

# Bases técnicas para la inclusión de losas industrializables de baja huella de carbono en la normativa chilena

---

*Proyecto co-financiado por el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico FONDEF*

# Bases técnicas para la inclusión de losas industrializables de baja huella de carbono en la normativa chilena

*Proyecto co-financiado por el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico FONDEF*

## Introducción

En el marco del proyecto “Bases técnicas para la inclusión de losas industrializables de baja huella de carbono en la normativa chilena”, co-financiado por el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico FONDEF, el Centro de Innovación en Madera CIM UC actualmente lleva a cabo desde diciembre del año 2020 a realizado un exhaustivo trabajo de investigación para desarrollar las herramientas metodológicas para un adecuado detallamiento y diseño de losas de entrepiso industrializadas de baja huella de carbono, empleando a la madera como material predilecto debido a sus notables beneficios para con la sustentabilidad de la construcción (Börjesson & Gustavsson, 2000; Gustavsson, Pingoud, & Sathre, 2006).

## Contexto Actual

Resulta urgente solucionar el déficit habitacional de 739 mil viviendas que afecta hoy al 12% de la población nacional (2,2 millones de personas), dentro de la cual un 72% son familias de bajos ingresos elegibles para subsidios públicos.

La productividad de la construcción disminuyó en los últimos 20 años a un -3%, mientras que la demanda habitacional se encuentra al alza en un 5% anual. Se requiere de manera imperiosa un incremento de productividad en la construcción, cuya solución más drástica es industrializar procesos.

La tarea más crítica dentro de esta opción consiste en industrializar losas, ya que este procedimiento exige un mayor tiempo de ejecución y es uno de los procesos más ineficiente en la obra.

Actualmente, el 80% de las viviendas en Chile son de hormigón o madera, pero la industrialización no supera 0,5% de uso.

## Propuesta

El equipo de Investigación de CIM UC busca derribar barreras del sector a través del desarrollo de bases científicas y tecnológicas de losas industrializables de madera y hormigón-madera. De este modo, apunta a caracterizar el desempeño sísmico de losas industrializadas mediante ensayos monotónicos de corte a escala real, empleando dicha información para validar un modelo numérico que permita proponer una metodología de cálculo lateral simplificada.

- Caracterización desempeño flexional, de losas industrializadas mediante ensayos de flexión, métodos no destructivos de vibración (NDT) y medición de deflexiones a largo plazo (creep), para validar los correspondientes modelos numéricos y proponer una metodología de diseño gravitacional adecuada.
- Evaluar experimentalmente el desempeño cíclico de uniones losa-muro y su constructibilidad, con el fin de definir condicionantes críticos de diseño que aseguren un ensamblaje rápido, y no produzcan efectos de amplificación dinámica bajo la acción sísmica.
- Asegurar la aplicabilidad de losas industrializadas, certificando el desempeño térmico-acústico-fuego de aquellas soluciones cuyo desempeño no sea de dominio público.
- Transferir los resultados estableciendo una mesa de trabajo con la DITEC e industria para planificar el proyecto de norma requerido.

## Objetivos:

El objetivo principal de este programa es verificar la respuesta de diferentes soluciones de losa que emplean materiales y técnicas de construcción locales frente a cargas sísmicas laterales, permitiendo un mejor entendimiento de valores de capacidad, rigidez, y ductilidad del entrepiso en su plano. De esta manera, se desarrollan las bases técnico-científicas para una futura propuesta de normativa de diseño, con el afán de promover un uso extendido de las soluciones de losas de madera en edificaciones de mediana y gran altura en Chile.

## Desarrollo de la Investigación:

### a) Ensayos experimentales de losas industrializadas de madera

Bajo la acción de cargas sísmicas, las losas de entrepiso cumplen la función estructural de transferir las cargas de corte lateral a los distintos muros portantes de la estructura, así como hacia el núcleo resistente central (en caso de haberlo). Esta premisa obliga a que el diseño de las losas de entrepiso, además de ser suficiente para soportar las fuerzas verticales ocasionadas por cargas vivas y muertas, verifique la capacidad de dichos elementos para soportar esfuerzos de considerable magnitud dentro de su plano sin

presentar fallos frágiles ni deformaciones excesivas que comprometan el desempeño sísmico de las edificaciones.

Debido a las particulares características de la sismicidad chilena, donde las fuerzas ocasionadas por acciones sísmicas controlan el diseño lateral de edificaciones de mediana y gran altura (Estrella, 2020), el dimensionamiento de los diafragmas y losas de entrepiso debe tomar en consideración las altas demandas de rigidez y capacidad provenientes desde el sistema estructural, a fin de desarrollar una solución constructiva que permita un comportamiento dúctil bajo acciones sísmicas de baja probabilidad de excedencia y alto periodo de retorno.

Como parte de la metodología de trabajo, actualmente se desarrolla una extensa campaña experimental para estudiar el comportamiento de diferentes configuraciones de losas de entrepiso frente a carga de corte *in-plane* como aquellas esperadas durante acciones sísmicas. De esta manera, es posible obtener resultados de resistencia, rigidez, y mecanismos de falla para soluciones de producción local que empleen material y mano de obra chilena. Esto es relevante dentro del contexto de la industrialización, puesto que las soluciones comúnmente ensayadas e investigadas en la literatura actual no son compatibles con las prácticas locales en términos de detallamiento, materiales, y técnicas constructivas. Por ello, el desarrollo de esta campaña experimental se planteó junto con la contribución de actores industriales (ingenieros, calculistas, y obreros) de modo que el trabajo en laboratorio refleje la realidad del mercado inmobiliario local chileno.

## **b) Matriz de ensayos**

Con el objetivo de estudiar las losas de entrepiso más representativas del mercado local chileno, se realizó un análisis detallado de los principales requerimientos estructurales en términos de capacidad y rigidez para losas industrializadas de madera en edificios de mediana altura en zonas de alta sismicidad. En base a los resultados obtenidos, se desarrolló una matriz de ensayos que cubre las distintas necesidades a nivel ingenieril en razón de losas de entrepiso, tal que se cumplan los requerimientos de diseño tanto de capacidad como de rigidez para edificaciones en Chile. Dicha matriz considera diferentes configuraciones de losas de entrepiso, que cumplen con las necesidades estructurales y constructivas de la industria local. Además, considera el uso de diferentes paneles estructurales de recubrimiento tales como *Oriented Strand Board* (OSB) o *ply-wood* (PLY), así como busca analizar el efecto de paneles no-estructurales tales como el uso de yeso cartón, comúnmente instalados en losas de entrepiso para cumplir los requerimientos de protección al fuego. Por otro lado, se consideran dos distintos tipos de elementos de madera para la construcción del marco: (1) vigas simples de madera aserrada, y (2) vigas tipo I-Joist. Esto último con el fin de proveer distintas soluciones en términos de la luz máxima a cubrir por el entramado sin contar con la presencia de columnas. Finalmente, la matriz de ensayos propuesta considera el estudio de soluciones en CLT (*Cross Laminated Timber*) como una alternativa para requerimientos estructurales de alta resistencia.

### c) Materiales

Todas las probetas en investigación poseen dimensiones nominales de 3600x2400 mm con el objetivo de analizar una relación de aspecto igual a 1.5:1, representativa para análisis experimentales de losas de entramado ligero bajo cargas laterales de corte. Para el caso de las probetas de entramado ligero, se emplean vigas de madera aserrada de dimensiones 41x185 mm espaciadas a 407 mm al centro. Para las cuerdas y colectores en los bordes, se emplearon vigas triples con tres elementos de 41x185 mm. En la dirección larga de la probeta (3600 mm) se instalaron empalmes metálicos en las cuerdas de borde, debido a la inexistencia de vigas de madera aserrada comerciales de dicha longitud, tal como se observa en la Figura 1. Para el caso de las probetas con vigas I-Joist, se emplearon elementos de 241 mm espaciados a 400 mm, y vigas de borde tipo LSL de dimensiones 89x241 mm.



**Figura 1.** Marco de entramado ligero y vigas aserradas 41x185 mm.

Para garantizar un correcto comportamiento de las esquinas del entramado, se instalaron ángulos de acero de rigidización con pernos 7/8, tal como se observa en la Figura 2. De este modo, se garantiza una correcta transmisión de esfuerzos entre las cuerdas y colectores, tomando en consideración las dimensiones de las probetas. Para el recubrimiento se emplearon tableros de OSB y PLY de espesores 11 mm y 15 mm acorde a las costumbres constructivas locales y las disposiciones de las directrices americanas SDPWS (American Wood Council, 2015), fijados al entramado con clavos estándar tipo 6d, 8d, y 64x2.87 mm.



**Figura 2.** Ángulo de acero en esquina cuerda/colector.

#### **d) Configuración de los ensayos**

Se desarrolló una configuración de ensayo de 4 puntos para todas las probetas tal como lo define el estándar ASTM E455 – 19 (ASTM, 2019) para probetas de entramado ligero bajo cargas laterales en el plano. Tal como se observa en la Figura 3, se fijó una viga de reacción de acero a la losa de concreto mediante tensores, sobre la cual se fijó la probeta a ensayar y los gatos hidráulicos que ejercen carga a los tercios de la longitud (i.e., 1200 mm). Las cargas aplicadas fueron medidas por dos celdas de carga instaladas en los apoyos inferiores de la probeta, y registradas mediante un equipo de adquisición de datos digital. Las deformaciones fueron medidas mediante un set de transductores (LVDTs) instalados en

la probeta para registrar la deformación global del espécimen, deslizamientos del marco de carga, y deformación relativa entre tableros de recubrimiento.



**Figura 3.** Configuración del ensayo de losas de entramado ligero.

## Ventajas Competitivas

Las soluciones de losas y bajo-losas industrializadas presentan múltiples ventajas con respecto a las losas existentes en el mercado chileno, entre las que se destaca un incremento significativo en la productividad, que se traduce en la reducción de los plazos de entrega de obras de entre un 10% a 15%. Asimismo, también es visible la reducción de un 40% en el peso de las losas, 10% de la masa sísmica del edificio, y una reducción del costo de la obra gruesa entre un 10% y 15%.

Al emplear una losa de este tipo, un edificio tradicional podría producir una huella de CO<sub>2</sub> cercana a la neutralidad, y lograr una reducción de hasta 50% de sus residuos y pérdidas materiales.

## Resultados a la Fecha

Los resultados muestran que las probetas presentan un comportamiento característico de elementos de entramado ligero tipo marco plataforma, con una respuesta dúctil para grandes deformaciones y decaimiento de rigidez para ciclos de carga no reversibles.

Las cargas obtenidas para todos los ensayos superan las esperadas por diseño para los valores característicos presentados en las directrices SDPWS (American Wood Council, 2015), indicando el buen desempeño de los materiales locales.

## Trabajo Futuro

En las etapas siguientes de este proyecto de investigación se realizarán ensayos de losas que emplean otras configuraciones, tales como vigas I-Joist y madera contra-laminada. Además, se ensayaron también configuraciones de losa de alta resistencia siguiendo los lineamientos de la normativa americana SDPWS. De esta forma, se presentan soluciones alternativas de gran capacidad para las oficinas de diseño. Las etapas subsiguientes se enfocarán en el desarrollo de modelos numéricos no-lineales para las distintas probetas ensayadas, de modo que sea posible extender el trabajo llevado a cabo en el laboratorio empleando herramientas computacionales. Finalmente, las etapas finales de este proyecto tendrán como objetivo el desarrollo de modelos analíticos simplificados y la propuesta de expresiones de diseño, de modo que se provea de una serie de herramientas a las diferentes oficinas calculistas en Chile como una vía para el uso extendido de soluciones estructuras de bajas emisiones de carbono en madera.

## Referencias

American Wood Council. (2015). Special design provisions for wind and seismic. ANSI/AWC SDPWS-2015, Leesburg, VA.

ASTM. (2019). ASTM E455 - 19: Standard Test Method for Static Load Testing of Framed Floor or Roof Diaphragm Constructions for Buildings. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Börjesson, P., & Gustavsson, L. (2000). Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. *Energy Policy*, 28, 575–588.

Estrella, X. (2020). Seismic performance factors for wood frame buildings in Chile. Ph.D. Dissertation, Department of Structural and Geotechnical Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Gustavsson, L., Pingoud, K., & Sathre, R. (2006). Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(3), 667–691. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-7207-1>