Informe Técnico N° 263

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE TIPOLOGÍAS DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA SOMETIDOS A CARGA LATERAL CÍCLICA REVERSIBLE PARA EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA



Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

INSTITUTO FORESTAL
2023

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° 263

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE TIPOLOGÍAS DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA SOMETIDOS A CARGA LATERAL CÍCLICA REVERSIBLE PARA EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA

Jorge Catalán Linco [1]; Luis Vásquez Valenzuela; Pablo Mardones Díaz;
Raúl Campos Pous y Gonzalo Hernández Careaga.

INSTITUTO FORESTAL
2023

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



INSTITUTO FORESTAL
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Chile
F. 56 2 223667115
www.infor.cl

ISBN N° 978-956-318-268-2
Registro Propiedad Intelectual N° 2024-A-749

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

Catalán, Jorge; Vásquez, Luis; Mardones, Pablo; Campos, Raúl y Hernández, Gonzalo (2023). Caracterización Mecánica de Tipologías de Muros con Estructura de Madera Sometidos a Carga Lateral Cíclica Reversible para Edificaciones de Mediana Altura. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 263. P. 13. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32672

PRÓLOGO

En un complejo escenario de cambio climático, ante el cual Chile es altamente vulnerable; y en un contexto de déficit habitacional en el país, que se estima en unas 650.000 viviendas, surge la necesidad de utilizar materiales de construcción que tengan como característica principal un bajo impacto ambiental, es decir, que en producción y aplicaciones presenten bajas huellas de carbono y agua y que, además, permitan aumentar de manera significativa la rapidez en la construcción.

La madera reúne todos esos beneficios y destaca con holgura sobre otros materiales. Es un recurso renovable, reciclable y versátil, permite edificar en altura, es un buen aislante térmico, tiene beneficios para la salud de las personas y sus construcciones presentan un buen comportamiento frente a los sismos.

Además, el uso de la madera en la construcción de viviendas tiene un significativo impacto social, dada la generación de empleo que provee la industria del aserrío y después la construcción misma. El año 2022 más de 15 mil personas trabajaron en los 852 aserraderos funcionando entre Valparaíso y Magallanes, los que en un 98% corresponden a pymes.

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 los tableros (OSB, contrachapados) y a la madera aserrada estructural destinada a la fabricación de componentes para las viviendas, entre ellos los muros.

Este estudio cuantifica la resistencia y rigidez de tipologías de muro para edificaciones de mediana altura en madera sometidas a cargas de corte cíclicas, fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata y tableros OSB.

El financiamiento de este trabajo proviene del Ministerio de Agricultura (MINAGRI), a través del Convenio 2023 suscrito con INFOR, y fue ejecutado por los profesionales del área de investigación Tecnología y Productos de Madera de INFOR.

.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVO 1
3. METODOLOGÍA 1
3.1 Método de Ensayo y Diseño Experimental 1
3.2 Tipologías de Muro con Estructura de Madera 2
4. RESULTADOS 5
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 11
6. CONCLUSIONES 13
7. REFERENCIAS 13

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. Sin embargo, en su versión actualizada próxima a ser emitida por el Instituto Nacional de Normalización (INN), considerará parámetros de caracterización mecánica de configuraciones de muros y una metodología que permitirá proyectar edificaciones de 1 a 6 pisos.

La norma NCh 3537 (INN, 2021) define un método de ensayo para determinar la resistencia y rigidez de segmentos de muro sometidos a carga lateral cíclica reversible contenida en su plano, donde las condiciones de borde representan el comportamiento de la estructura, sin considerar la restricción al giro de la probeta. Esta metodología incorpora la degradación estructural que experimentan las estructuras de madera a lo largo de su vida útil, es decir, consideran la naturaleza sísmica característica del país.

Este informe técnico entrega la metodología, resultados y conclusiones obtenidas de ensayos mecánicos a cargas laterales cíclicas reversibles, ejecutados a 4 tipologías de muros con estructura de madera, de acuerdo con la normativa vigente, y será un antecedente a considerar en una futura actualización de la norma NCh1198.

Los muros fueron construidos según el sistema constructivo plataforma, en base a pies derechos de madera aserrada estructural de pino radiata, grado MGP10, y tablero OSB arriostrante de 9,5 mm de espesor, fijado al tabique con un esquema de clavado específico.

A partir de los resultados de los ensayos mecánicos se estimó la resistencia y rigidez de los muros de acuerdo a la norma NCh3537. Los ensayos mecánicos fueron ejecutados en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), acreditado como laboratorio de ensayos NCh-ISO 17025 por el Instituto Nacional de Normalización (INN).

2. OBJETIVO

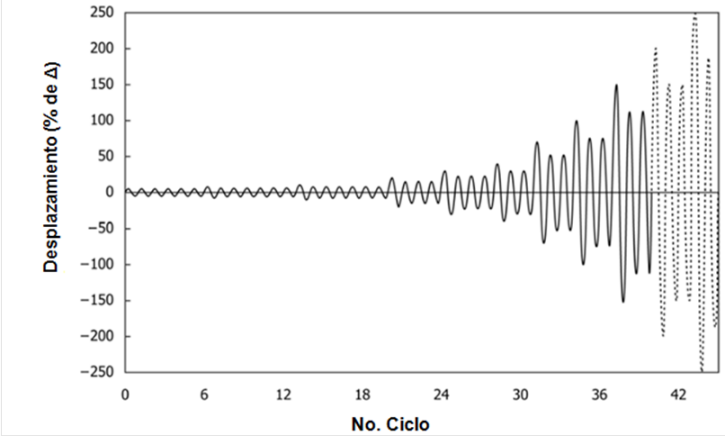
El objetivo de este estudio considera cuantificar la resistencia y rigidez de tipologías de muro para uso en edificaciones en madera de mediana altura, sometidos a cargas de corte cíclicas reversibles, fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata y tableros OSB; de acuerdo a la norma NCh3537.

3. METODOLOGÍA

3.1 Método de Ensayo y Diseño Experimental

El método de ensayo aplicado a los muros de corte se describe en la norma NCh 3537: Ensayo de carga cíclica (reversible) para la resistencia al corte de elementos verticales de sistemas de resistencia a la fuerza lateral de edificaciones - Método de ensayo (INN, 2021).

El diseño experimental consideró 4 tipologías de muros. Por cada tipología se consideraron 2 repeticiones y la aplicación de una carga cíclica reversible de acuerdo con el protocolo de Curee, que se presenta en la Figura N°1 y Cuadro N°1.



(Fuente: NCh 3537)

Figura N°1
PATRÓN DE DESPLAZAMIENTO CUREE

Cuadro N°1
PROTOCOLO CUREE, AMPLITUD DE LOS CICLOS PRIMARIOS

Patrón	Fase	Número mínimo de ciclos	Amplitud del ciclo primario, %Δ
1	1	6	5
2	2	7	7,5
	3	7	10
3	4	4	20
	5	4	30
4	6	3	40
	7	3	70
	8	3	100
	9	3	$100+100\alpha^{A}$
	10	3	Incrementos adicionales de $100\ \alpha$ (hasta que la muestra falle)

(Fuente: NCH 3537) [A] $\alpha \leq 0.5$

3.2 Tipologías de Muro con Estructura de Madera

Las tipologías de muros ensayadas a carga horizontal se describen en el Cuadro N°2. 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 2,44 m de ancho por 2,44 m de alto. Las Figuras N°2 y N°3 ilustran la configuración de los muros ensayados y el tipo de conector utilizado.



Figura N°2
CONFIGURACIÓN DEL ENSAYOS DE MURO



Figura N°3
CONECTOR UTILIZADO EN EL ANCLAJE

Cuadro N°2
TIPOLOGÍAS DE MUROS ENSAYADOS A CARGA LATERAL

Tipología	Estructura	Placa de Arriostre	Sistema de Anclaje
M100-8d	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural visual MGP10, seca en cámara, escuadría 35x138 mm ($1^{1/2}$ x 6"); y pie derechos distanciados a 406 mm. Pies derechos de borde consideran 5 piezas de madera.	Placa estructural de OSB en ambas caras del marco, de 9.5 mm de espesor, fijada con clavos 8d (3.1 mm de diámetro y 80 mm de largo) distanciados en la zona perimetral a 100 mm y 200 mm en la zona central, hincados con pistola neumática.	2 pernos de anclaje grado 8, de 1-1/8" de diámetro; con conectores de acero modelo HD12.
M50-8d	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural visual MGP10, seca en cámara, escuadría 35x138 mm ($1^{1/2}$ x 6"); y pie derechos distanciados a 406 mm. Pies derechos de borde consideran 5 piezas de madera.	Placa estructural de OSB en ambas caras del marco, de 9.5 mm de espesor, fijada con clavos 8d (3.1 mm de diámetro y 80 mm de largo) distanciados en la zona perimetral a 50 mm y 100 mm en la zona central, hincados con pistola neumática.	2 pernos de anclaje grado 8, de 1-1/8" de diámetro; con conectores de acero modelo HD12.
M50-6d	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural visual MGP10, seca en cámara, escuadría 35x138 mm ($1^{1/2}$ x 6"); y pie derechos distanciados a 406 mm. Pies derechos de borde consideran 5 piezas de madera.	Placa estructural de OSB en ambas caras del marco, de 9.5 mm de espesor fijada con clavos 6d (2.87 mm de diámetro y 75 mm de largo) distanciados en la zona perimetral a 50 mm y 100 mm en la zona central, hincados con pistola neumática.	2 pernos de anclaje grado 8, de 1-1/8" de diámetro; con conectores de acero modelo HD12.
M100-6d	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural visual MGP10, seca en cámara, escuadría 35x138 mm ($1^{1/2}$ x 6"); y pie derechos distanciados a 406 mm. Pies derechos de borde consideran 5 piezas de madera.	Placa estructural de OSB en ambas caras del marco, de 9.5 mm de espesor fijada con clavos 6d (2.87 mm de diámetro y 75 mm de largo) distanciados en la zona perimetral a 100 mm y 50 mm en la zona central, hincados con pistola neumática	2 pernos de anclaje grado 8, de 1-1/8" de diámetro; con conectores de acero modelo HD12.

4. RESULTADOS

El Cuadro N°3 registra la estadística descriptiva asociada a los resultados de los ensayos ejecutados a las 4 tipologías de muros.

Cuadro N°3
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARGA LATERAL

Muro	Carga máxima (N/m)			
	M100-8d	M50-8d	M50-6d	M100-6d
1	38.422	51.390	50.815	27.481
2	33.508	46.443	50.781	31.267
Promedio	35.965	48.917	50.798	29.374
Desviación estándar	3.475	3.498	24	2.677
Coeficiente de variación (%)	9,66	7,15	0,05	9,11

Se observa que las tipologías de muro M100-8d, M50-8d, M50-6d y M100-6d alcanzaron cargas laterales máximas promedio de 35.965 N/m, 48.917 N/m, 50.798 N/m y 29.374 N/m, respectivamente. De lo anterior se desprende que a un menor espaciamiento de clavado perimetral del tablero arriostrante, combinado con un mayor diámetro de los clavos, genera una mayor capacidad de resistencia del muro a la carga lateral.

Las Figuras N°4 a N°11 registran las curvas de histéresis de los ensayos ejecutados. En todas ellas se observa la carga máxima alcanzada, seguida por una zona de reducción de rigidez de los muros para altas deformaciones, inducidas por el protocolo de Curee.

La Figura N°12 registra las envolventes asociadas a los ensayos ejecutados. En ella se observa una clara distinción del comportamiento de las tipologías ensayadas en cuanto a su capacidad resistente.

En todas las tipologías de muro ensayadas la falla se genera siguiendo la secuencia de desarrollo que se indica:

- 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°13 a N°16 registran las fallas descritas.

Para las tipologías ensayadas no se observan fallas asociadas a la concentración de tensiones debido a la instalación del *hold down* HD12.

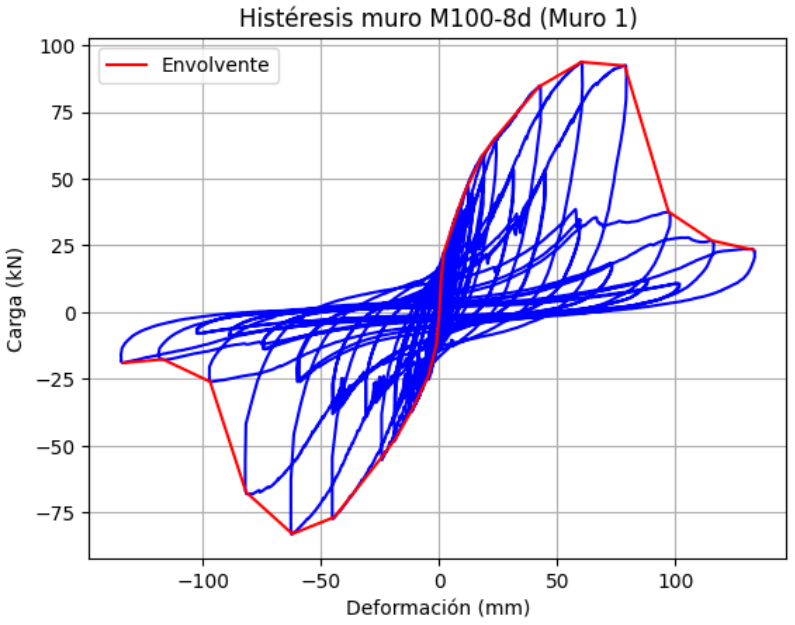


Figura N°4
CURVA DE HISTÉRESIS - TIPOLOGÍA: M100-8d (Muro 1)

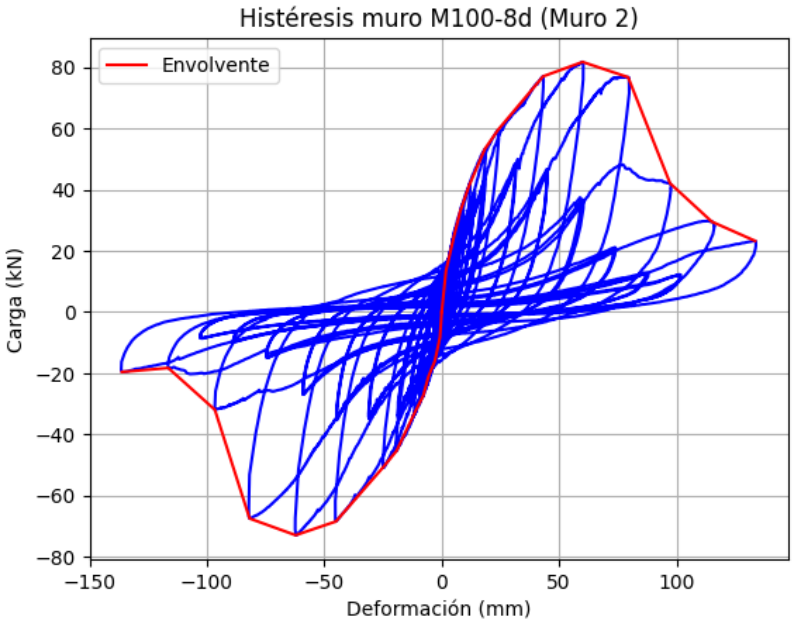


Figura N°5
CURVA DE HISTÉRESIS - TIPOLOGÍA: M100-8d (Muro 2)

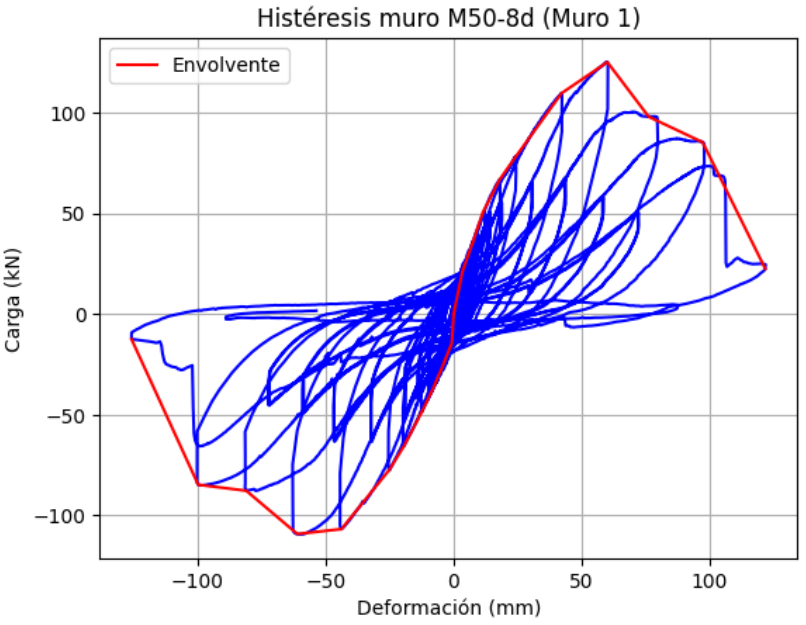


Figura N°6
CURVA DE HISTÉRESIS - TIPOLOGÍA: M50-8d (Muro 1)

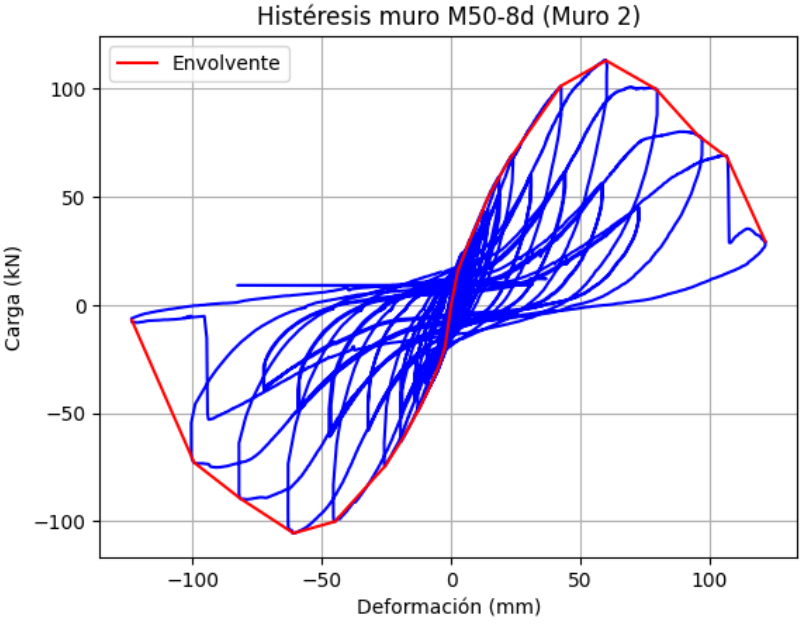


Figura N°7
CURVA DE HISTÉRESIS - TIPOLOGÍA: M50-8d (Muro 2)

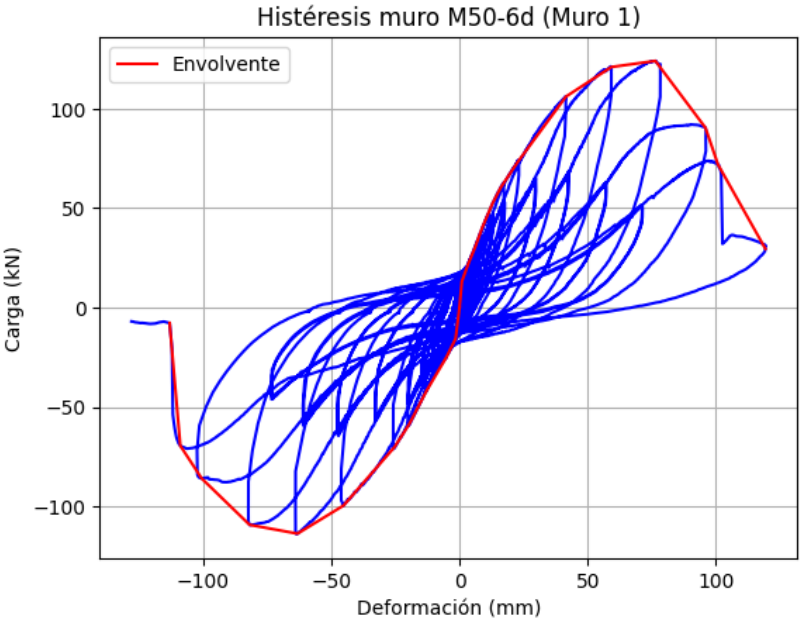


Figura N°8
CURVA DE HISTÉRESIS - TIPOLOGÍA: M50-6d (Muro 1)

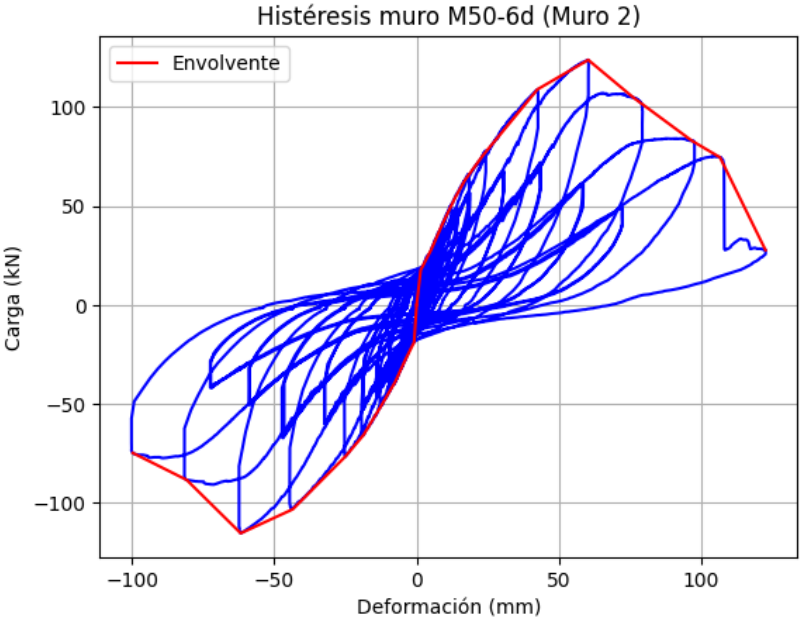


Figura N°9
CURVA DE HISTÉRESIS - TIPOLOGÍA: M50-6d (Muro 2)

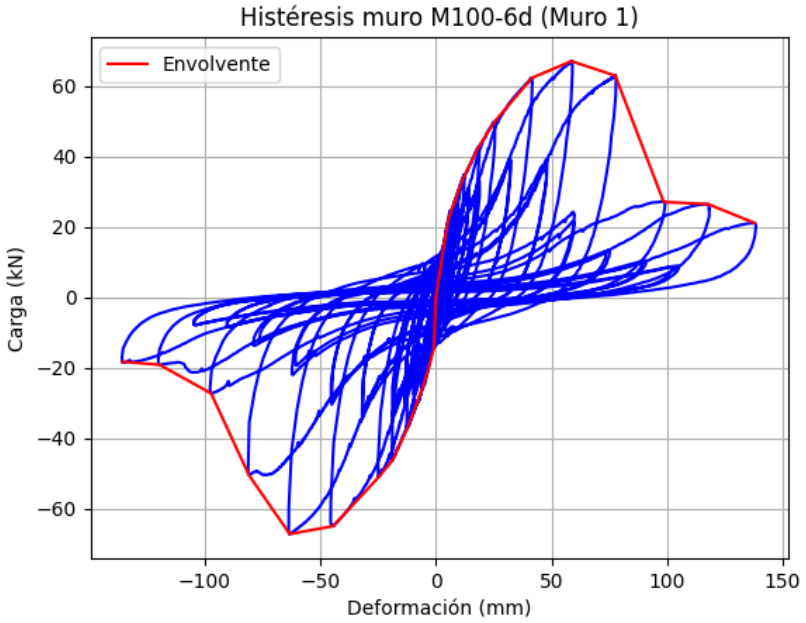


Figura N°10
CURVA DE HISTÉRESIS - TIPOLOGÍA: M100-6d (Muro 1)

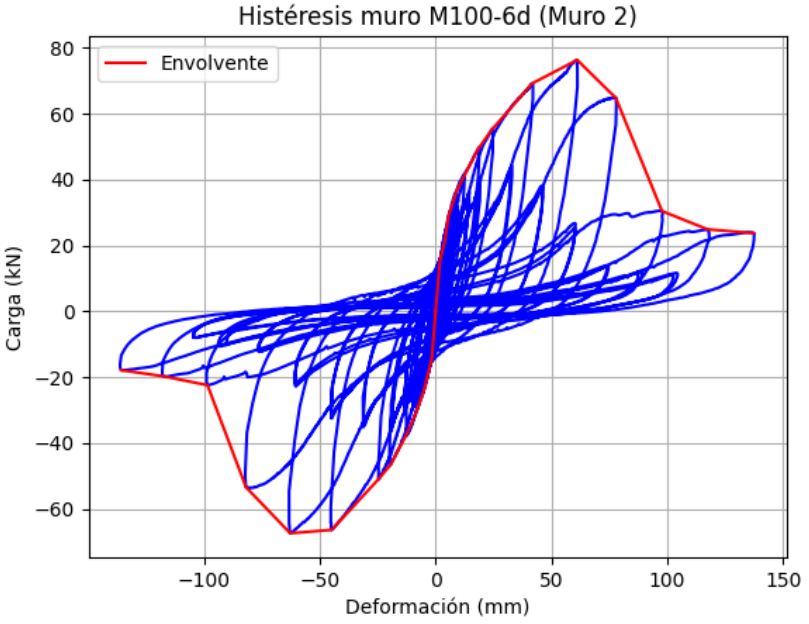


Figura N°11
CURVA DE HISTÉRESIS - TIPOLOGÍA: M100-6d (Muro 2)

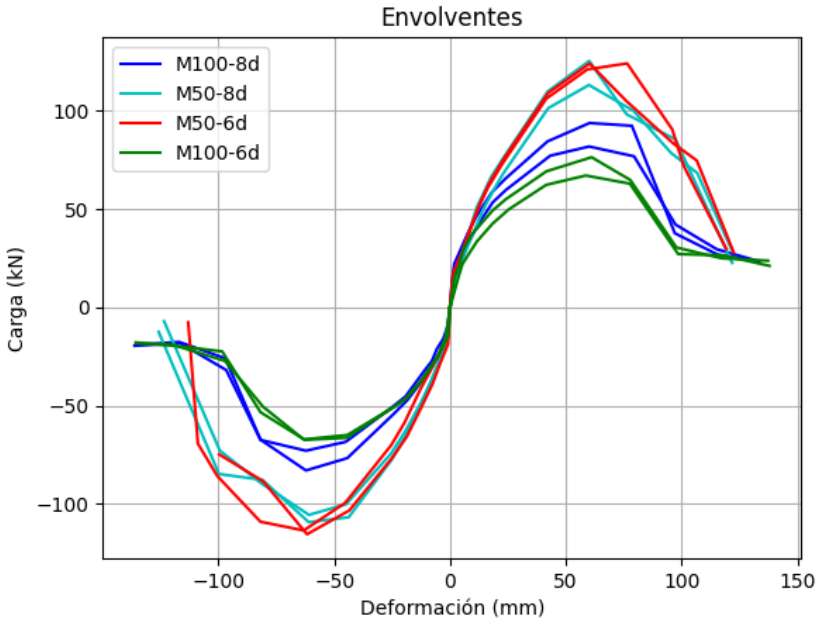


Figura N°12
ENVOLVENTES DETERMINADAS PARA LOS ENSAYOS EJECUTADOS



Figura N°13
FLUENCIA DEL CLAVO Y APLASTAMIENTO DEL TABLERO OSB



Figura N°14
DESPLAZAMIENTO RELATIVO ENTRE TABLEROS OSB



Figura N°15
DESCLAVADO DE PIE DERECHOS INTERMEDIOS

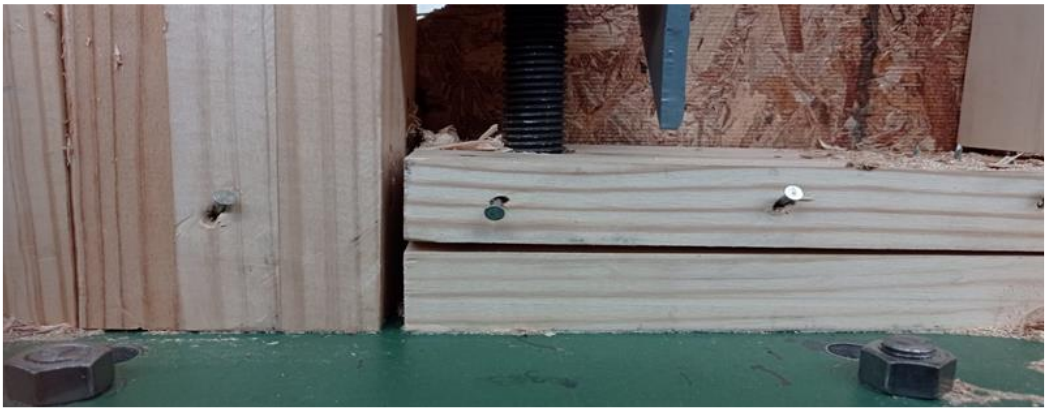


Figura N°16
SEPARACIÓN DE LAS SOLERAS

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El Cuadro N°4 registra los resultados de resistencia (Vs) y rigidez (Ga) de los ensayos de muros estructurales fabricados con madera aserrada estructural de pino radiata, grado estructural visual MGP10, arriostrados con tableros OSB de 9,5 mm de espesor, con 2 tipos de clavos y 2 espaciamientos de clavado perimetral. Los valores obtenidos fueron calculados de acuerdo a la NCh3537.

Para la resistencia a la carga lateral (Vs) se consideró un 40% de la carga máxima obtenida del ensayo, dividida por un factor ASD (*Allowable Stress Design*) igual a 2. En el caso de la

rigidez (Ga) se consideró la zona lineal entre el origen y el 40% de la “recta carga vs deformación” 40 de la envolvente promedio positiva para cada tipología. Se observa una coherencia respecto de la carga máxima asociada a un aumento el diámetro de clavo de un 7% y 9% para espaciamiento de clavado de 100 mm y 50 mm, respectivamente. También se evidencia que al disminuir el espaciamiento perimetral de clavado la capacidad de los muros aumenta en torno a un 28% para ambos tipos de clavo utilizados.

Respecto de la rigidez, no se observan diferencias significativas entre las tipologías ensayadas dado que las curvas de “carga versus deformación” en la zona inferior al 40% de la carga máxima tienden a sobreponerse entre ellas (Figura N°17).

Cuadro N°4
RESISTENCIA Y RIGIDEZ A CARGA LATERAL DE TIPOLOGÍAS DE MUROS ENSAYADAS

Tipo clavo	100		50	
	Vs (N/mm)	Ga (N/mm)	Vs (N/mm)	Ga (N/mm)
6d	7,3	1.976	10,2	1.981
8d	7,8	2.246	10,9	2.025

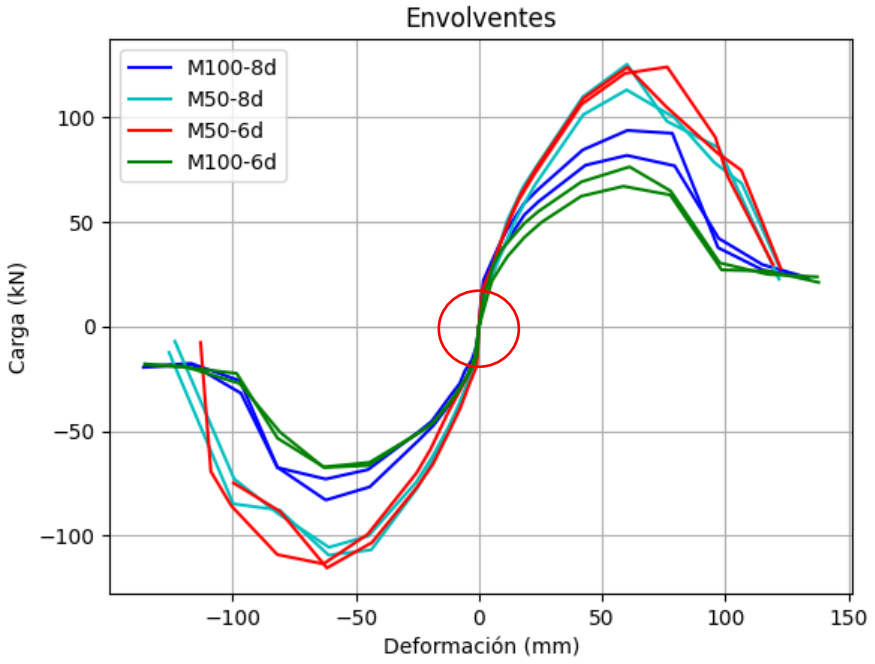


Figura N°17
ZONA DE DATOS CONSIDERADA PARA EL CÁLCULO DE LA RIGIDEZ

6. CONCLUSIONES

Para las tipologías de muros ensayadas, se observa que el mecanismo de falla se concentra en las uniones placa-madera. En ningún caso la falla se produjo por tensiones axiales de los pies derechos de borde. Además, se verifica que una mayor cantidad de clavos en el perímetro del tabique, combinado con un mayor diámetro de ellos, se traduce en una mayor resistencia a la carga lateral. No se evidenciaron diferencias en los mecanismos de falla al cambiar el tipo de clavo que vincula la placa OSB con el marco de madera.

Si bien las resistencias a la carga lateral presentan diferencias entre las tipologías ensayadas, estas no se logran apreciar claramente en su rigidez debido a que los datos utilizados para su cálculo tienden a sobreponerse para pequeñas deformaciones.

Los ensayos ejecutados mediante la norma NCh3537, con protocolo Curee, permiten caracterizar los muros considerando la componente de fatiga a las que serán sometidos a lo largo de su vida útil. Lo anterior es relevante considerando la naturaleza sísmica chilena.

7. REFERENCIAS

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

INN (2021). NCh 3537: Ensayo de carga cíclica (reversible) para la resistencia al corte de elementos verticales de sistemas de resistencia a la fuerza lateral de edificaciones - Método de ensayo. Instituto Nacional de Normalización, Chile.



INFOR

www.infor.cl