



CONCURSO

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

MEMORIAS, INVESTIGACIONES PATENTES,
PROYECTOS DE TÍTULOS

La VII Versión del Concurso, tiene como objetivo destacar a aquellos alumnos de las carreras de ingeniería y construcción civil que hayan desarrollado o se encuentren desarrollando memorias de título, proyectos de título, investigaciones o patentes en torno a la madera.



A decorative graphic on the left side of the slide. It features a series of concentric circles in a lighter shade of purple, centered in the upper-left quadrant. A thick white L-shaped line starts from the bottom of the circles and extends horizontally to the right, then turns vertically upwards, ending near the top of the text area.

EQUIPO ING5086

**Comportamiento Cíclico en
muro Híbrido de Innovación
con Madera Contralaminada
para Edificios de Mediana
Altura.**

Introducción

Bases de la investigación

En los países sísmicos, las configuraciones típicas de muros de corte de madera no tienen suficiente resistencia vertical para edificios de madera de altura media y alta. En Chile, el estándar de diseño estructural NCH433 fue desarrollado para construcciones de madera de baja altura.

Actualmente, en diferentes partes del mundo donde se construyen edificios de madera, se utilizan dos sistemas estructurales principales: edificios de marco de plataforma (Light Frame Timber Building, LFTB) y edificios de madera contralaminada (CLT).

El código chileno para el diseño sísmico de edificios considera para el material CLT un factor de reducción $R = 2$, lo que en términos prácticos implica que los edificios CLT responden como material elástico con ductilidad insignificante. Por lo tanto, es importante considerar nuevos diseños, para tratar de tener un alto factor de diseño sísmico R para la construcción con madera y un mejor comportamiento en relación a la ductilidad.

Antecedentes

Soluciones actuales de muros estructurales de madera

Muro de prueba		Longitud x Altura	Tipo	Espesor	Carga vertical	Resistencia lateral	Rigidez por unidad de longitud	Amortiguamiento viscoso equivalente	Desplazamiento último	Ductilidad ($\Delta u/\Delta y$)
[Referencia]	[Nombre]	[mm x mm]	[-]	[mm]	[kN/m]	Pmax [kN]	Ko [kN/mm/m]	ξ (%)	Δu [mm]	μ
(Guiñez et al.. 2019)	C240-10-02	2400x2400	LFTB	160	0	77.5	1.19	10.00	89.00	4.10
(Branco et al.. 2017)	DHC	1250x1950	LFTB	237	0	34.26	0.55	27.19	65.45	1.44
(Popovski et al.. 2011)	CA-SN-00	2300x2300	CLT	94	0	77.50	1.37	16.59	64.08	2.50
	CA-SN-02				10	34.26	1.92	14.00	66.80	3.74
	CA-SN-03				20	ATS	1.82	13.64	64.39	3.21
	CA-RN-04				20	1 ¾	2.73	10.15	55.24	3.87
	CA-S2-06				20	1.50	2.11	12.62	46.39	2.84
(Pozza et al.. 2014)	Wall A	2950x2950	CLT	85	18.5	100	1.61	10.57	90.00	4.48
(Hummel et al.. 2016)	W-CLT-St- 10	2500x2500	CLT+base de acero	105	10	87.3	1.76	10.30	54.00	3.03
	W-CLT-Ti- 10	2500x2500	CLT+base de madera	105	10	63.2	1.56	8.40	78.50	5.49
(Kho et al.. 2018)	Wall 8	3600x2400	Marco de acero+plywoo d	254	0	242	1.83	-	160.00	7.60

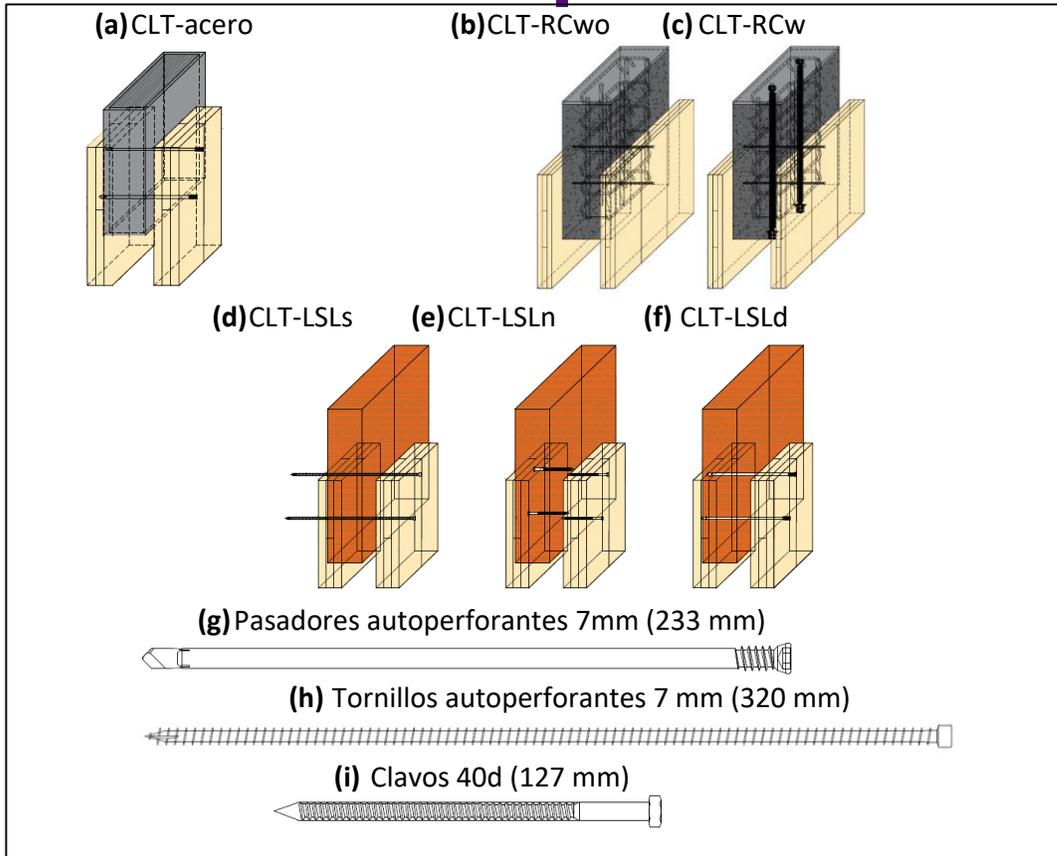
Fases del Proyecto: FASE 1

La prueba de concepto y desarrollo se realizo en 3 fases.

FASE 1

- El comportamiento del muro se valida a nivel de la conexión del marco-panel (CLT-acero) mediante pruebas de corte monotónicas y cíclicas según EN12512. Estas conexiones disipan aproximadamente el doble de energía que otros tipos de conexiones (Carrero et al., 2020).
- Las conexiones fueron modeladas con el modelo de histéresis Stewart modificado (MSTEW), que ha demostrado resultados muy precisos para modelar conexiones de madera convencionales. Todas las conexiones probadas proporcionaron no solo una mayor resistencia en comparación con las conexiones de madera convencionales, sino también una capacidad de deformación inelástica mucho mayor.
- La conexión CLT-Steel con un tipo de conector (pasadores autoperforantes de acero) obtuvo la mayor rigidez y ductilidad en los resultados experimentales en comparación de las otras conexiones ver la siguiente diapositiva.

Conexiones para muros híbrido (CLT-acero)



- ✓ Ductilidad
- ✓ Deformación inelástica
- ✓ Resistencia lateral

Figura 1. Falla dúctil después de la fatiga de los pasadores en la conexión CLT-acero.

Fases del Proyecto: FASE 2

FASE 2

- Diseño y ensayo del sistema de muro FPSW a escala real de 2.4 x 2.4 m bajo carga lateral cíclica. Modelo numérico del muro con el programa MCASHEW presentado en Pang et al., (2007).
- El método EN 12512 se utilizará para realizar el protocolo cíclico a una velocidad de 0.1 mm/seg en los muros (FPSW) mediante el uso del marco rígido JIKA.
- En esta investigación, se utilizaron quince canales del sistema de adquisición de datos (hardware externo CATMAN) para tomar lecturas en los muros.
- Se emplea el estándar para pruebas cíclicas EN 12512 para muros de corte FPSW en un total de 128 pasadores autoperforantes de $\varphi 7$ mm y 6 conexiones mecánicas articuladas de acero ($\varphi 38$ mm). Todos los especímenes de madera estaban hechos de CLT fabricados de tableros de Pinus radiata chilenos de 20x150 mm en sección transversal y clase de clasificación C24 según EN1995 en la planta de fabricación de Forestal Tricahue Ltda., Coronel, Chile. Se compara el cálculo de ductilidad con la ASTM E2126.

Diseño de la solución muro híbrido FPSW

Desarrollo constructivo

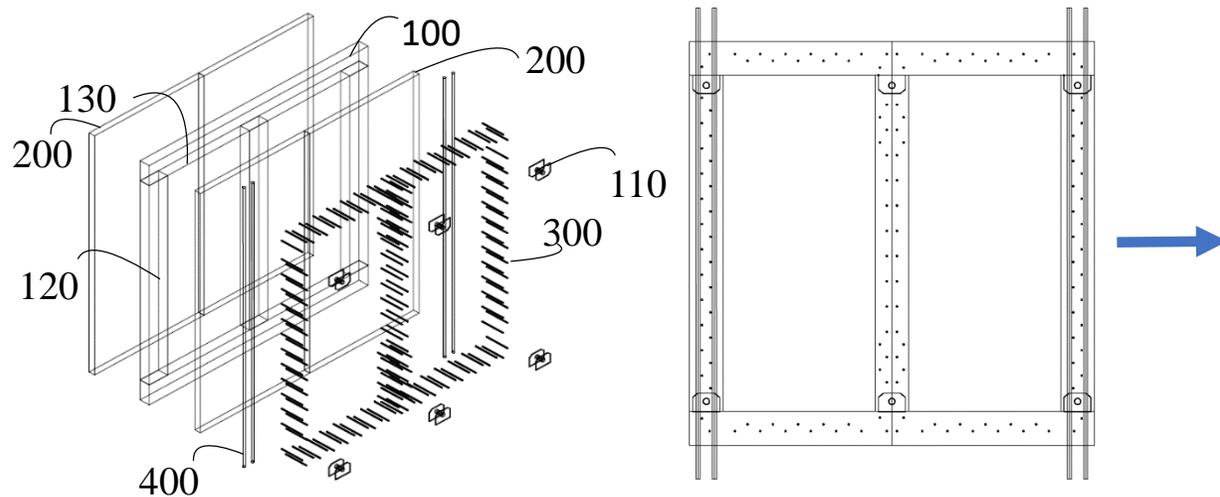


Figura 2. Isometría esquemática del muro de corte de CLT-acero (FPSW).

El muro consta de:

- Marco interior (100)
- Paneles de madera CLT (200)
- Nodos articulados (110)
- Conectores individuales (300)
- Columnas (120)
- Barras postensadas (400)
- Vigas (130)

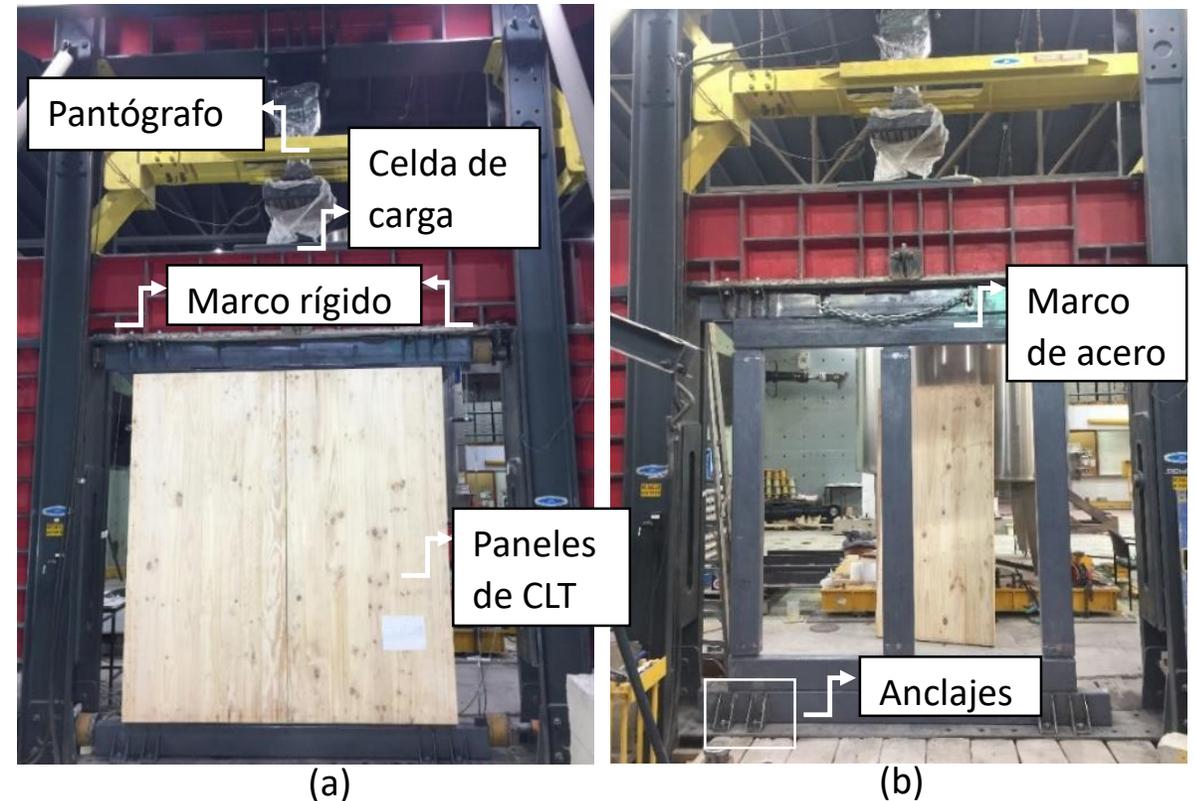


Figura 3. Detalles de la configuración del muro FPSW (a) Ensamble de los paneles de CLT (b) Ensamble del marco de acero.

Ensayo de la solución muro híbrido FPSW

Configuración del ensayo

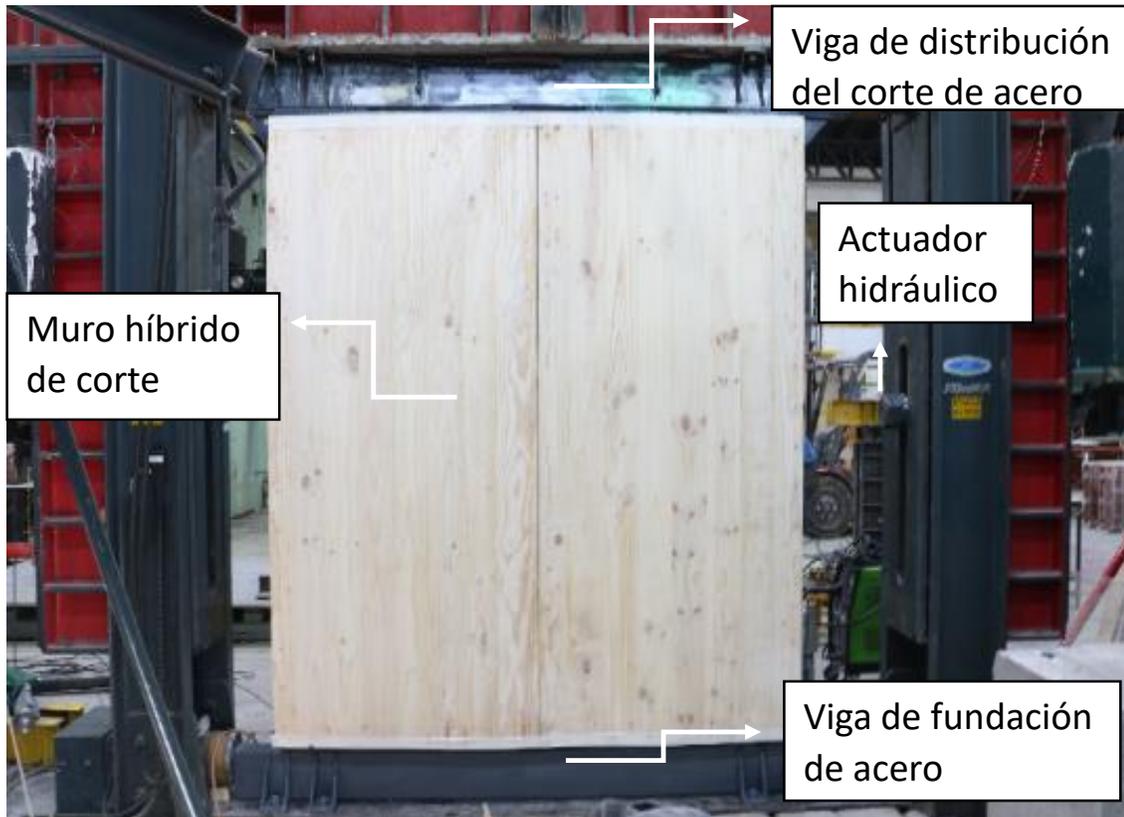
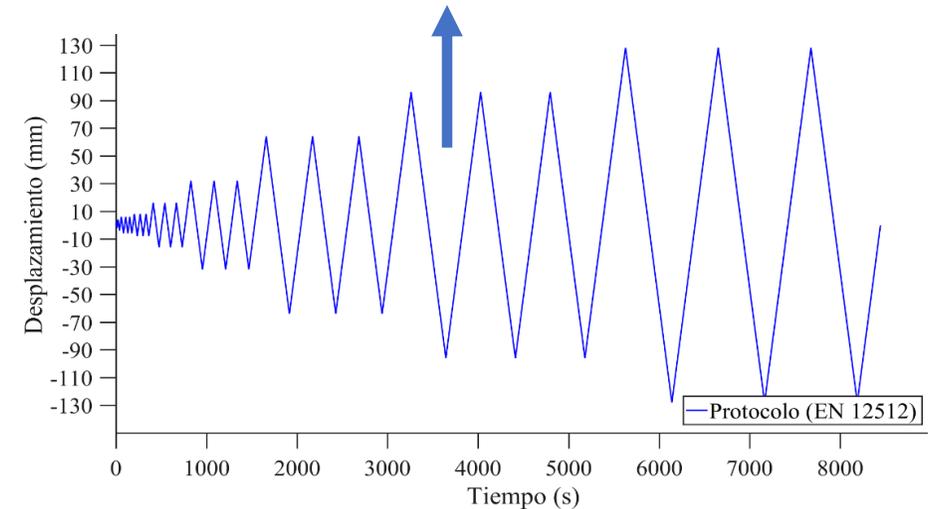
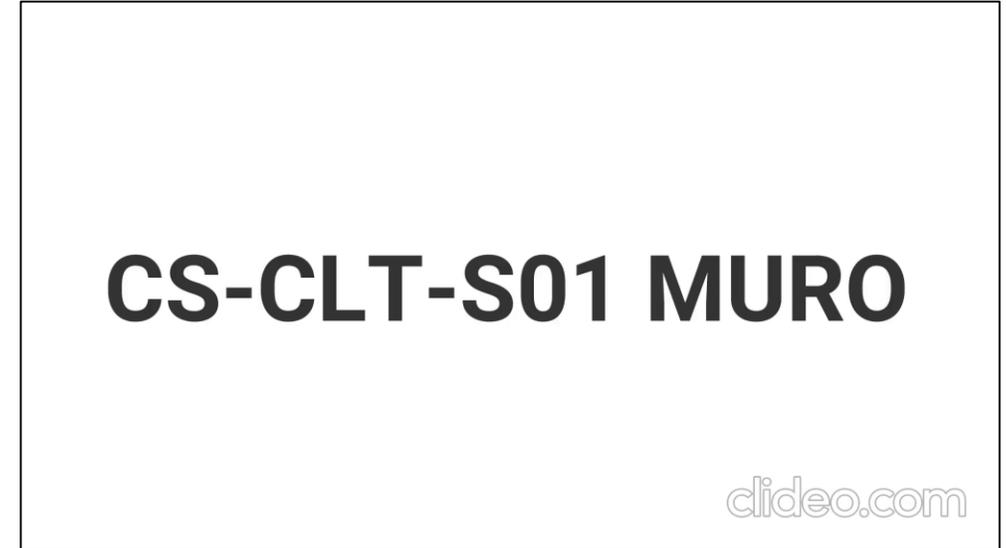


Figura 4. Fotografía frontal de la configuración del muro de ensayo FPSW.



Resultados de la solución muro híbrido FPSW

Ejecución del ensayo, modos de falla y resultados



Figura. Ilustración del muro FPSW (a) instrumentación del muro (b) el ciclo final del ensayo cíclico en el marco rígido JIKA.

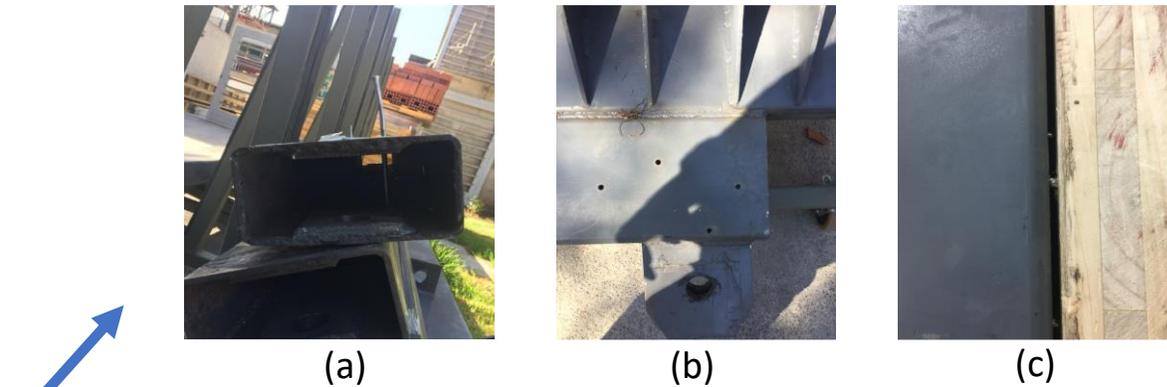


Figura 15. (a) marco de acero con los conectores donde se muestra comportamiento dúctil. (b) No aplastamiento en el perfil de acero (c) tendencia a salir de los pasadores.

Tabla. Resultados del muro (FPSW)

Muro	$F_{max.}$ (kN)	Δ_{max} (mm)	Δ_u (mm)	Δ_y (mm)	F_y (kN)	K_0 (kN/mm)	Disipación de energía	Ductilidad	ξ_{eq}^M (%)
Según EN 12512									
FPSW (CLT- acero)	219.90	63.00	96.53	20.00	181.00	9.05	Por ciclos	4.83	12.5
Según ASTM E2126									
FPSW (CLT- acero)	219.90	63.00	82.70	20.17	190.57	9.45	Por ciclos	4.10	12.5

Resultados de la solución muro híbrido FPSW

Calibración entre modelo y datos experimentales, comparación de soluciones estructurales de madera

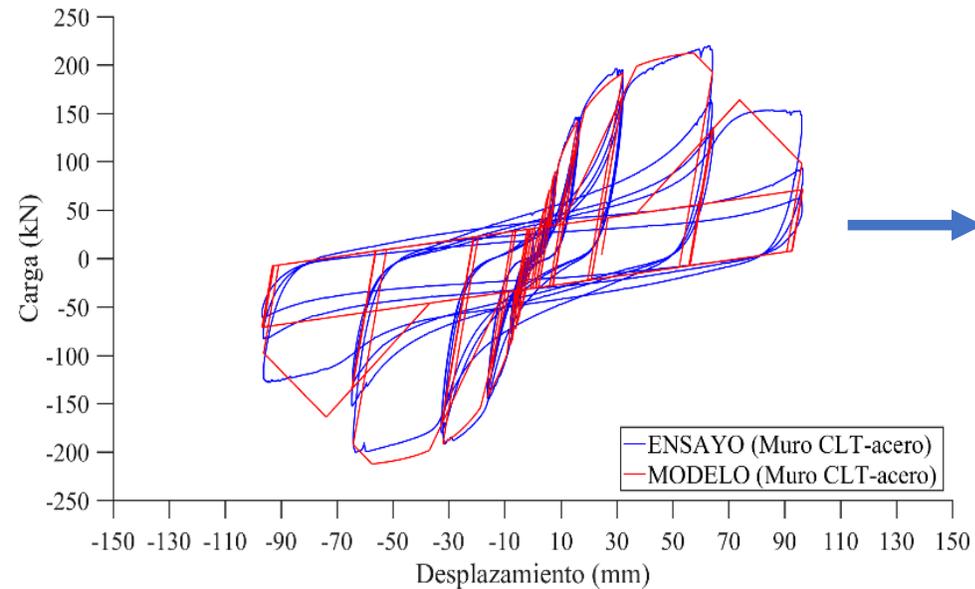


Figura 5. Detalle de la curva de histéresis del ensayo y la correspondiente curva numérica proveniente de MSTEWfit del muro FPSW (CLT-acero).

Parámetro	Muro híbrido (FPSW)
K_0 (kN/mm)	14.3402
r_1 (-)	6.86E-10
r_2 (-)	-0.20637
r_3 (-)	1.1793
r_4 (-)	0.02896
F_0 (kN)	217.3023
F_i (kN)	30.8793
Δu (mm)	57.5113
α (-)	1
β (-)	1.1607
CEE (error de ajuste, %)	4.491

Los principales hallazgos en esta comparación de curvas de histéresis es la notable mejora en resistencia lateral generada por la composición híbrida del muro FPSW, que representa al menos dos veces mayor que los otros muros (LFTB y CLT). También la rigidez es mayor claramente en el gráfico en relación con LFTB y CLT convencional.

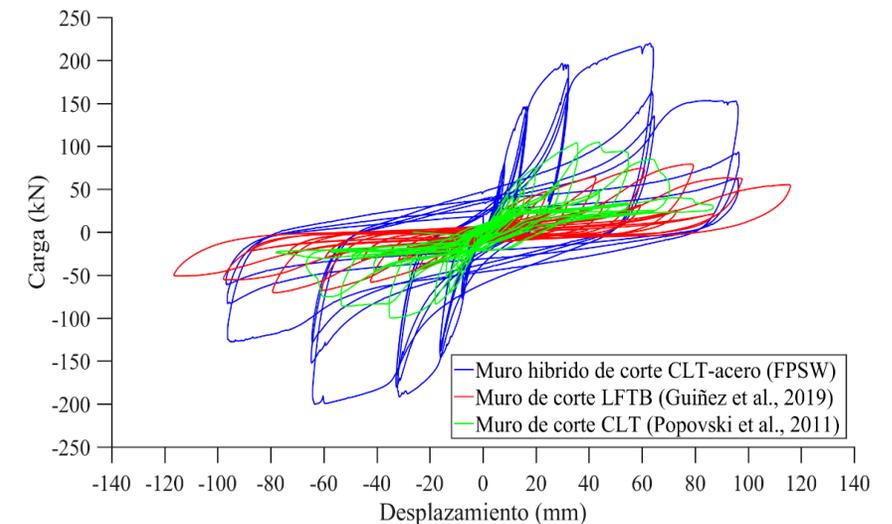


Figura 6. Comparación de las curvas de histéresis de los ensayos cíclicos de diferentes muros estructurales de madera (CLT, LFTB y FPSW).

Fases del Proyecto: FASE 3

FASE 3

- Modelar un edificio real de 6 y otro de 10 pisos, mediante un análisis modal espectral de acuerdo con lo especificado en NCH433 y Rossi et al., (2016). En el edificio de 6 Y 10 pisos, se observa que se requieren 1/3 de los muros, lo que permite reducir drásticamente los costos. El diseño del edificio de 6 y 10 pisos con esta tipología nueva de muros muestra que es factible construir en esa altura.
- Para incorporar el muro probado (FPSW), fue necesario obtener su rigidez, que debe obtenerse con una carga del 40% de la carga final. La rigidez obtenida fue de 10 kN/mm, y de acuerdo con lo anterior, esto incluye la rigidez a la flexión del marco, la resistencia al cizalle de los tableros de CLT y los pasadores autoperforantes.
- En el diseño preliminar con muros FPSW correspondientes al modelo edificio de 6 pisos (en suelo C y zona 2) y el edificio de 10 pisos (en suelo D y zona 3) mediante el código chileno NCH433 cumplió con los límites de deriva y corte para el análisis modal.

Modelación del edificio para 6 y 10 pisos con el muro híbrido FPSW

Consideraciones de diseño y resultados

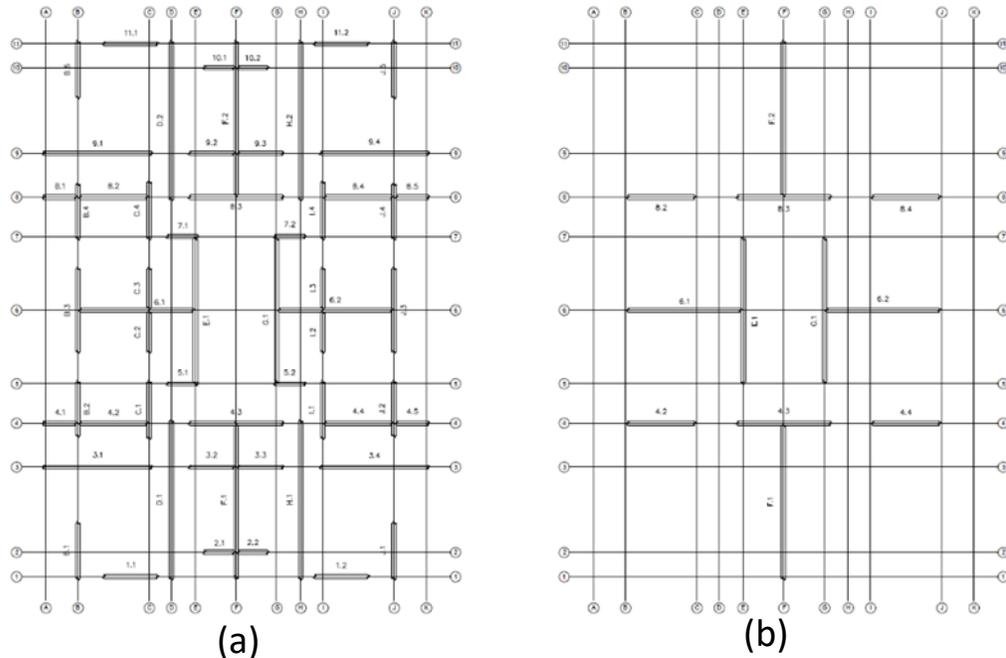


Figura 7. Vista en planta de la distribución del piso y densidad de muros del edificio con (a) marco-plataforma (LFTB) todos los muros (b) muros FPSW con algunos muros.

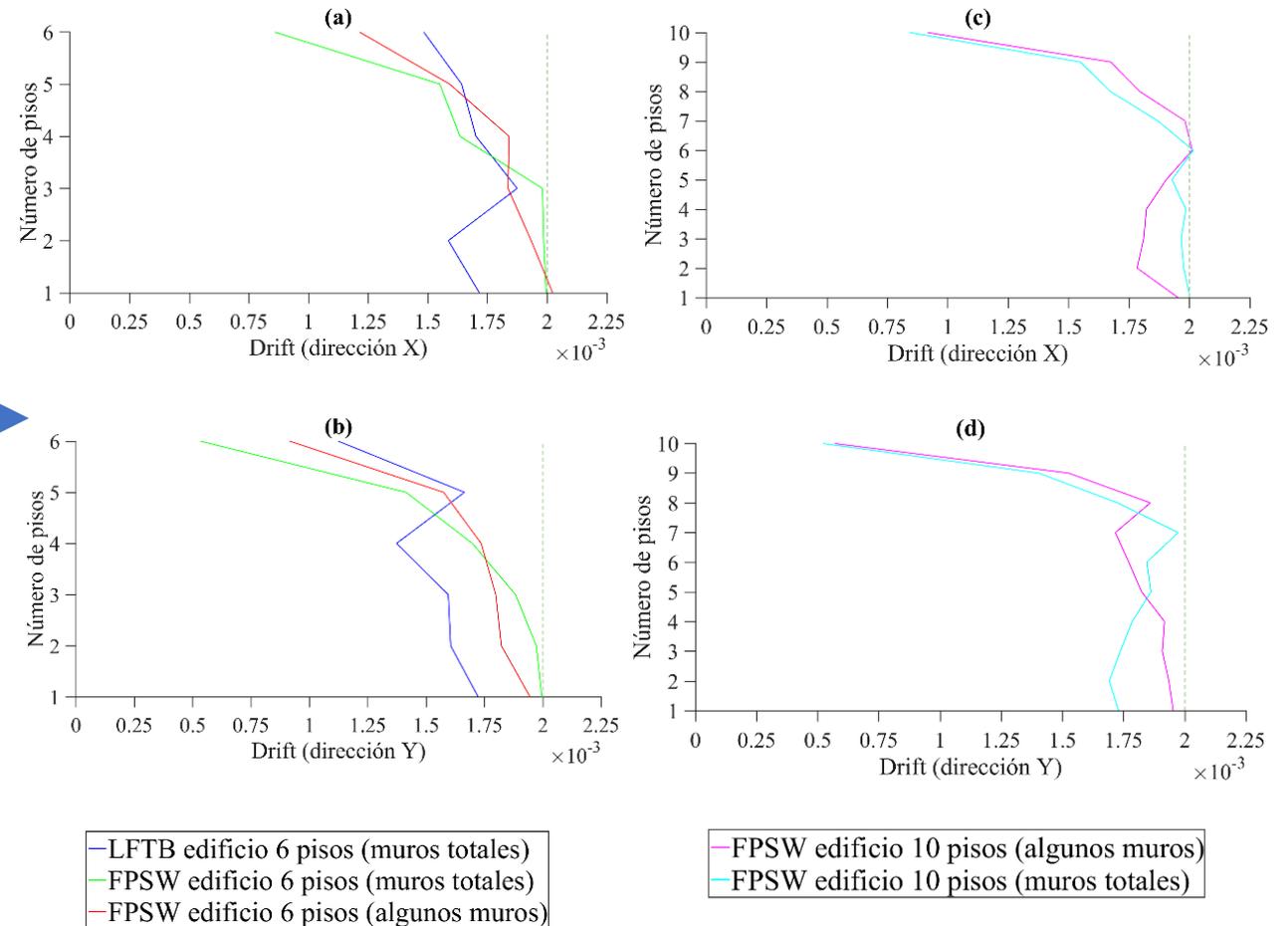


Figura 8. Requerimientos límites de drifts según [1].

Conclusiones

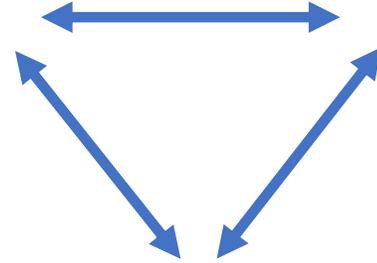
- El equipo de investigación de este trabajo ha logrado una capacidad lateral, de rigidez y ductilidad mucho más resistentes utilizando un nuevo sistema lateral basado en un marco robusto y paneles laterales CLT junto con barras postensadas de acero. En términos generales, se observa un buen acuerdo entre la prueba y los resultados del modelo.
- Los principales hallazgos en esta comparación de curvas de histéresis es la notable mejora en resistencia lateral generada por la composición híbrida del muro FPSW, que representa al menos dos veces mayor que los otros muros (LFTB y CLT). También la rigidez es mayor claramente en el gráfico en relación con LFTB y CLT convencional.
- Entre las importantes ventajas logradas con el sistema propuesto, está la reducción en el número de muros estructurales requeridos en los proyectos. Los resultados indicaron que los muros cumplen con los requisitos de la norma nacional para el diseño de edificios sísmicos NCH433 para 6 y 10 pisos. Este diseño indica que es posible reducir el número de muros en un 63% y un 73% en edificios de 6 pisos del sistema FPSW.

Bibliografía

- [1] Instituto Nacional de Normalización. NCh 433. Of96: Diseño Sísmico de Edificios. Norma Chilena Oficial; 2009.
- [2] Guíñez, F., Santa María, H., & Almazán, J. L. Monotonic and cyclic behaviour of wood frame shear walls for mid-height timber buildings;2019. Engineering Structures, 189, 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.043>
- [3] Branco, J. M., Matos, F. T., & Lourenço, P. B. Experimental In-Plane Evaluation of Light Timber Walls Panels. Buildings;2017;7;63. <https://doi.org/10.3390/buildings7030063>
- [4] Popovski, M.m Karacabeyli, E., Ceccotti, A. CLT Handbook - Cross laminated timber. Chapter: Seismic performance of cross-laminated timber buildings. FPIInnovations, 2011.
- [5] Pozza, L., Scotta, R., Trutalli, D., Pinna, M., Polastri, A., & Bertoni, P. Experimental and Numerical Analyses of New Massive Wooden Shear-Wall Systems. Buildings;2014.<https://doi.org/10.3390/buildings4030355>.
- [6] Hummel, J. Displacement-based seismic design for multi-storey cross laminated timber buildings; 2016. Kassel University. <https://doi.org/10.19211/KUP9783737602891>
- [7] Kho, D., Dong, W., Li, M., & Lee, C.-L. Cyclic behaviour of timber-steel hybrid shear walls; 2018. NZSEE Conference.
- [8] Carrero, T., Montaña, J., Santa-María, H., & Guindos, P. Static and dynamic performance of direct hybrid connections of cross-laminated timber with steel, concrete and laminated strand lumber composites. Latin American Journal of Solids and Structures;2020.
- [9] European Committee for Standardization (CEN) EN 12512:2001/A1:2005. Timber structures–Test Methods – Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners. European Committee for Standardization CEN;2013. 123 p.
- [10] ASTM International. ASTM E2126-19: Standard test methods for cyclic (reversed) load test for shear resistance of vertical elements of the lateral force resisting systems for buildings; 2019. West Conshohocken, PA, USA.
- [11] Pang, W., Rosowsky, D., Pei, S., & Van De Lindt, J. W. Evolutionary Parameter Hysteretic Model for Wood Shear Walls;2007. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-94452007133:81118>

Agradecimientos

Centro UC
de Innovación
en Madera



**Proyecto FONDECYT
11170863**

Esperamos verlos en Santiago



www.wcte2020.com

contact@wcte2020.com