, D.C. May

Lawlor, S. (2018) Canadian Midply Shear Walls Launched in Japanese Residential Housing. Canada Wood Today-The Canada Wood Group Blog. Accedido julio 2019 en <https://canadawood.org/blog/canadian-midply-shear-walls-launched-in-japanese-residential-housing/>

Loo, W. Y., Quenneville, P. & Chou, N. (2009) Seismic behaviour of timber shear walls with load-limiting slip-friction connectors. Proceedings of 2009 NZSEE Conference, Christchurch, New Zealand, April.

Nelson, R., Patel, S. & Arevalo, R. (2003) Continuous Tie-Down Systems for Wood Panel Shear Walls in Multi Story Structures. Structural Magazine, March 2003.

Ni, C., Follesa, M., Popovski, M. & Karacabeyli, E. (2008) Assessment of Seismic Design Parameters for Midply Wood Shear Wall System. 10th World Conference on Timber Engineering. Miyazaki, Japan, June.

Van De Lindt, J.W., Pei, S. & Pryor, S.E.(2011) Construction and Experimental Seismic Performance of a Full-scale Six-story Light-frame Wood Building. The Proceedings of the Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Procedia Engineering 14 (2011) 1599–1605

Varoglu, E. & Stiemer, S.F. (1998). US5782054: Wood Wall Structure. United States Patent.

Varoglu, E., Karacabeyli, E., Asce, M., Stiemer, S., Ni, C., Buitelaar, M. & Lungu, D. (2007) Midply Wood Shear Wall System: Performance in Dynamic Testing. Journal of Structural Engineering-asce v. 133 n. 7. p. 1035