



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.





EQUIPO ING4104

**DISEÑO DE ENTREPISOS PARA
EDIFICIOS HABITACIONALES DE
MADERA Y DE CONSTRUCCIÓN
INDUSTRIALIZADA EN CHILE**

OBJETIVOS

Diseñar una solución de entrepisos económicamente competitivos, en línea con los requerimientos arquitectónicos del mercado inmobiliario chileno, utilizable en edificios habitacionales de madera, construidos de forma industrializada en Chile

Definir las restricciones que impone el mercado inmobiliario chileno, desde el punto de vista de las luces que debe cubrir el sistema

Definir restricciones para que el diseño sea considerado como industrializado

Diseñar un sistema que cumpla con restricciones impuestas por la OGUC (acústicas, de fuego y térmicas) y por las normas chilenas y europeas de construcción en madera (resistencia, deformación y vibraciones)

Construir y validar el sistema a través de ensayos acústicos

SISTEMA DISEÑADO

- Se diseña un sistema por módulos de hasta 4,88 metros de largo por 1,22 metros de ancho cada uno, con vigas espaciadas cada 40 cm, con la disposición que aquí se muestra.

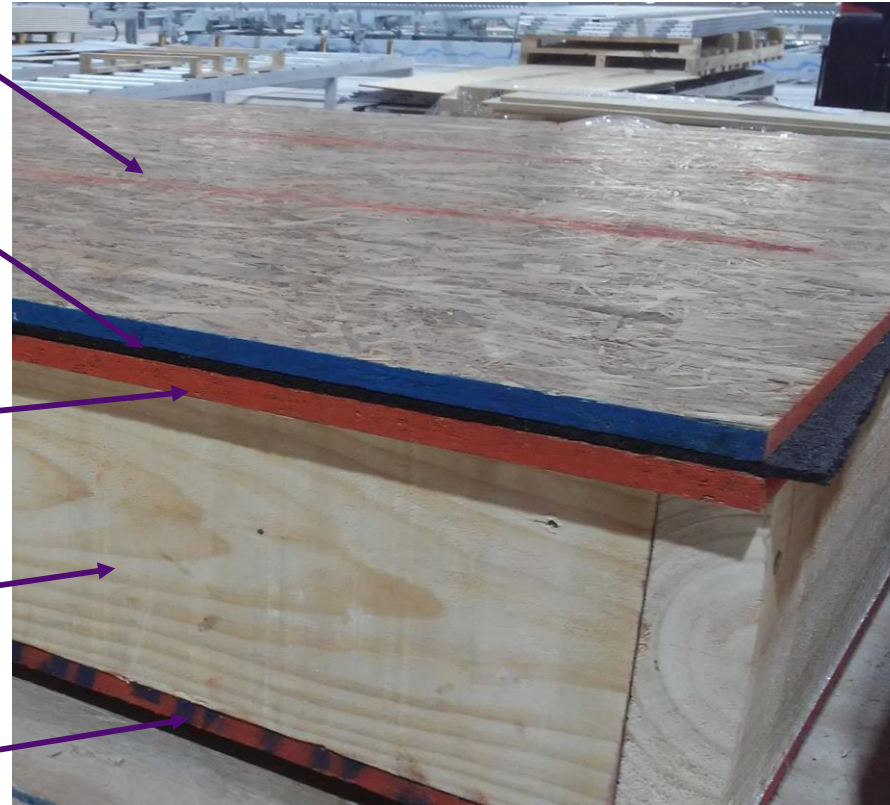
Tablero OSB no estructural
15,1 mm y 1,22 x 4,88 mt

Membrana acústica de caucho
5 mm y 800 kg/m³

Tablero OSB estructural superior
15,1 mm y 1,22 x 4,88 mt

Vigas estructurales 41x185 mm,
4,8 mt de largo y grado C24

Tablero OSB estructural inferior
15,1 mm y 1,22 x 4,88 mt



Fijaciones de los tableros
estructurales al envigado

Clavos helicoidales
65 mm de largo @80 mm

Aislamiento en las
cavidades del envigado

Lana de vidrio
160 mm de espesor y 11 kg/m³

Elementos que van bajo el tablero
estructural inferior y no aparecen
en la imagen

Separadores de madera
aserrada 2x1"

2 placas yeso-cartón RF
15 mm y 1,2 x 2,4 mt

ANÁLISIS DE DISTANCIA ENTRE APOYOS

Rango [m]	N° de deptos.	Porcentaje	Porcentaje acumulado
0,0 – 3,00	17	29 %	29 %
3,0 – 3,25	6	10 %	40 %
3,25 – 3,5	6	10 %	50 %
3,5 – 3,75	18	31 %	81 %
3,75 – 4,0	4	7 %	88 %
4,0 – 4,50	1	2 %	90 %
> 4,50	6	10 %	100 %

- Se estudiaron departamentos publicados en páginas web de inmobiliarias para determinar las luces máximas necesarias que cubren las necesidades arquitectónicas (espacios libres entre muros) de dichos departamentos.
- Análisis consideró 58 departamentos de 5 inmobiliarias distintas, cuyas plantas estaban disponibles en las páginas web con todas sus dimensiones claramente especificadas. Esto fue complementado con entrevistas a arquitectos de 3 de las inmobiliarias consideradas.
- Se concluye para diseñar el sistema, y abarcar una porción significativa del eventual mercado, una luz de **4 metros**.

TENSIONES Y FACTORES DE MODIFICACIÓN

➤ Se calculan las tensiones de diseño para vigas estructurales de grado C24, en base a la norma chilena para calculo en madera (NCh 1198). Para ello se toman en cuenta los factores de modificación por trabajo de vigas en conjunto K_c (vigas separadas a menos de 61 cm), altura de viga K_{hf} (vigas C24 de altura mayor a 90 mm) y concentración de tensiones K_{ct} para considerar el efecto de las perforaciones de los clavos.

Factor de Modificación	Valor
K_c	1,15
K_{hf}	0,87
K_{ct}	0,80

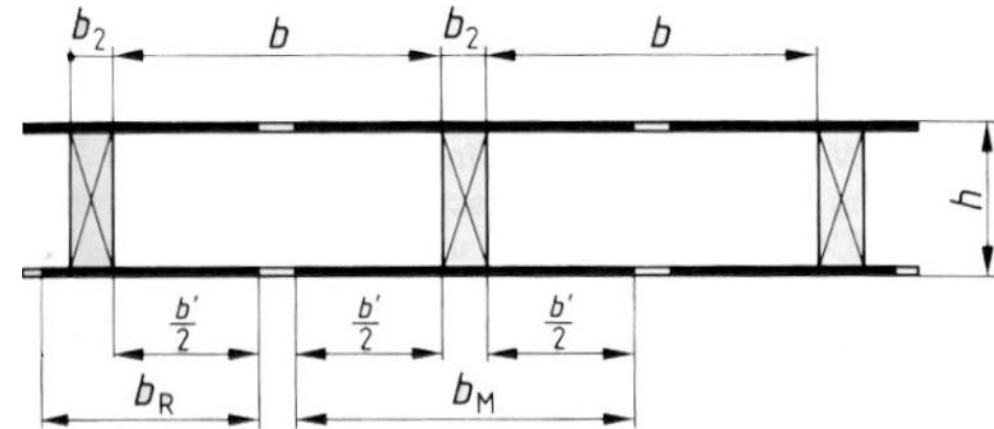
Tensión de Diseño	Valor (Mpa)
$F_{ft,dis}$	9,26
$F_{cp,dis}$	8,00
$F_{tp,dis}$	3,25
$F_{cz,dis}$	1,10
$E_{f,dis}$	10.200
$G_{L,dis}$	663

➤ Por otro lado, las tensiones de diseño consideradas para los tableros de OSB, son valores tomados de los catálogos técnicos de LP y de la norma alemana de construcción en madera (DIN-1052), considerando OSB de la menor calidad estructural según la categorización de dicha norma, para ser conservadores en el cálculo.

E (MPa)	F_f (MPa)	F_c (MPa)	F_t (MPa)
5.000	16,4	4,06	2,80

INERCIA Y RIGIDEZ

- Para los cálculos de resistencia y deformación, se calcula la inercia del sistema considerando la inercia aportada por un módulo completo (1,22 metros de ancho) y la colaboración entre vigas y tableros de OSB.
- La porción de tableros que se toma en cuenta para el cálculo se determina según la metodología de la norma DIN-1052 para el trabajo conjunto en flexión entre vigas (o pies derechos) y tableros.
- Con las partes colaborantes determinadas, se utiliza la fórmula propuesta por la NCh 1198 para el cálculo de la inercia efectiva de vigas compuestas, donde a través de una aplicación del teorema de Steiner con factores de reducción explicados en la misma norma, se suman los aportes de las vigas y de cada tablero a la inercia del sistema.



Parámetros de la norma DIN-1052 para determinar la porción del tablero que es colaborante

- Finalmente, la rigidez se calcula multiplicando la inercia efectiva por el módulo de elasticidad de referencia (el de los tableros) que fue utilizado para calcular dicha inercia ($E_r = 5.000 \text{ MPa}$).

Parámetro	Valor
Inercia	180.378.993 mm ⁴ /m
Rigidez	901.895 N m ² /m

$$I_{ef} = \sum n_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot n_i \cdot A_i \cdot a_i^2$$

VERIFICACIONES DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN

- Las solicitaciones sobre el sistema se calculan considerándolo como una viga simplemente apoyada, siendo el momento máximo 2,3 kN m.
- Las tensiones de trabajo se calculan según las fórmulas propuestas por la NCh 1198 para vigas compuestas.
- La deformación máxima se calcula considerando una viga simplemente apoyada, más el aporte del efecto de corte propuesto por la NCh 1198.

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot B \cdot L^4}{384 \cdot E_r \cdot I_{ef}} + \frac{M_{max}}{G \cdot A} \cdot 10^6 \quad (mm)$$

Cargas	Deformación admisible NCh 1198		Deformación calculada	
	mm	L/360	mm	L/540
SC	11,1 mm	L/360	7,4 mm	L/540
SC + PP	13,3 mm	L/300	10,4 mm	L/386

Variable	Tensión de trabajo (MPa)	Tensión de diseño (MPa)
Flexión tablero comprimido	0,2	16,40
Flexión borde traccionado viga	1,95	9,26
Flexión tablero traccionado	0,2	16,40
Compresión centroide de tablero comprimido	-0,12	-4,06
Tracción centroide de tablero traccionado	0,12	2,80
Cizalle en viga	0,12	1,1

VERIFICACIÓN DE VIBRACIONES

- Para la restricción de vibraciones se acude a la norma europea de diseño en madera (EN-1995).
- La metodología allí propuesta indica que si el sistema tiene una frecuencia fundamental mayor a 8 Hz, se deben cumplir otras dos restricciones para asegurar que en el sistema no se producen vibraciones molestas:

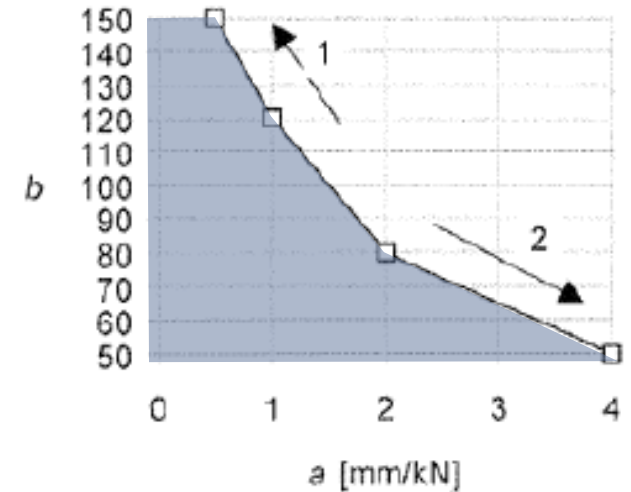
a) Restricción a la deformación vertical instantánea.

$$\frac{\omega}{F} = k_{dist} \cdot k_{fv} \cdot \frac{l^3}{48 \cdot (EI)_{viga}} \leq a$$

b) Restricción a la velocidad de vibración vertical causado por un impulso unitario ideal.

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l + 200} \leq b^{(f_1 \zeta - 1)}$$

- Los parámetros “a” y “b” que restringen las respuestas del sistema, son propuestas por la EN-1995 a través del gráfico que se observa a la derecha.



* Dirección 1 indica mejor comportamiento

Parámetro	Valor
Frecuencia fundamental	10,34 Hz
ω/F	1,9 mm/kN
a	1,9 mm/kN
b	83,8
v	0,0067 m/N s²
$b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)}$	0,0298 m/N s²

ANÁLISIS DE COSTOS

- Con el apoyo de la empresa E2E y su experiencia en la construcción de edificios de madera, se realizó una estimación de los costos directos del sistema considerando su utilización en un edificio de 4 pisos en la zona de Concepción, más otros supuestos mencionados a continuación.

Materiales

Cotizaciones de materiales con precios de retail suman 2,07 UF/m²

Fabricación

Línea de producción automatizada, aproximadamente 5000 m²/mes

Instalaciones

Estimado de 5 UF de instalaciones por vivienda para entrepisos

Herrajes

Estimado de 20% del costo de materiales en herrajes

Transporte

Carga de 40 paneles por camión, transporte de Santiago a Concepción

Montaje

Promedio estimado de 8 paneles instalados por día

- Fabricación, instalaciones, herrajes, transporte y montaje suman un estimado de 2,25 UF/m²

- **Costo total estimado de 4,32 UF/m²**

SECUENCIA DE ARMADO

➤ Se propone una secuencia de armado para facilitar el proceso de automatización y de fabricación del sistema.



1. Armado del envigado



2. Fijación del primer tablero de OSB estructural



3. Colocación de la membrana acústica de caucho



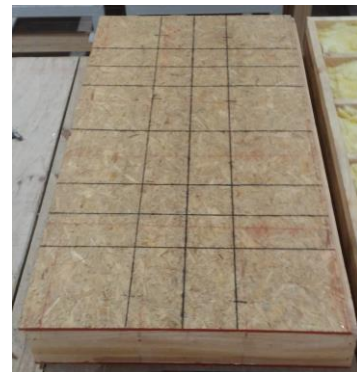
4. Colocación del tablero de OSB superior no estructural



Dar vuelta el módulo para dejar las vigas a la vista nuevamente



5. Colocación de la lana de vidrio entre vigas



6. Fijación del segundo tablero de OSB estructural



7. Colocación de los separadores de madera aserrada



RESULTADOS DE ENSAYO

ÍNDICE DE
REDUCCIÓN
ACÚSTICA

Mínimo exigido: 45 dB
Ensayado: 46 dB

NIVEL DE
PRESIÓN
ACÚSTICA DE
IMPACTO
NORMALIZADO

Máximo exigido: 75 dB
Ensayado: 66 dB



CONCLUSIONES

1. CUMPLIMIENTOS NORMATIVOS

- ❖ Se recalca la importancia de que los resultados de los ensayos acústicos sean exitosos, pues con el cumplimiento de requerimientos acústicos se avanza hacia la potencial utilización de sistemas de entrepiso de este tipo, sin hormigón, en edificios habitacionales construidos en Chile.
- ❖ Aunque en este proyecto no se lograron hacer ensayos de resistencia al fuego, al compararlo con un sistema similar (con menos capas), presente en el listado de soluciones oficiales del MINVU, se considera que el sistema debería tener una resistencia de por lo menos F-60, pudiendo ser utilizado en edificios de 4 pisos.
- ❖ Al calcular siguiendo las normativas correspondientes, diseño estructural cumple con deformaciones admisibles y con restricción de vibraciones. Lo mismo para el cálculo térmico en el caso de utilizar el sistema como techumbre o piso ventilado. Estas son más razones para considerar el sistema propuesto como viable.

2. INDUSTRIALIZACIÓN

- ❖ Se considera que el sistema tiene un proceso de producción simple y rápido, con materiales fácilmente manipulables y procesos de colocación y fijación que permiten industrializar y/o automatizar el sistema.
- ❖ Los módulos tienen un peso aproximado de 485 kg, lo que permite que estos sean manipulables por cualquier grúa horquilla y más aun por cualquier tipo de puente grúa o grúa pluma, en condiciones de fábrica o de obra.

CONCLUSIONES

3. COSTOS

- ❖ Al comparar esta propuesta con el sistema utilizado en dos edificios de madera de 4 pisos, construidos por la empresa E2E, en Concepción, más allá de una leve disminución de aproximadamente 7% en los costos de materiales (al cotizar ambos en el retail), el principal beneficio económico que reportaría esta solución, es la facilidad para ser fabricado en una línea de producción automática, por su mayor estabilidad en las etapas de armado (se considera para ello maquinaria CNC), lo que podría recortar hasta en un 50 % los costos de fabricación.
- ❖ Al comparar también el sistema con las propuestas del Centro de Innovación de la Madera de la Universidad Católica, a partir de un informe inmobiliario desarrollado por ellos el año 2019 donde analizan los costos de la construcción de un edificio de 4 pisos en la zona central de Chile, la presente propuesta tiene costos totales estimados de alrededor de un 25 % menos. Cabe destacar que la metodología de cálculo de costos entre ambas propuestas es distinta, sin embargo, es un dato que hace ver al presente proyecto, a lo menos como una posibilidad a analizar para eventuales edificios.

4. PUNTOS PENDIENTES

Por la naturaleza del proyecto, quedaron algunos puntos relevantes fuera del alcance, pero que se mencionan a modo de aclarar que no fueron simplemente ignorados:

- ❖ Quedan pendientes los ensayos de resistencia al fuego para la completa validación del sistema.
- ❖ Sería muy útil también ahondar en análisis mecánicos de las interacciones del entrepiso con los muros, y entre los módulos del mismo para entender cómo podría ser modelado en cuanto a su calidad de diafragma de un edificio.