Evaluación no destructiva de muros CLT en servicio mediante análisis modal y modelación numérica

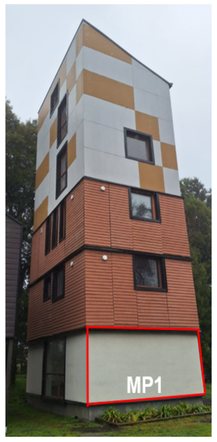
La madera contralaminada (CLT) se ha consolidado como una alternativa sostenible en la construcción, combinando eficiencia estructural y beneficios medioambientales. No obstante, sus propiedades elásticas, fundamentales para su desempeño, pueden verse alteradas por la humedad, el envejecimiento y la acción sísmica. Evaluarlas en servicio, sin intervenir ni dañar la estructura, es clave para un diagnóstico fiable.

En este trabajo se emplean mediciones de vibración in situ (EMA y OMA) junto con un modelo numérico simplificado para estimar el módulo de elasticidad global de un muro de CLT en condiciones reales, proponiéndolo como indicador de su estado estructural.

METODOLOGÍA

Caso de estudio:

Se evalúa un muro de la Torre Pymelab, ubicada en la Universidad del Bío-Bío. El muro es de CLT en pino radiata, grado estructural C16, con un espesor de 165mm, de 5 capas.



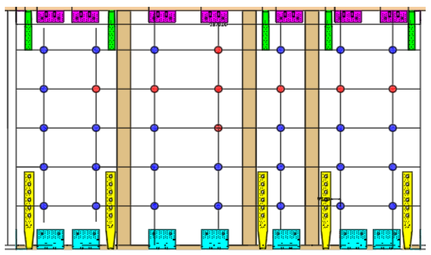
Torre Pymelab
Edificio construido 100% en CLT.

Muro evaluado in situ MP1
Descubierto por el interior

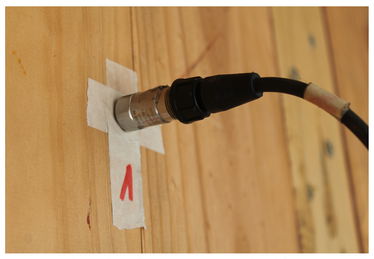
Muro MP1 en estudio.

Mediciones experimentales:

El muro en estudio se somete a análisis modal de impacto, a través de una grilla de medición de 5x7. Se consideran 7 acelerómetros piezoeléctricos cerámicos modelo 603C01. Se utiliza un martillo de impacto modelo DJB IH/20.



Esquema grilla de medición.

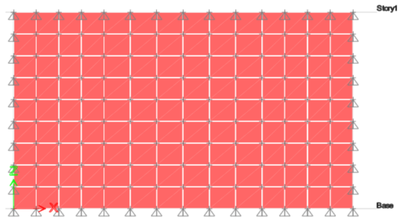


Acelerómetro medición.

Modelación numérica:

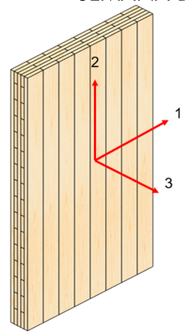
Se desarrolló un modelo numérico simplificado del muro en estudio utilizando ETABS, el que fue sometido a una serie de simulaciones.

Condición de contorno: Simplemente apoyado en todo el perímetro.
Panel de CLT: Elemento Shell material isotrópico con factores de modificación para incorporación ortotropía del CLT, según indicaciones U.S. Mass Timber Floor Vibration Design Guide (WoodWorks, 2023)
Variación del módulo de elasticidad: Se consideró un rango de 3852MPa a 13372 MPa.
Muestreo y simulaciones: Se generaron 700 simulaciones mediante un muestreo de Sobol, variando el módulo de elasticidad dentro del rango indicado. Posteriormente, las simulaciones fueron ejecutadas automáticamente a través de la API de ETABS.



Modelo numérico muro en estudio

Orientación	Factor de modificación de propiedades	
Axial en eje débil	f11	0.420
Axial en eje fuerte	f22	0.613
Corte en el plano	f12	0.018
Flexión en eje débil	m11	0.807
Flexión en eje fuerte	m22	0.448
Torsión fuera del plano	m12	0.018
Corte fuera del plano en eje débil	v13	0.018
Corte fuera del plano en eje fuerte	v23	0.018

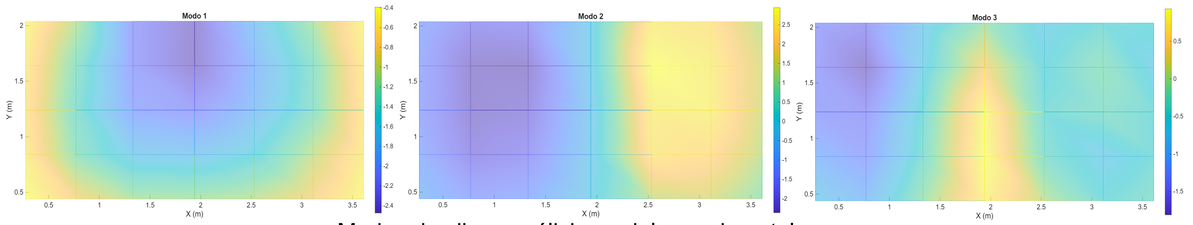


RESULTADOS

Análisis modal:

Se identificaron las tres primeras frecuencias naturales del muro de CLT mediante OMA y EMA. Las diferencias entre ambos métodos fueron menores al 1% en f_1, evidenciando alta coherencia en las mediciones.

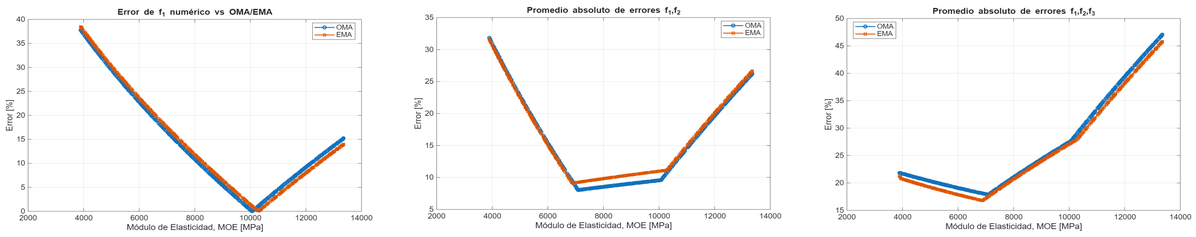
Método	OMA	EMA
f1 (Hz)	39.90	40.34
f2 (Hz)	49.25	48.52
f3 (Hz)	57.95	59.41



Modos de vibrar análisis modal experimental.

Simulaciones:

El MOE óptimo cambia según los modos incluidos: con solo f_1 es ≈10 100 MPa, mientras que al considerar f_2 y f_3 baja a ≈7 100 MPa. Esto muestra que usar solo el primer modo tiende a sobreestimar la rigidez, mientras que incluir más modos entrega valores cercanos a los 7 900 MPa establecidos por la NCh1198 para madera C16, siendo más representativos del comportamiento real del muro.



Conclusiones:

- La evaluación in situ con OMA y EMA, junto con la modelación numérica, permitió determinar el módulo de elasticidad global de un muro de CLT en condiciones reales de servicio.
- Al considerar solo f_1, el MOE obtenido fue cercano a **10 100 MPa**, mientras que incluyendo f_2 y f_3 disminuyó a alrededor de **7 100 MPa**, valor muy próximo a los 7 900 MPa establecidos por la NCh1198 para madera C16.
- Esto confirma que usar únicamente el primer modo tiende a sobreestimar la rigidez, mientras que considerar más modos entrega resultados más representativos del comportamiento real.
- La combinación de mediciones de vibración y modelación simplificada se presenta como una herramienta confiable y no destructiva para evaluar la salud estructural de muros de CLT.
- Esta investigación se encuentra en curso, posteriormente se trabajará en modelos numéricos más sofisticados que incluyan las rigideces de las uniones en los bordes y entre paneles.