5

Anexos

AUTORES

Rose Marie Garay Moena, *Directora Proyecto*
Francis Pfenniger Bobsien, *Director Alterno*
Ricardo Tapia Zarricueta, *Investigador*
Jorge Larenas Salas, *Investigador*

Dirección y Edición de Contenidos y Textos
Rose Marie Garay y Francis Pfenniger

Diseño Arquitectura de Vivienda y Planos:
Rodrigo Toro y Henry Bauer

Fotografía
Sebastián Vásquez G.

Diseño y Diagramación
Lorena González V.
Valeria Verlezza M.

Propiedad de la Universidad de Chile
Primera Edición Mayo 2014,
Santiago de Chile
Registro de Propiedad Intelectual 24175
International Standard Book Number (ISBN)
978956-19-0858-1

Viviendas de Emergencia. Bases técnicas y Normativas
FONDEF DO9I1058.”Desarrollo de bases técnicas y normativas para prototipos de vivienda modular, con énfasis en soluciones de emergencia, bajo criterios técnicos, geográficos y económicos que mejoren su eficiencia y funcionalidad”.
DIMB-Facultad de Ciencias Forestales y Conservaciones de la naturaleza; INVI- Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Índice

1	Ensayos de Resistencia Mecánica, Panel SIP 64	2
2	Ensayos de Resistencia al Fuego, Panel SIP 64	24
3	Estudio del Comportamiento Térmico	36
4	Verificación estructural	48
5	Resistencia al fuego	60
6	Comportamiento acústico	66

Ensayos de Resistencia Mecánica, Panel SIP 64

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS UNIVERSIDAD DE CHILE

Idiem
UN SIGLO DE CONFIANZA Y RESPALDO

DIVISIÓN ESTRUCTURAS Y MATERIALES

DEM – INFORME

INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO DE AUTOCONTROL N° 51/042/2013 - 02

Ensayos mecánicos a paneles estructurales termo-aislante (SIP) de 64 mm de espesor con núcleo de EPS y revestimientos de OSB de 9.5 mm

Ensayo de Flexión.

REVISIÓN 2

SECCIÓN ESTRUCTURAS-ENSAYOS		REF: PR.DEM.2013-0451A	EJEMPLAR N°: 1	N° DE PÁGINAS: 8
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	DESTINATARIO:	
André Fuenzalida F.	Guillermo Sierra R.	Fernando Yáñez U.	Facultad de Cs. Forestales	
FECHA : 23/05/2014	FECHA : 23/05/2014	FECHA : 23/05/2014	FECHA : 23/05/2014	

Este informe anula y reemplaza al anterior informe N° 51/042/2013-02 Rev.1 de fecha 24/10/2013

INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO DE AUTOCONTROL Nº 51/042/2013 – 02 Rev.1

Ensayos mecánicos a paneles estructurales termo-aislante (SIP) de 64 mm de espesor con núcleo de EPS y revestimientos de OSB de 9.5 mm

PARTE 2: Ensayo de flexión

1. CLIENTE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
Rut. 60.910.000 -1
Av. Santa Rosa Nº11315, La Pintana
At.: Sra. Rose Marie Garay

2. ENSAYO

Ensayo de flexión, de acuerdo a la norma chilena NCh803.Of2003. Este ensayo consiste en someter a un módulo aislado del panel, colocado en posición horizontal y simplemente apoyado en sus extremos de menor longitud, a la acción de una carga aplicada perpendicular a su plano, en los cuartos de la luz entre apoyos (luz entre apoyos: 2.2 m). La carga se aplica de forma incremental y cuasi-estática, mediante ciclos de carga – descarga. Durante el ensayo se mide la deflexión o deformación transversal del panel (al centro) bajo carga máxima y al descargar (deflexión residual o permanente).

3. DESCRIPCIÓN DEL PANEL

Se ensayan tres muestras de un panel de muro (estructural), termo-aislante, correspondientes a un módulo de dimensiones nominales[1] de 1.22 m de largo x 2.44 m de alto x 64 mm de espesor y masa promedio[2] de 50 kg, conformado por:

- **Estructura interna:** Poliestireno expandido (EPS) de espesor nominal[1] de 45 mm. En el extremo inferior del panel se coloca una solera inferior y a los costados pies derechos materializados por medio de listones de madera cepillado de dimensiones nominales[1] de 2 x 2 pulgadas. En el extremo superior del panel se coloca una solera superior materializado por medio de un listón de madera cepillado de dimensiones nominales[1] de 2x4 pulgadas.
- **Revestimientos exterior e interior:** Tablero estructural de OSB (tablero de hojuelas de madera orientadas) de dimensiones nominales[1] de 1.22 m de largo, 2.44 m de alto y 9.5 mm de espesor, denominado comercialmente como "LP 9.5 mm".

De acuerdo a la información técnica proporcionada por el cliente, los tableros de OSB se fijan al núcleo de poliestireno expandido por medio de un adhesivo poliuretano de dos componentes, resina y catalizador. Las muestras fueron entregadas por el cliente en nuestro Laboratorio listas para el ensayo. El proceso de pegado de los tableros al EPS no fue supervisado por IDIEM.

Las soleras y pies derechos de madera se fijan a los tableros de OSB por medio de tornillos autorroscantes de cabeza avellanada de 41 mm de largo e hilo grueso (ver Foto 1), espaciados a 250 mm, aproximadamente, por ambas caras del panel. Además la solera

[1] Información proporcionada por el cliente.
[2] Valor promedio de las muestras, determinado en el Laboratorio.

superior se fija con los pies derechos por medio de tornillos de 105 mm de largo, uno en cada extremo.

4. MONTAJE E INSTRUMENTACION

El panel se monta en forma horizontal sobre un marco de acero mecano, dejándolo simplemente apoyado sobre tubos de acero, materializando una luz entre apoyos de 2.2 m. Para aplicar la carga en los cuartos de la luz entre apoyos, se utilizan un par de tubos de acero que abarcan todo el largo del panel y una viga de acero para distribuir la carga (ver Fotos 3, Anexo B).

Se emplean transductores de desplazamiento para medir la deflexión central del panel y un sensor de presión para registrar la carga aplicada (ver Foto 3, Anexo B). La medición de la deflexión se detiene un poco antes de alcanzar la carga máxima, con el objetivo de prevenir eventuales daños en la instrumentación debido al colapso del panel.

5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El procedimiento de ensayo consiste, básicamente, en:

- Montar el panel en el marco de reacción y colocar los sensores de desplazamiento.
- A continuación, se aplica la carga en forma incremental, mediante ciclos de carga – descarga, aumentando progresivamente la carga máxima aplicada. El incremento de carga definido para la muestras son de 0.98 kN (100 kgf) hasta los 5.10 kN, de 1.96 kN (200 kgf) hasta 14.91 kN y de 5.88 kN (600 kgf) en adelante. En cada ciclo de carga se mide la deflexión del panel bajo carga máxima y al descargar. El ensayo se inicia con una carga básica de 0.20 kN (20 kgf).
- Terminado el ensayo, se observa el modo de falla del panel.

6. RESULTADOS

En la Tabla 2, se presentan los resultados globales obtenidos en el ensayo de flexión fuera de plano. Aquí se indican las cargas y las deflexiones asociadas a los estados límites siguientes: a) pérdida de proporcionalidad en el comportamiento carga – deflexión; y b) resistencia máxima a la flexión fuera de plano. Complementariamente, en el Anexo A, se presentan las curvas carga – deflexión y carga – deformación longitudinal registradas durante el ensayo.

Tabla 2. Resultados del ensayo de flexión fuera de plano al panel.

Panel (muestra) (N°)	Pérdida de proporcionalidad (1)			Resistencia máxima	
	Carga total aplicada (kN)	Carga normalizada(2) (kN/m)	Deflexión central (mm)	Carga total aplicada (kN)	Carga normalizada(3) (kN/m)
1	3.21	2.63	5.61	13.76	11.28
2	2.58	2.11(4)	4.51	12.39	10.16
3	3.18	2.61	5.57	16.28	13.34

Notas:
(1) Ensayo efectuado con el panel simplemente apoyado en una luz de 2.2 m y con la carga aplicada en los ¼ de la luz.
(2) Corresponde al momento donde la curva carga – deflexión del ensayo de flexión deja de ser lineal.
(3) Corresponde a la carga total aplicada dividida por el largo del panel (1.22 m).

(4) Límite de proporcionalidad de la muestra es menor que el mínimo valor de clasificación especificado en la norma (2.45 kN/m)

En las tres muestras del panel, la falla se produce por rotura del pie derecho por flexo-tracción cercano a los puntos de aplicación de la carga (ver Fotos 4 a la 9 en el Anexo B).

7. CLASIFICACIÓN

En la Tabla 3, se presenta la clasificación del panel de acuerdo a su comportamiento a la flexión, según la norma NCh806.EOf71: "Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Clasificación y Requisitos".

Tabla 3. Clasificación del panel según la norma NCh806.EOf71.

Tipo de panel	Muestra del panel (Nº)	Clasificación	
		Grado RT	Subgrado RT
▪ **Estructura interna:** Poliestireno expandido de 45 mm de espesor, solera inferior y pie derechos de madera de 2x2" y solera superior de madera de 2x4". ▪ **Revestimientos Interior y Exterior:** Tablero madera aglomerado OSB 9.5 mm "LP".	1	1	c
	2	N/C(4)	N/C(4)
	3	1	c

N/C: No clasifica

Los resultados presentados en informe sólo son válidos para las muestras identificadas en él, y no pueden ser referidos a partidas o lotes. El presente informe no constituye una certificación de productos. Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe para fines publicitarios sin la autorización escrita de IDIEM.

Santiago, 23 de mayo de 2014.

GUILLERMO SIERRA R.
Jefe División Estructuras y Materiales

FERNANDO YÁÑEZ U.
Director IDIEM

RVL/WFE/a

INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO DE AUTOCONTROL Nº 51/042/2013 – 02 Rev.1

ANEXO A. GRÁFICOS

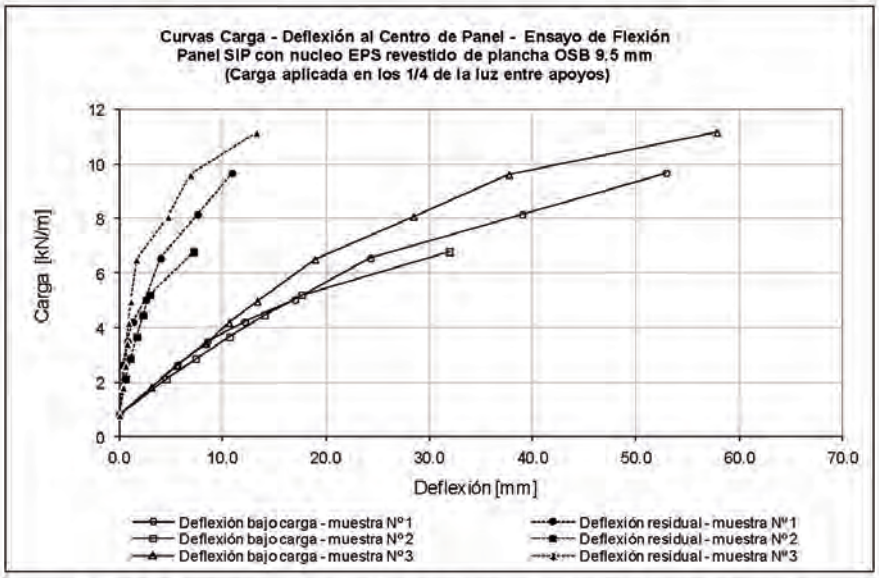


Gráfico 1. Curvas carga – deflexión (carga normalizada por el largo del panel).

ANEXO B. FOTOS

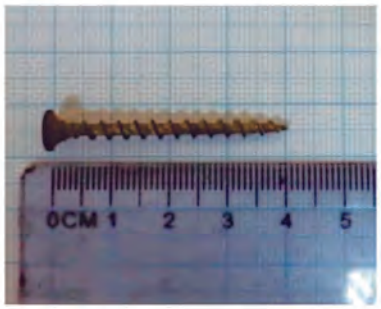
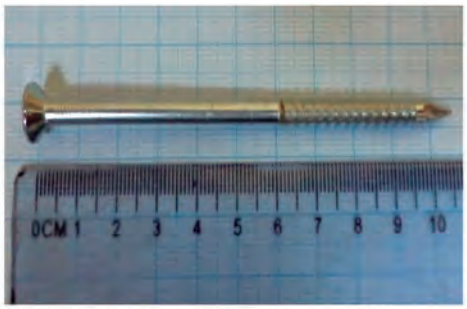


Foto 1. Tornillo de fijación de placas de OSB.



Fotos 2. Tornillo de fijación de solera superior a pie derecho

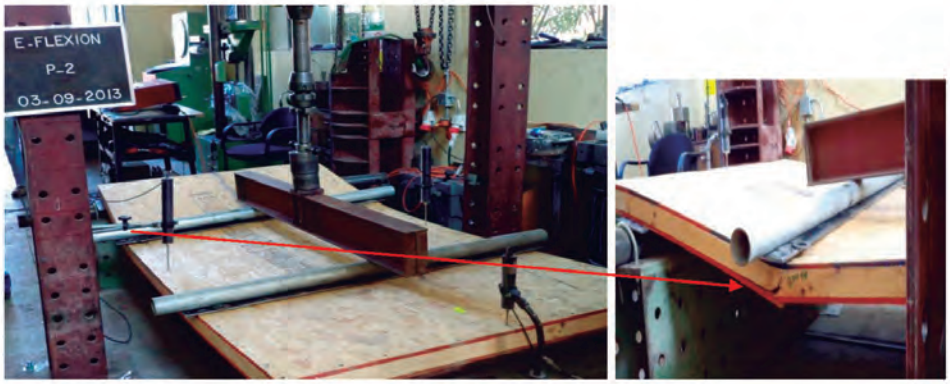


Foto 3. Montaje del ensayo de flexión (típico).

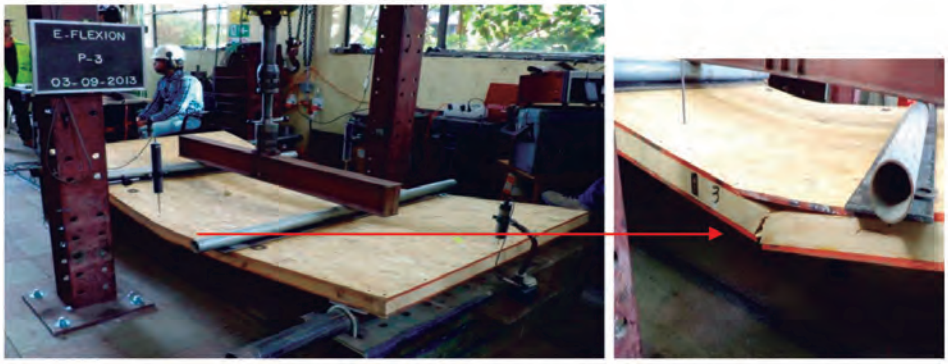
INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO DE AUTOCONTROL Nº 51/042/2013 – 02 Rev.1



Fotos 4 y 5. Modo falla Muestra Nº 1.



Fotos 6 y 7. Modo de falla Muestra Nº 2.



Fotos 8 y 9. Modo de falla muestra Nº 3.

DIVISIÓN ESTRUCTURAS Y MATERIALES

DEM – INFORME

INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO DE AUTOCONTROL N° 51/042/2013 - 03

Ensayos mecánicos a paneles estructurales termo-aislante (SIP) de 64 mm de espesor con núcleo de EPS y revestimientos de OSB de 9,5 mm

Ensayo de compresión.

REVISIÓN 1

SECCIÓN ESTRUCTURAS-ENSAYOS		REF: PR.DEM.2013-0451A	EJEMPLAR Nº: 1	Nº DE PÁGINAS: 8
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	DESTINATARIO:	
André Fuenzalida F.	Guillermo Sierra R. Graciela Jofré T.	Fernando Yáñez U.	Facultad de Cs. Forestales	
FECHA : 18/10/2013	FECHA : 23/10/2013	FECHA : 24/10/2013	FECHA : 15/11/2013	

INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO DE AUTOCONTROL Nº 51/042/2013 – 03 Rev. 1

Ensayos mecánicos a paneles estructurales termo-aislante (SIP) de 64 mm de espesor con núcleo de EPS y revestimientos de OSB de 9.5 mm

PARTE 3: Ensayo de compresión

1. CLIENTE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
Rut. 60.910.000 -1
Av. Santa Rosa Nº11315, La Pintana
At.: Sra. Rose Marie Garay

2. ENSAYO

Compresión vertical excéntrica, de acuerdo a la norma chilena NCh801.Of2003. Este ensayo consiste en someter a un módulo aislado del panel, colocado en posición vertical y simplemente apoyado en sus extremos superior e inferior, a la acción de una carga vertical aplicada de manera excéntrica, a una distancia de la cara interior igual a un tercio del espesor total del panel, de modo de inducir una curvatura hacia su cara exterior. La carga de compresión se aplica de forma incremental y cuasi-estática, mediante ciclos de carga – descarga. Durante el ensayo se mide la deformación longitudinal y la deflexión transversal del panel bajo carga máxima y al descargar.

3. DESCRIPCIÓN DEL PANEL

Se ensayan tres muestras de un panel de muro (estructural), termo-aislante, correspondientes a un módulo de dimensiones nominales[1] de 1.22 m de largo x 2.44 m de alto x 64 mm de espesor y masa promedio[2] de 51 kg, conformado por:

- **Estructura interna:** Poliestireno expandido (EPS) de espesor nominal[1] de 45 mm. En el extremo inferior del panel se coloca una solera inferior y a los costados pies derechos materializados por medio de listones de madera cepillado de dimensiones nominales[1] de 2 x 2 pulgadas. En el extremo superior del panel se coloca una solera superior materializado por medio de un listón de madera cepillado de dimensiones nominales[1] de 2x4 pulgadas.
- **Revestimientos exterior e interior:** Tablero estructural de OSB (tablero de hojuelas de madera orientadas) de dimensiones nominales[1] de 1.22 m de largo, 2.44 m de alto y 9.5 mm de espesor, denominado comercialmente como "LP 9.5 mm".

De acuerdo a la información técnica proporcionada por el cliente, los tableros de OSB se fijan al núcleo de poliestireno expandido por medio de un adhesivo poliuretano de dos componentes, resina y catalizador. Las muestras fueron entregadas por el cliente en nuestro Laboratorio listas para el ensayo. El proceso de pegado de los tableros al EPS no fue supervisado por IDIEM.

Las soleras y pies derechos de madera se fijan a los tableros de OSB por medio de tornillos autorroscantes de cabeza avellanada de 41 mm de largo e hilo grueso (ver Foto 1), espaciados a 250 mm, aproximadamente, por ambas caras del panel. Además la solera superior se fija con los pies derechos por medio de tornillos de 105 mm de largo, uno en cada extremo.

[1] Información proporcionada por el cliente.
[2] Valor promedio de las muestras, determinado en el Laboratorio.

4. MONTAJE E INSTRUMENTACIÓN

El panel se monta en forma vertical, apoyándolo entre los platos de la Máquina de Ensayo. La distribución de la carga sobre las caras de apoyo del panel se materializa por medio de placas de acero que abarcan toda la longitud de la cara de apoyo del panel. La excentricidad de la carga se logra por medio de una placa de acero con apoyo excéntrico (ver Foto 3, Anexo B).

La instrumentación utilizada se define de acuerdo a lo especificado en la norma NCh801. Se emplean cuatro transductores de desplazamiento para medir la deformación longitudinal del panel, dos transductores de desplazamiento para medir la deflexión a media altura del panel y un sensor de presión para medir la carga aplicada (ver Foto 3, Anexo B).

5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El procedimiento de ensayo consiste, básicamente, en:

- Fijar el panel en la Máquina de Compresión y colocar la instrumentación.
- A continuación, se aplica la carga de forma incremental, mediante ciclos de carga – descarga, aumentando progresivamente la carga máxima aplicada. El incremento de carga es de 3.92 kN (400 kgf) hasta los 29.42 kN, de 9.81 kN (1000 kgf) hasta los 58.84 kN, de 19.61 kN (2000 kgf) en adelante. En cada ciclo de carga se mide la deformación longitudinal y la deflexión transversal del panel bajo carga máxima y al descargar. El ensayo se inicia con una carga básica de 1.96 kN. (200 kgf)
- Terminado el ensayo, se observan el modo de falla del panel y los daños locales presentados.

6. RESULTADOS

En la Tabla 2, se presentan los resultados globales obtenidos en el ensayo de compresión excéntrica. Aquí se indican las cargas y las deformaciones asociadas a los estados límites siguientes: a) pérdida de proporcionalidad en el comportamiento carga – deflexión; y b) resistencia máxima a la compresión. Adicionalmente, en el Anexo A, se presentan las curvas carga – deflexión y carga – deformación longitudinal registradas durante el ensayo.

La falla del elemento se debe a la rotura de los pies derechos de los paneles.

Tabla 2. Resultados del ensayo de compresión excéntrica al panel.

Muestra del panel (Nº)	Pérdida de proporcionalidad [1]				Resistencia máxima	
	Carga aplicada (kN)	Carga normalizada[2] (kN/m)	Deflexión central (mm)	Deformación axial (mm)	Carga aplicada (kN)	Carga normalizada[2] (kN/m)
1	12.6	10.30	1.20	0.10	91.20	74.80
2	20.5	16.80	1.30	0.30	103.60	84.90
3	9.9	8.10	0.50	0.10	101.80	83.40

Notas:

(1) Corresponde al momento donde la curva carga – deflexión del ensayo de compresión excéntrica deja de ser cuasi-lineal (se descarta el tramo inicial de la curva debido a acomodos del sistema).

(2) Corresponde a la carga aplicada dividida por el largo del panel (1.22 m).

7. CLASIFICACIÓN

En la Tabla 3, se presenta la clasificación del panel de acuerdo a su comportamiento a la compresión, según la norma NCh806.EOf71: "Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Clasificación y Requisitos".

Tabla 3. Clasificación del panel según la norma NCh806.EOf71.

Tipo de panel	Muestra del panel (Nº)	Clasificación[1]	
		Grado RC	Subgrado RC
▪ **Estructura Interna:** Poliestireno expandido de 45 mm de espesor, solera inferior y pie derechos de madera de 2x2" y solera superior de madera de 2x4". ▪ **Revestimientos Interior y Exterior:** Tablero madera aglomerada OSB 9.5 mm "LP".	1	1	C
	2	2	C
	3	1	C

Los resultados presentados en informe sólo son válidos para las muestras identificadas en él, y no pueden ser referidos a partidas o lotes. El presente informe no constituye una certificación de productos. Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe para fines publicitarios sin la autorización escrita de IDIEM.

Santiago, 15 de Noviembre de 2013

Graciela Jofré T.
Jefe Sección
Sección Estructuras - Ensayos

FERNANDO YÁÑEZ U.
Director
IDIEM

SLL/LBA/aff

ANEXO A. GRÁFICOS

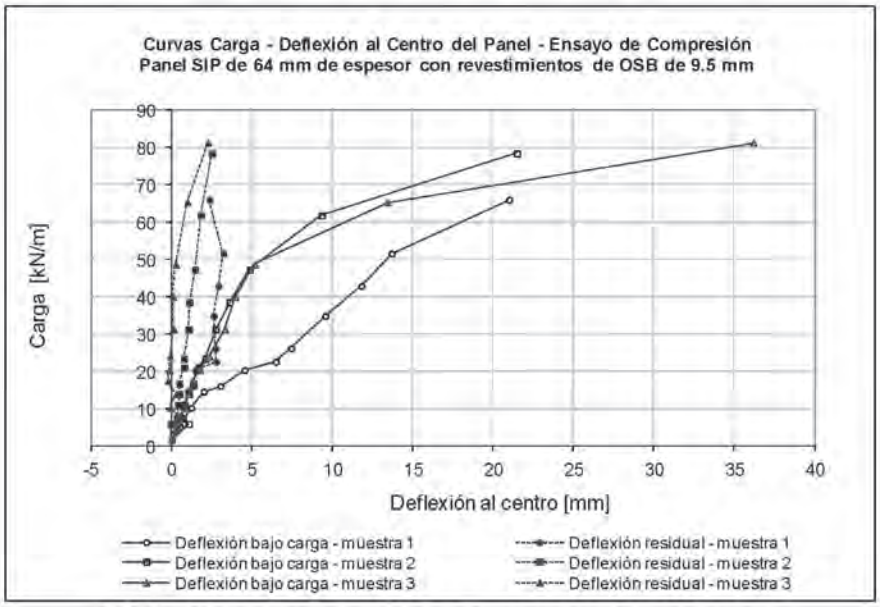


Gráfico 1. Curvas carga – deflexión (carga normalizada por el largo del panel).

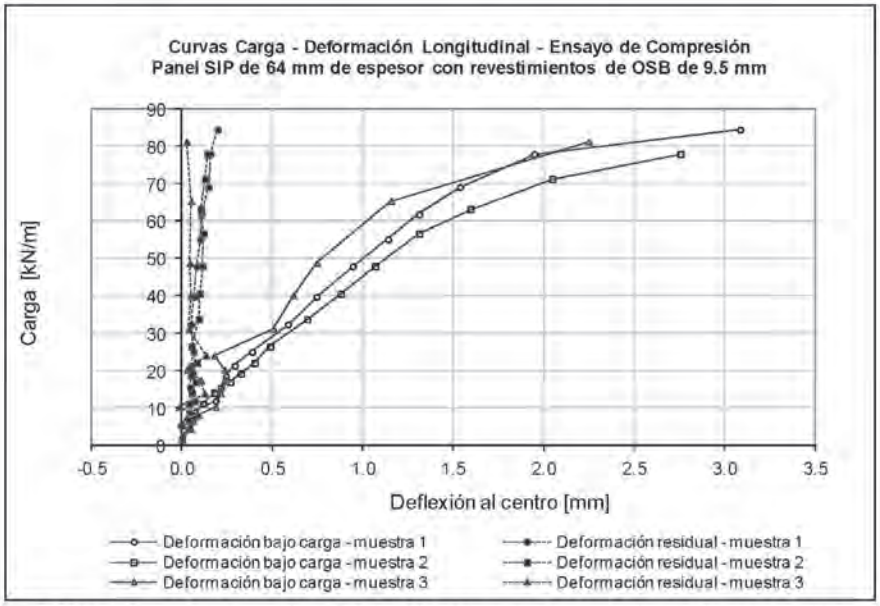


Gráfico 2. Curvas carga - deformación longitudinal (carga normalizada por el largo del panel)

ANEXO B. FOTOS



Foto 1. Elemento de fijación del panel a solera inferior y superior.



Fotos 2. Espárrago de fijación de soleras a viga de hormigón.



Fotos 3. Vista general del montaje del ensayo de compresión excéntrica al panel.





Fotos 4 y 5. *Modo de falla muestra Nº1*





Fotos 6 y 7. *Modo de falla muestra Nº2*

INFORME ELECTRÓNICO DE ENSAYO DE AUTOCONTROL Nº 51/042/2013 – 03 Rev. 1





Fotos 8 y 9. *Modo de falla muestra Nº3.*

CITECUBB	INFORME DE ENSAYO CARGA HORIZONTAL	Nº INFORME	1141
		FECHA EMISION	09.12.2013
		Nº DE PAGINA	1/6

EJECUTOR : **CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN, CITEC UBB. AVENIDA COLLAO 1202, CONCEPCIÓN.**

CLIENTE
NOMBRE : **UNIVERSIDAD DE CHILE, DEPARTAMENTO INGENIERÍA DE LA MADERA Y SUS BIOMATERIALES**
DIRECCIÓN : AVENIDA SANTA ROSA Nº11315, LA PINTANA, SANTIAGO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PANEL DE ENSAYO:

1.1 Marca y tipo:
Panel de geometría rectangular (1220x2440mm) del tipo SIP. Está formado por 2 placas exteriores de OSB estándar de 9.5 mm de espesor unidas a través de un adhesivo termo fundente del tipo poliuretano, a un núcleo central o alma de poliestireno expandido de 45 mm de espesor y 15 kg/m3 de densidad media aparente; generando un panel de 64 mm de espesor final. Como bastidor se incorporaron piezas de madera de pino radiata, secas y cepilladas (pie derechos y solera inferior de 44x44mm, solera superior de 44x88mm) conectadas a las placas OSB por medio de tornillos autoperforantes drywall rosca gruesa #6 x 1" 5/8, espaciados cada 150 mm. Según la norma NCh806 corresponden al tipo IV clase H.

1.2 Fecha de fabricación: 01-11-2013.

1.3 Geometría:
Simétrico con respecto a sus revestimientos.

1.4 Dimensiones:
Alto: 2.44 (m)
Largo: 1.22 (m)
Espesor: 0.064 (m)

1.5 Materiales y caracteristicas constructivas:
- Tableros OSB de espesor 9,5mm en formato 1,22 x 2,44m
- Poliestireno expandido densidad 15 Kg/m3 y de espesor 45mm formato 2,35 x 1,17m
- Adhesivo Poliuretano de dos componentes (resina y catalizador)
- Madera cepillada seca de escuadría 2" x 2" (44 x 44mm) en diferentes largos, utilizada como solera inferior y pies derechos
- Madera cepillada seca de escuadría 2" x 4" (44 x 88mm) utilizada como solera superior.
- Tornillos drywall rosca gruesa #6 x 1" 5/8 espaciados cada 15 cm.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO:

2.1 Tiempo de mantención de la carga:
En los 3 ensayos se aplicaron incrementos de cargas iguales, con una tolerancia de 10% de la carga. Siempre el número de incrementos de carga fue superior a 5, y después de la aplicación de cada incremento de carga, se mantuvo el nivel de carga lo más constante posible por un período adecuado.

2.2 Normativa utilizada:
Este ensayo se realizó según las indicaciones de la Norma Chilena Oficial NCh 802.EOf71 "Arquitectura y construcción-Paneles prefabricados-Ensayo de carga horizontal". Se ensayaron un total de 3 paneles a carga horizontal.

En el Anexo # 1 se muestra la implementación del ensayo en el laboratorio.

CITECUBB	INFORME DE ENSAYO CARGA HORIZONTAL	Nº INFORME	1141
		FECHA EMISION	09.12.2013
		Nº DE PAGINA	2/6

3. GRÁFICOS

Los resultados de este ensayo se muestran gráficamente en la Figura Nº1. En el Anexo Nº2 se muestran las tablas asociadas a la generación de estos gráficos.

Es conveniente mencionar que para generar la figura Nº1, se dividió la carga horizontal por el largo del panel; es decir, 1.22 (m) y sólo se consideraron los niveles de carga que fueron comunes para todos los paneles ensayados.

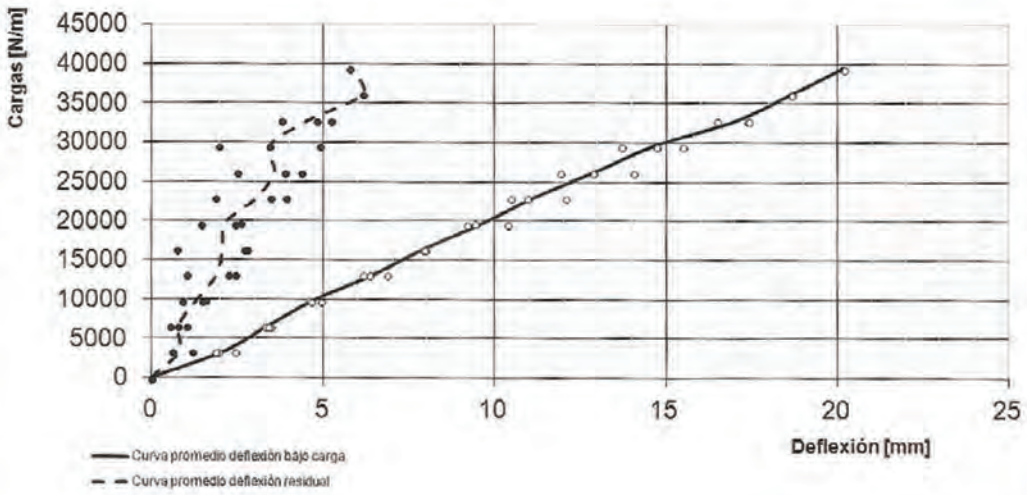


Figura Nº1: Gráficos de resultados de los ensayos de carga horizontal

4. CARGAS.

Para niveles de carga del orden de 4.67 (T) en promedio, los paneles fallaron por fractura de la madera, antecedida por pérdida parcial de adherencia OSB-madera-pegamento en las zonas de aplicación y reacción de cargas horizontales. Lo anterior generó dificultades para mantener al panel en su plano para esos niveles de carga, comprometiendo la seguridad de los equipos de carga y de medición de deformaciones. Los paneles para estos niveles de carga horizontal ya estaban alcanzando desplazamientos horizontales efectivos de 22.72 (mm) en promedio, aproximadamente.

Por otra parte, en promedio la carga y los desplazamientos en el límite de proporcionalidad fueron del orden de las 2.86 (T) y los 10.97 (mm), respectivamente. Estos valores se calcularon individualmente por ensayo y luego se promediaron.

CITEC, Centro Inscrito en el registro público de Centros de Investigación CORFO; acreditado en el marco la Ley Nº 20.241 para realizar actividades de Investigación y Desarrollo
www.citecubb.cl
Avenida Collao Nº1202 - Casilla 5-C - Fono/Fax (56-41) 3111127 - Concepción - VIII Región - Chile

5. FALLAS, ALABEOS Y DESPRENDIMIENTOS

Para el nivel de carga en el cual se detuvieron los ensayos, se observaron patrones de fractura y aplastamiento en la madera, precedidas por pérdida parcial de adherencia entre las placas de OSB y el poliestireno. Principalmente se observaron estas fallas locales del panel en los bordes superior e inferior, en las zonas que son restringidas frente a los desplazamientos verticales y horizontales. En el Anexo Nº3 se muestran los modos de falla típicos obtenidos en estos ensayos.

6. CONFORMIDAD CON LOS REQUISITOS

De acuerdo al formato de la Norma Chilena NCh806.EOf71, en promedio los paneles ensayados poseen las siguientes características:

- Carga de rotura: 3830.60 (Kg/m). (se dividió la carga de rotura por el largo del panel 1.22 (m))
- Carga en límite de proporcionalidad: 2346.99 (Kg/m).
- Deformación admisible en el límite de proporcionalidad: 10.97 (mm)

Por lo tanto, desde el punto de vista de la resistencia a las cargas horizontales el panel clasifica en la categoría RH3c.

ALEXANDER OPAZO VEGA
Jefe de Área Ingeniería Estructural CITEC
Universidad del Bío-Bío

ARIEL BOBADILLA MORENO
Director CITEC
Universidad del Bío-Bío

CITECUBB	INFORME DE ENSAYO CARGA HORIZONTAL	Nº INFORME	1141
		FECHA EMISION	09.12.2013
		Nº DE PAGINA	4/6

ANEXO Nº1

IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL



Figura A1: Implementación del ensayo de carga horizontal.

CITEC, Centro Inscrito en el registro público de Centros de Investigación CORFO; acreditado en el marco la Ley Nº 20.241 para realizar actividades de Investigación y Desarrollo
www.citecubb.cl
Avenida Collao Nº1202 - Casilla 5-C - Fono/Fax (56-41) 3111127 - Concepción - VIII Región - Chile

ANEXO Nº2:
TABLAS ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE GRÁFICOS DE RESULTADOS

		Promedio desplazamientos laterales efectivos bajo carga (mm)			
Carga (T)	Carga (N/m)	Ensayo # 1	Ensayo # 2	Ensayo # 3	Promedio ensayos
0.40	3278.689	2.440	1.960	1.850	2.083
0.80	6557.377	3.290	3.470	3.380	3.380
1.20	9836.066	4.580	4.920	4.630	4.710
1.60	13114.754	6.160	6.350	6.850	6.453
2.00	16393.443	7.910	7.970	7.930	7.937
2.40	19672.131	9.410	9.170	10.380	9.653
2.80	22950.820	10.940	10.450	12.050	11.147
3.20	26229.508	12.870	11.900	14.050	12.940
3.60	29508.197	14.730	13.700	15.490	14.640
4.00	32786.885	16.47	17.38	17.4	17.083
4.40	36065.574	18.65			18.650
4.80	39344.262	20.18			20.180

		Promedio desplazamientos laterales residuales (mm)			
Carga (T)	Carga (N/m)	Ensayo # 1	Ensayo # 2	Ensayo # 3	Promedio ensayos
0.40	3278.689	1.190	0.610	0.620	0.807
0.80	6557.377	1.040	0.550	0.770	0.787
1.20	9836.066	1.570	0.910	1.460	1.313
1.60	13114.754	2.230	1.040	2.420	1.897
2.00	16393.443	2.680	0.740	2.790	2.070
2.40	19672.131	2.600	1.430	2.440	2.157
2.80	22950.820	3.920	1.860	3.450	3.077
3.20	26229.508	3.860	2.490	4.360	3.570
3.60	29508.197	3.440	1.960	4.910	3.437
4.00	32786.885	4.800	3.770	5.210	4.593
4.40	36065.574	6.150			6.150
4.80	39344.262	5.760			5.760

CITECUBB	INFORME DE ENSAYO CARGA HORIZONTAL	Nº INFORME	1141
		FECHA EMISION	09.12.2013
		Nº DE PAGINA	6/6

ANEXO Nº3:
MODOS DE FALLA TÍPICOS



Figura A3-1: Modos de falla observados en paneles.

Ensayos de Resistencia al Fuego, Panel SIP 64

fcfm FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS UNIVERSIDAD DE CHILE

Idiem UN SIGLO DE CONFIANZA Y RESPALDO

Acreditación LE 302

INFORME DE ENSAYO OFICIAL

Inscripción MINVU Res. Nº 9111 del 21-12-2009
Res. Ex. Nº 1538 del 17-02-2012

Informe N° 773.885

Ensayo de resistencia al fuego en laboratorio según NCh 935/1 Of.97
NCh 935/1 Of.97 "Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción en general".

Procedimiento SII – PP – 350 "Procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción verticales (tabiques y muros)."

Solicitante:
Rose Marie Garay, Directora.
DIMB, Universidad de Chile
Av. Santa Rosa 11315, Santiago, Chile
Elemento: tabique perimetral o divisorio

El resultado obtenido no avala producciones, pasadas, presentes o futuras y es válido sólo para el elemento ensayado, bajo las condiciones estipuladas en el presente documento, ya que el valor de la resistencia al fuego puede variar si se cambian los detalles constructivos. Este informe no debe ser reproducido, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita del laboratorio.

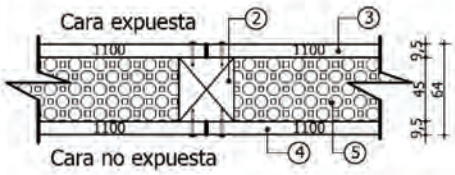
No se permite la utilización de la marca IDIEM o su logo, a excepción que sea autorizado en forma escrita.

ÁREA INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN SECCIÓN INGENIERÍA CONTRA INCENDIOS		REF: SII tesis/RF/2012	Nº DE PÁGINAS: 12
ENSAYADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	DESTINATARIO:
Joaquín Gutierrez Encargado de laboratorio	Miguel Ángel Pérez Arias Jefe de Unidad	Miguel Bustamante S. Jefe de Sección	Rose Marie Garay DIMB, Universidad de Chile
Fecha del ensayo: 24 de Julio de 2012		**Fecha de emisión:** 09 de agosto de 2012	

Resumen

Ensayo de resistencia al fuego en laboratorio según NCh935/1 Of.97

Empresa solicitante:	DIMB, Universidad de Chile		Dirección:	Av. Santa Rosa 11315, Santiago, Chile	
Solicitado por:	Rose Marie Garay	Elemento:	fabique perimetral o divisorio	Construido en:	~~Fábrica~~ / Laboratorio
Recinto de ensayo:	Laboratorio de Incendios, Salomón Sack 840, Cerrillos.		N° de informe	773.885	Fecha de ensayo: 24 de Julio de 2012



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento	Descripción
1	Soleras (no mostradas)	Superior e inferior. Pieza de madera de pino cepillada de escuadría 45 x 45 [mm] cepillada y 2,2 [m] de longitud.
2	Montantes	Piezas de madera de pino cepillada de escuadría 45 x 45 [mm] de 2,3 [m] de longitud. El elemento estaba conformado por un total de tres montantes: perimetrales y un montante en unión de placas.
3	Cara expuesta	Placa "OSB" de 9,5 [mm] de espesor fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados 250 [mm]. La unión de placas se selló con cinta fibra de vidrio y pasta a base de yeso.
4	Cara no expuesta	Placa "OSB" de 9,5 [mm] de espesor fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados 250 [mm]. La unión de placas se selló con cinta fibra de vidrio y pasta a base de yeso.
5	Aislación	Poliestireno expandido de 45 [mm] de espesor y15 [kg/m^3] de densidad nominal.

Ancho del elemento	2,2	[m]	Resistencia al fuego del elemento	17 minutos
Alto del elemento	2,4	[m]		
Espesor total	0,064	[m]	Clasificación	F15
Masa total	84	[kg]		

Nota: De acuerdo a lo señalado en norma NCh 935/1 Of.97, el resultado obtenido es válido sólo para el elemento ensayado y bajo las condiciones estipuladas en el Informe de Ensayo Oficial, ya que el valor de resistencia al fuego puede variar si se cambian los detalles constructivos.

Nota: Este resumen no reemplaza el informe.

Fecha de emisión: 09 de agosto de 2012

Sección Ingeniería Contra Incendios
Plaza Ercilla 883, Santiago. Fono: 978 41 30
Laboratorio de Incendios, Salomón Sack 840, Cerrillos.
http://incendios.idiem.cl

Arica
Iquique
Antofagasta
Coquimbo
Viña del Mar
Santiago
Concepción
Temuco
www.idiem.cl

Informe N° 773.885 REF: SII tesis/RF/2012

1. ALCANCE

El presente informe de ensayo ha sido solicitado por la Sra. (Srta.) Rose Marie Garay, en representación del DIMB, Universidad de Chile, y es confeccionado y emitido por IDIEM en conformidad con lo señalado en los artículos 4.3.1 y 4.3.2 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).

Este informe establece la Clasificación de Resistencia al Fuego de un sistema o elemento constructivo (tabique perimetral o divisorio), ensayado bajo la norma NCh935/1 Of.97, en el Laboratorio de Incendios (en adelante, "el Laboratorio") del IDIEM, ubicado en Salomón Sack 840, Cerrillos.

2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS

2.1 Horno de ensayo

Para el ensayo de soluciones constructivas verticales, el Laboratorio cuenta con un horno de ensayo construido con paredes interiores de ladrillo refractario, enchapadas en acero, con una boca vertical abierta para el montaje de las probetas.

El horno está equipado con un quemador a gas, modulante, de potencia térmica nominal de 1760 [kW].

La boca del horno mide 2,2 [m] de ancho por 2,4 [m] de alto.

2.2 Sistema mecánico de carga

El Laboratorio cuenta con un sistema mecánico de carga que permite aplicar hasta 120 [kg] por metro lineal sobre el elemento de ensayo.

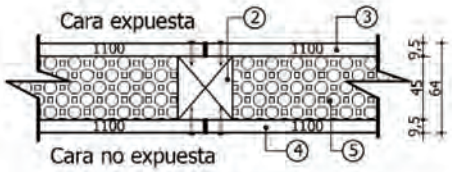
2.3 Instrumentos de medición

- Termocuplas: para el registro y monitoreo de la temperatura al interior del horno se cuenta con cinco termocuplas Chromel - Alumel dispuestas simétricamente a 10 [cm] de la cara expuesta de la probeta.
- Sensor infrarrojo: la temperatura de la cara no expuesta se mide y registra mediante un termómetro infrarrojo tipo pistola, que entrega en forma automática la temperatura promedio y puntual máxima del elemento.
- Manómetro diferencial: manómetro de columna de agua para medir la sobrepresión al interior del horno.

3. ELEMENTO ENSAYADO

La probeta fue construida en el Laboratorio, y fue entregada al Laboratorio en las condiciones definitivas en las que se ensayó.

El elemento era de 2,2 [m] de ancho por 2,4 [m] de alto y 0,064 [m] de espesor, con una masa total de 84 [kg].



DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento	Descripción
1	Soleras (no mostradas)	Superior e inferior. Pieza de madera de pino cepillada de escuadría 45 x 45 [mm] cepillada y 2,2 [m] de longitud.
2	Montantes	Piezas de madera de pino cepillada de escuadría 45 x 45 [mm] de 2,3 [m] de longitud. El elemento estaba conformado por un total de tres montantes: perimetrales y un montante en unión de placas.
3	Cara expuesta	Placa "OSB" de 9,5 [mm] de espesor fijada clavos helicoidales de 2"", distanciados 250 [mm]. La unión de placas se selló con cinta fibra de vidrio y pasta a base de yeso.
4	Cara no expuesta	Placa "OSB" de 9,5 [mm] de espesor fijada con clavos helicoidales de 2"", distanciados 250 [mm]. La unión de placas se selló con cinta fibra de vidrio y pasta a base de yeso.
5	Aislación	Poliestireno expandido de 45 [mm] de espesor y15 [kg/m^3] de densidad nominal.

4. ACONDICIONAMIENTO Y MONTAJE

La probeta se mantuvo en acondicionamiento en el Laboratorio por un día antes del ensayo, para alcanzar la humedad de equilibrio.

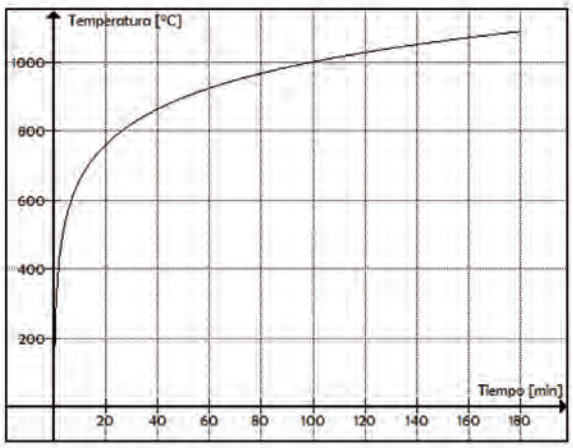
Ésta se apoyó sobre una vigueta de hormigón armado y se empotró sobre la boca del horno, fijándola con una barra de acero colocada horizontalmente en la parte superior del elemento. El sello se hizo con lana mineral y yeso.

5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El ensayo consiste en exponer el elemento, por una de sus caras, al calor de un horno de modo de imprimirle una temperatura según la curva normalizada tiempo - temperatura señalada en NCh 935/1 Of. 97, regida por la relación

$$T(t) - T_0 = 345 \log_{10}(8t + 1),$$

donde T es la temperatura del horno [°C], T_0 la temperatura ambiente al inicio del ensayo [°C], y t el tiempo transcurrido de ensayo [min]. La gráfica de esta ecuación y una tabla de valores de la curva se presentan en la Figura 5.1.



t	[min]	0	5	15	30	60	90	120	150	180
$T(t) - T_0$	[°C]	0	556	719	822	925	986	1029	1062	1090

Figura 5.1. Curva de incendio estándar.

Durante el ensayo se registra la temperatura del horno, la temperatura de la cara no expuesta y todas las observaciones respecto al comportamiento de la probeta en términos de los criterios de resistencia al fuego señalados en 6.2.

6. VALORACIÓN Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

6.1 Resistencia al fuego

De acuerdo a la norma NCh 935/1 Of. 97, la *resistencia al fuego* de un elemento se expresa como el tiempo en minutos, desde el comienzo del ensayo, hasta que dejan de cumplirse las condiciones relativas a capacidad de soporte de carga, aislamiento, estanquidad y no emisión de gases inflamables.

6.2 Criterios de resistencia al fuego

Los criterios para determinar la resistencia al fuego del elemento bajo ensayo son los siguientes:

- Capacidad de soporte de carga. Instante en que el elemento no puede seguir cumpliendo la función de soporte de carga para el cual fue diseñado.
- Aislamiento térmico. Instante en que la temperatura de la cara no expuesta alcanza los 180 [°C] puntual o 140 [°C] promedio, por sobre la temperatura ambiente registrada al inicio del ensayo, o si sobrepasa los 220 [°C] cualquiera sea la temperatura inicial.
- Estanquidad. Instante en que una llama (o gases a alta temperatura), se filtra por las uniones o por grietas o fisuras formadas durante el ensayo, y se sostiene por 10 o más segundos. En el caso de filtración de gases, hay pérdida de estanquidad si al colocar una mota de algodón en la filtración, esta enciende.
- Emisión de gases inflamables. Instante en que los gases emitidos por la cara no expuesta arden al aproximar una llama cualquiera y continúan espontáneamente ardiendo al menos durante 20 [s] de retirada la llama.

6.3 Clasificación de resistencia al fuego

El elemento debe clasificarse como sigue, en función de su resistencia al fuego:

Clase F0	< 15 minutos			
Clase F15	≥ 15 minutos	<	30 minutos
Clase F30	≥ 30 minutos	<	60 minutos
Clase F60	≥ 60 minutos	<	90 minutos
Clase F90	≥ 90 minutos	<	120 minutos
Clase F120	≥ 120 minutos	<	150 minutos
Clase F150	≥ 150 minutos	<	180 minutos
Clase F180	≥ 180 minutos	<	240 minutos
Clase F240	≥ 240 minutos.			

7. CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales al inicio del ensayo fueron las siguientes:

- Temperatura ambiente : 15 [°C]
- Humedad relativa : 54 %

8. RESULTADOS

8.1 Capacidad de soporte de carga

El elemento se sometió a carga mecánica de 120 [kg] por metro lineal, y cumplió su función de soporte de carga durante todo el ensayo.

8.2 Aislamiento térmico

La temperatura puntual máxima admisible de 195 [°C] en la cara no expuesta al fuego se produjo a los 17 minutos de iniciado el ensayo, lo que determinó el tiempo de resistencia al fuego, según lo expresado en 6.2. En ese instante la temperatura promedio era de 134 [°C].

8.3 Estanquidad

El elemento se mantuvo estanco a las llamas hasta el final del ensayo.

8.4 Emisión de gases inflamables

El elemento no emitió gases inflamables durante todo el ensayo.

8.5 Observaciones adicionales

- Como el elemento es simétrico la cara expuesta al fuego fue escogida al azar.
- El panel sufrió deformaciones, las cuales no llegaron a ser causa de falla.
- Hubo producción de humos de carácter moderado.
- Al término del ensayo la cara expuesta al fuego quedó destruida.

8.6 Resistencia al fuego y clasificación.

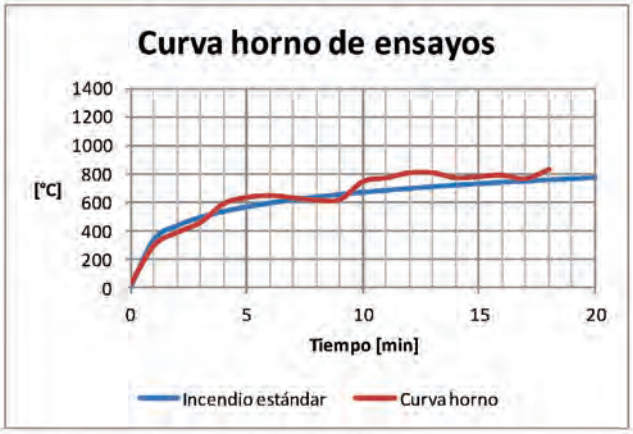
De acuerdo a lo señalado en 8.2, la resistencia al fuego del elemento resultó ser de 17 minutos, alcanzando, según lo expresado en 6.3, la clasificación F15.

Informe N° 773.885 REF: SII tesis/RF/2012

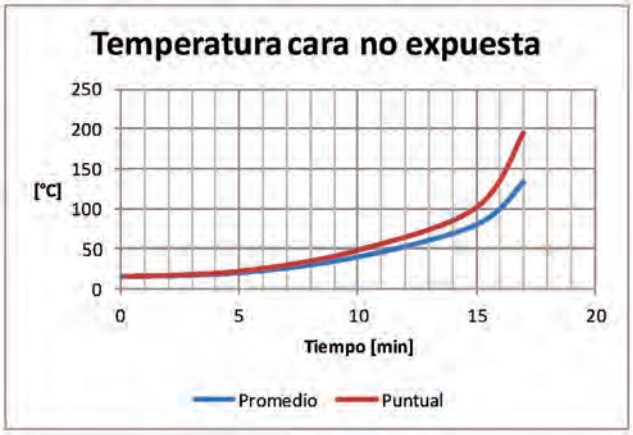
ANEXOS

A. Curvas de ensayo

A.1 Temperatura promedio del horno de ensayo



A.2 Curva de calentamiento cara no expuesta al fuego



B. Fotografías de la probeta

B.1 Previo al montaje en el horno de ensayos



B.2 Previo al ensayo



B.3 A los 15 minutos de ensayo



B.4 Al finalizar el ensayo. Se encierra en rojo zona de falla por aislación térmica.



B.5 A los minutos de finalizado el ensayo.



Estudio del Comportamiento Térmico

1. RESULTADOS Y DISCUSION

1.1. INTRODUCCION

Esta sección corresponde al análisis global del comportamiento de una vivienda social sometida al estudio continuo durante un periodo de un año. El trabajo consiste en el registro cada treinta minutos de tres parámetros: temperatura, humedad relativa y punto de rocío. Estos datos son registrados al interior y al exterior de la vivienda.

Para tener un registro amplio del comportamiento de la vivienda, el estudio contempla el registro de datos en cinco localidades distintas del país, es decir, la vivienda en condiciones similares es ubicada en zonas térmicas distintas:

a. Las Cardas, Zona Térmica 2. Campo Experimental Las Cardas, Comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo.
b. Las Balsas, Zona Térmica 3. Estación Experimental Las Balsas, Comuna de las Cabras, Región del Libertador Bernardo O'Higgins.
c. Santiago, Zona Térmica 3. Comuna de La Pintana, Región Metropolitana de Santiago.
d. Pantanillos, Zona Térmica 4. Sector Empedrado, camino a Constitución, Región del Maule.
e. Frutillar, Zona Térmica 6. Comuna de Frutillar, Región de Los Lagos.

El análisis de los datos busca determinar el comportamiento Higrotérmico de la vivienda, que como ya se mencionó, pertenecen a distintas regiones del país, tomando una mayor relevancia la zonificación térmica desarrollada y descrita en el Manual de aplicación de Reglamentación térmica basada en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones art. 4.1.10. La zonificación se realiza en relación a rangos de Grados-día que corresponden a la diferencia entre una temperatura fijada como base, que en este caso son 15°C y la media diaria de las temperaturas bajo la temperatura de base, igualando a la base las temperaturas superiores a esta. Pudiendo realizarse tomando las temperaturas registradas cada media hora, siguiendo la misma fórmula descrita con anterioridad.

Es necesario destacar las condiciones en las cuales son obtenidos los datos del estudio. La vivienda se encuentra deshabitada durante todo el año de investigación y corresponde a un prototipo de vivienda social. Este dato es importante, ya que, no existirán efectos del uso de la vivienda como las ganancias internas producto de artefactos electrónicos, luminarias y todo lo que implica el habitar una vivienda, así como también no existirá el efecto de ventilación y renovación de aire dentro de la casa. Solo se verá el efecto de la aislación en la envolvente térmica y la respectiva aislación de humedad.

1.2. RESULTADOS Y EVALUACION IN SITU

1.2.1. Grados día de calefacción

La reglamentación térmica nacional con la cual se trabaja, divide el país en 7 zonas de acuerdo a la temperatura media del lugar o más bien con respecto a la diferencia de temperaturas entre una interior de base y la temperatura exterior por medio del método de Grados- Día correspondiente al Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo (Decreto Supremo 47, 2006).

El conteo del Grado-Día permite estimar los requerimientos energéticos anuales en un lugar geográfico dado. El cálculo del Grado-día para calefacción de un día cualquiera, es la sumatoria de la diferencia de temperatura entre la temperatura base o de confort y la temperatura ambiente en cada hora del día. Cabe destacar que si la temperatura ambiente es superior a la temperatura base se sumará cero.

Por ende se calcula los Grados-Día de cada localidad donde se ubican las viviendas de estudio, obteniendo los resultados mostrados en Tabla N°1, y graficados en Figura 1 y Figura 2:

Tabla 1: Grados día mensual de 5 zonas de estudio, bajo condiciones de T° media mensual <15°C.

[Grados-Día]	Las Cardas Zona Térmica 2	Las Balsas Zona Térmica 3	Santiago Zona Térmica 3	Pantanillos Zona Térmica 4	Frutillar Zona Térmica 6
Grados-Día Mensual	648	825	892	1171	1535
Grados-Día Real (Condición T° med mensual <15°C)	232	694	678	807	1328

Como se observa en la Tabla 1, los resultados expuestos corresponden al ajuste realizado al no considerar los meses cuya temperatura media fuera mayor a la temperatura de base, es decir, 15°C.

En la Figura 1 se puede apreciar que existe una correspondencia total de los resultados obtenidos con la zonificación térmica chilena dependiendo de su ubicación geográfica.

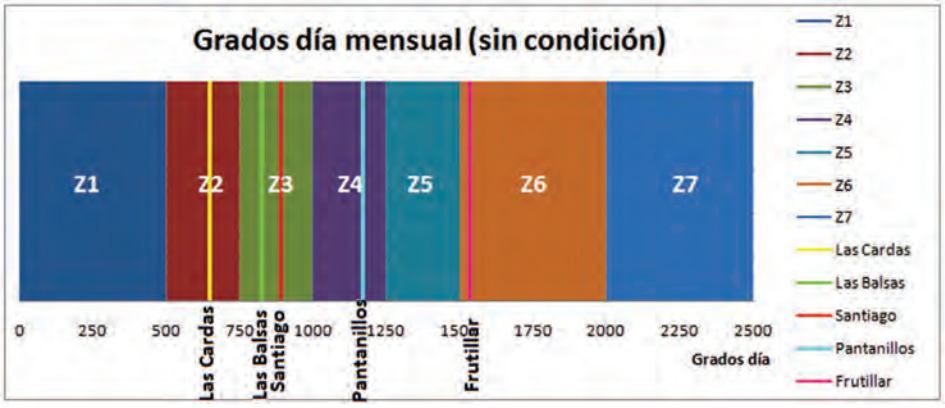


Figura 1: Grados día mensual sin condición de T° media mensual <15°C.

En Figura 2 se puede apreciar una disminución sustancial de los grados día de calefacción al no considerar los Grados-Día de los meses en los cuales se registra una temperatura media mensual mayor a la temperatura base (15°C).

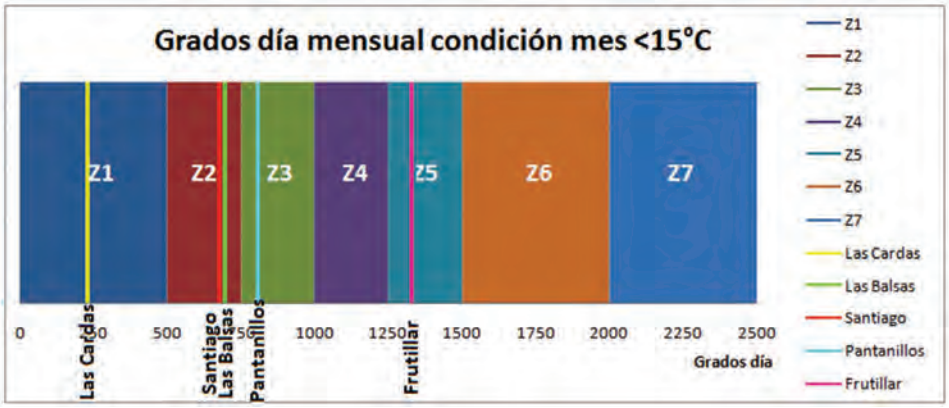


Figura 2: Grados día mensual condición, T° media mensual <15°C.

Se obtiene una tendencia clara que se muestra en los análisis particulares de cada una de las zonas, el mayor porcentaje de Grados-Día de calefacción se tiene en el mes de Julio registrándose valores cercanos al 20% en Frutillar, donde existen la mayor distribución de Grados días de calefacción en el año, y mayores al 53% en las Cardas donde solo se requieren dos meses de calefacción.

En la Figura 3 se expone un promedio de los grados día de calefacción de las 5 zonas donde se encuentran emplazadas las viviendas. Se desprende de esta Figura que los meses en promedio que necesitan una mayor calefacción Agosto, Junio y Julio.



Figura 3: Grados día mensual promedio de 5 localidades.

Comportamiento de la vivienda durante el año

El análisis de la vivienda se realiza en base al estudio de las temperaturas y humedades relativas y resume el comportamiento de la vivienda y su entorno a grandes rasgos. Con estos datos se construyeron las cinco cartas bioclimáticas según zona donde se encuentra emplazada la vivienda y qué medidas se deben adoptar para que la vivienda sea confortable.

Según las cartas bioclimáticas de Givoni se puede ver la importancia de las ganancias internas, la calefacción y la ventilación diurna y nocturna en algunos casos, y de qué forma se puede abordar el disconfort con medidas sencillas que eventualmente generaran un aumento del confort dentro de la vivienda. Es por esto que por ejemplo para Santiago la ventilación diurna y nocturna se hace fundamental para elevar el confort dentro de la vivienda en los días calurosos de verano, así como también las ganancias internas en otoño y primavera, tomando importancia la calefacción en invierno. En esta evaluación se verifica la necesidad en casos de una alta inercia de los elementos que conforman la envolvente térmica.

Para el análisis global del comportamiento de las viviendas se puede decir que en todos los casos el mes más caluroso corresponde a Enero y el mes más frio también en todos los casos corresponde a Julio.

Del análisis individual se desprende que es de suma importancia el conocer la ubicación de la vivienda para diseñarla de forma apropiada, tomando importancia la normativa térmica basada en el Art. 4.1.10 de la OGUC que exige valores de transmitancia térmica (U) de elementos que componen la envolvente térmica fijando valores mínimos de U para complejos de techumbre, muros y pisos ventilados. Esto por la variabilidad de condiciones ambientales de temperatura y humedad, teniendo como ejemplos claros de la variabilidad de estos parámetros en la zona de Frutillar donde se registran las más altas humedades y menores temperaturas, en comparación con Santiago o Las Cardas donde se tienen elevadas temperaturas en verano.

Se desprende del estudio que a medida que avanza el año la humedad relativa interior y exterior aumentan llegando al máximo en junio o julio, presentándose una humedad media mínima interior mayor a la humedad media mínima exterior, ocurriendo el fenómeno inverso cuando se observan las humedades relativas máximas.

1.2.2. Análisis de Temperatura

El análisis de temperatura de las viviendas desarrollado en este estudio corresponde a la clasificación del registro de las temperaturas interiores y exteriores, en 6 rangos que permiten tener una visión clara de cuál es la situación ambiental exterior y como se comporta el modulo de estudio bajo estas condiciones.

Se puede desprender del análisis particular que las temperaturas extremas, es decir, las que superan los 28,3°C y las inferiores a 0°C son evidentemente atenuadas por efecto de los elementos estructurales de la vivienda, así como también los elementos que conforman

la envolvente térmica. Pero al realizar un análisis comparativo de las condiciones exteriores e interiores se puede decir que en lo global el comportamiento de la vivienda bajo cambios de temperatura no fue satisfactorio, obteniendo diferencias mínimas entre los rangos de temperatura confortables.

Se puede decir luego, que al desarrollar el análisis de la vivienda cerrada y sin moradores, no existen ganancias internas del hogar que pudieran colaborar con el aumento del confort dentro del hogar en los meses fríos. Se tiene como casos interesantes de estudio Santiago y Frutillar donde en este último solo se tiene un 9,7% de las horas anuales dentro del rango de temperatura de confort (18,3≥ T° ≥28,3), teniendo prácticamente 6 meses donde la temperatura interior de la vivienda fue inferior a 18,3°C. Presentándose un caso interesante debido a que al tener temperaturas medias bajas (mensuales y anuales) tienden a aumentar las temperaturas entre los 5°C y los 18,3°C, fenómeno predecible debido a que como se dijo anteriormente no existen aportes de calor dentro de la vivienda, y tienden a equilibrar la temperatura en valores cercanos a la media.

Y en el primero, es decir, Santiago se tienen las mayores oscilaciones térmicas entre invierno y verano, destacando en este caso la disminución en su totalidad de las temperaturas bajo cero en junio que ascendían a un 2,8% de las horas de ese mes, atenuándolas y obteniendo valores sobre 0°C al interior de la casa.

Para los meses de calor se obtienen situaciones similares a lo descrito con anterioridad, obteniéndose una atenuación de los valores máximos, con excepción del modulo ubicado en Las Cardas, zona térmica 2, donde se registran aumento de la temperatura interior de la vivienda incrementando los registros exteriores donde en enero un 17,3% de las horas la temperatura superó los 28,3°C y al compararla con los registros interiores de un 36,8% de las horas sobre los 28,3°C. En este caso debe ocurrir que la radiación solar toma un rol preponderante incrementado también con la nula ventilación que eventualmente podría disminuir esas altas temperaturas, aumentando las temperaturas en el rango de confort.

Se puede decir con esto que bajo estas condiciones de inhabitabilidad de la vivienda, que la aislación térmica de la vivienda es deficiente y no logra generar aumentos significativos en los rangos de confort, así como también no se logra una atenuación importante de las oscilaciones térmicas horarias.

1.2.3 Análisis de Humedad Relativa

El análisis del comportamiento de la vivienda bajo el parámetro de humedad relativa es interesante debido a que se obtienen resultados favorables de confort en prácticamente todos los casos. Cabe destacar que se considera confort en invierno en los rangos entre 30% y 85% de HR, así como también en verano se considera confort entre 20% y 70% de HR.

Se puede decir que bajo este parámetro la vivienda tuvo un excelente comportamiento, viéndose reflejado en los análisis individuales de las viviendas.

Tomando como referencia Las Balsas, comparando la situación exterior del mes donde

se registra una mayor humedad relativa (Junio) con la situación interior se obtiene que la Humedad relativa al exterior de la vivienda registra 64% de las horas del mes una HR >85%, con solo un 36% de horas donde se obtuvo confort. Comparándolo con la situación al interior de la vivienda donde la humedad relativa mayor al 85% bajó a un 0,9%, aumentando las horas de confort hasta un 99,1% en ese mes.

Ahora analizando Frutillar que es el que presenta mayores desafíos con respecto a la humedad relativa donde en más del 50% de las horas del año se presentan Humedades Relativas sobre el 85%. En este caso el comportamiento de la vivienda fue bueno aislando en un alto porcentaje estas altas humedades registrándose un 12% de las horas anuales una humedad relativa mayor a 85%, aumentando el confort dentro de la vivienda en un alto porcentaje, por ejemplo en junio donde se logra una situación de confort al interior de la vivienda de un 82,1%, subiendo 80,4 puntos porcentuales con respecto a la situación exterior.

Por lo tanto, se puede decir que los componentes estructurales y de aislación cumplen el objetivo de aislar la humedad Relativa del ambiente generando un alto porcentaje de confort dentro de la vivienda. Al analizarla de forma global según zonas térmicas se puede decir que tuvo un buen comportamiento en las distintas ubicaciones geográficas, solo en Frutillar, que es donde se registran Humedades Relativas externas muy altas durante todo el año, pudo verse comprometido el confort durante algunos periodos, pero de todas formas logra cumplir en un alto porcentaje aislar la HR exterior.

1.2.4 Análisis de factores de Bienestar Higrotérmico de verano e invierno

El análisis del bienestar Higrotérmico se desarrolla estudiando los puntos críticos de temperatura y humedad, dados por las estaciones más frías y más calurosas del año.

- **Situación de verano**

La Tabla 2 y Figura 4 entrega los valores de confort higrotérmico de las 5 ubicaciones de las viviendas, es importante para el análisis saber cuáles son los factores determinantes que provocan el disconfort dentro de la vivienda, en este caso en un alto porcentaje el factor determinante fue la temperatura excepto en Frutillar donde la temperatura no es factor, y la humedad toma un papel preponderante en el disconfort.

Tabla 2: Porcentajes de Confort en verano.

	Las Cardas [% Horas]	Las Balsas [% Horas]	Santiago [% Horas]	Pantanillos [% Horas]	Frutillar [% Horas]
Confort	82,50%	77,83%	78,70%	91,41%	62,45%
No existió confort	17,50%	22,17%	21,30%	8,59%	37,55%
Total horas	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

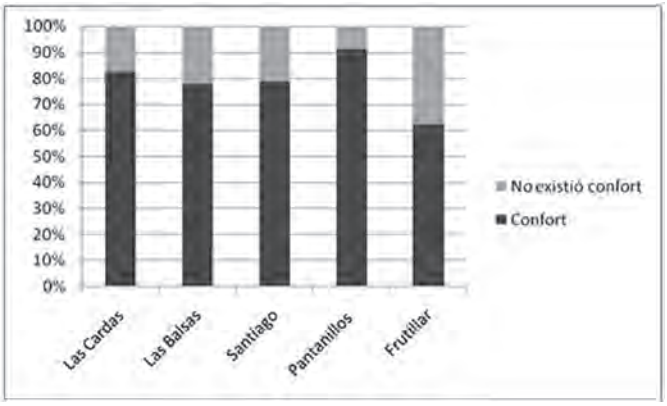


Figura 5: Porcentajes de horas en verano donde se tiene confort higrotérmico.

Es interesante ver el alto porcentaje de horas en verano donde la vivienda se encuentra en confort higrotérmico, situación que se puede ver incrementada si se considera ventilación diurna y nocturna para Las Cardas, Las Balsas, Santiago y Pantanillos donde las altas temperaturas generan disconfort, no así en Frutillar donde el factor de disconfort es la humedad relativa que genera ese 37,5% de horas en donde no se tiene confort higrotérmico.

Al observar las graficas de confort horario expuesto en el análisis individual se tiene un peak entre las 16:30 y las 18:30 en donde se producen los más altos porcentajes de horas donde en la vivienda no se obtiene confort, con excepción de Frutillar donde al estar regido por la humedad relativa no sigue el comportamiento de la temperatura exterior.

- **Situación de invierno**

La Tabla 3 y Figura 5 muestran de la misma forma que lo hecho en verano la distribución de los datos de confort higrotérmico de las 5 ubicaciones de las viviendas, es importante para el análisis saber cuáles son los factores determinantes que provocan el disconfort dentro de la vivienda, en este caso en un alto porcentaje el factor determinante fue también la temperatura inclusive en Frutillar donde la temperatura es el factor principal, pero la humedad no deja de ser importante para estos análisis.

	Las Cardas [% Horas]	Las Balsas [% Horas]	Santiago [% Horas]	Pantanillos [% Horas]	Frutillar [% Horas]
Confort	19,47%	3,83%	14,79%	4,42%	0,02%
No existió confort	80,53%	96,17%	85,21%	95,58%	99,98%
Total horas	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 3: Porcentajes de Confort en invierno.

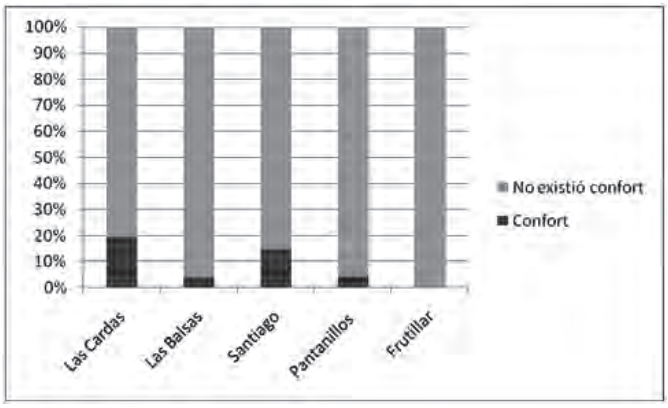


Figura 5: Porcentajes de horas en invierno donde se tiene confort higrotérmico.

Se desprende de las graficas que la temperatura es nuestra mayor preocupación y la responsable de altos porcentajes de disconfort dentro de la vivienda, si se considerara en el estudio la vivienda habitada, probablemente estos valores disminuirían debido a ganancias internas, teniéndose una menor cantidad de horas donde efectivamente se necesite calefacción.

En Frutillar el factor humedad vuelve a ser importante, esta vez aminorado por que en invierno la tolerancia a la humedad por criterios de confort aumenta de un 70% a un 85%, pero es un factor que está presente durante todo el año. Analizando ahora el global de Frutillar se da una situación interesante, ya que, en ningún momento del invierno al interior de la vivienda se registró confort higrotérmico.

Si se analiza horariamente pasa un fenómeno inverso al invierno, ya que, en esta estación el aumento de temperatura es valorado, ya que, eleva en algunos grados la temperatura, y esto también se da cerca de las 16:00 hrs.

1.2.5. Análisis de Inercia Térmica

Durante todo el año se puede observar que la inercia térmica de los muros actúa produciendo que la vivienda acumule calor durante el día y disminuyendo las fluctuaciones de humedad relativa interior con respecto a la humedad relativa exterior.

Para todas zonas donde se emplazan las viviendas de estudio, coincide que el mes más frío fue Julio y el mes más cálido fue Enero a pesar que puede que en esos meses no se registren temperaturas puntuales máximas o mínimas anuales.

Con relación al análisis de la semana con la temperatura más baja del mes más frío, se observa en promedio un desfase entre mínimas temperaturas de aproximadamente 2 horas obteniéndose un delta de temperatura de 2,4°C entre Temperatura mínima exterior y temperatura mínima interior ese mismo día.

Se puede apreciar que la temperatura al interior de la vivienda tiene una alta oscilación siguiendo rápidamente las oscilaciones de temperatura exterior. Esta situación no es

óptima en relación a que refleja una baja inercia térmica de los elementos constructivos y eventualmente una deficiencia en la aislación térmica. Cabe destacar que los datos recogidos fueron obtenidos de una vivienda sin moradores pudiendo mejorar el desempeño de la vivienda al considerar aportes internos de calor.

Todas las viviendas necesitan un aporte de calefacción para enfrentar temperaturas bajas de invierno, ya que, todas por lo menos en la semana más desfavorable registran temperaturas bajo el límite mínimo de confort térmico.

Al analizar el comportamiento de las viviendas en la semana más fría con respecto a la humedad relativa se corrobora lo expuesto en la sección 1.2.4 donde se destacaba la capacidad de amortiguación de las oscilaciones de humedad relativa del exterior al interior de la vivienda. Indistintamente de la ubicación geográfica se registran resultados muy favorables disminuyendo casi totalmente las oscilaciones de HR y consiguiendo en un porcentaje muy alto estar dentro del rango de confort dentro de esta variable.

Para el análisis de la semana con la temperatura más alta se realiza de forma similar a la semana más fría, donde esta vez se registra en todos los sectores temperaturas interiores superiores al límite máximo de confort térmico con excepción de Frutillar donde en esa semana de estudio no se superó el límite de los 28,3°C.

Se obtiene un desfase de aproximadamente 2 horas entre temperaturas peak y una diferencia de aproximadamente 3°C. Observándose nuevamente una alta oscilación de la temperatura interior.

Se destaca el caso de Las Cardas donde se registran temperaturas interiores mayores en todo momento a las temperaturas exteriores, situación que no se repite en los otros casos. Esto puede deberse debido a la alta radiación solar producida en la zona de estudio.

Con respecto a la humedad relativa se registra una situación similar a lo expresado en la semana más fría donde queda nuevamente reflejado del análisis particular la gran capacidad de amortiguamiento de las oscilaciones exteriores.

Del análisis particular se desprende que en todos los casos existe una correlación entre temperatura y humedad. A medida que la temperatura interior (exterior) aumenta, disminuye la humedad relativa y viceversa, esto genera que la vivienda dentro de este periodo se encuentre en un gran porcentaje dentro de los rangos de confort de humedad relativa.

La condición de altas temperaturas se podría atenuar en muchos casos con ventilación de la vivienda en una situación real de ocupación humana.

1.3. CONCLUSIONES

El estudio del confort higrotérmico desarrollado en este trabajo es una buena aproximación para evaluar la vivienda y para detectar algunas problemáticas que se generan producto de las condiciones ambientales propias de cada zona térmica. Es interesante el estudio

en condiciones extremas de temperatura y humedad relativa producidas para cada zona térmica (verano e invierno), así como también el análisis de zonas extremas del país que en este caso fueron las zonas de Las Cardas donde se registran las mayores temperaturas, y Frutillar donde se obtienen las más altas humedades y bajas temperaturas.

Producto de esto y analizando las conductas que se debieran tener dentro de la vivienda para mejorar el porcentaje de confort, disminuyendo las temperaturas excesivas en verano y aumentando las bajas temperaturas en invierno, y tomando en consideración la inhabitabilidad de las viviendas estudiadas, es que la ventilación cobra importancia en verano, así como también la calefacción en invierno. Pudiendo mejorarse sustancialmente las horas de confort al considerar las ganancias internas producto de la ocupación del hogar.

Considerando las condiciones de medición que se efectúan con la vivienda cerrada y deshabitada, se podría mejorar la evaluación de la vivienda al realizar las mediciones de la vivienda habitada en una segunda etapa, lo que entregaría datos fieles del impacto de la ocupación, como ganancias internas, ventilación, calefacción y otros factores que influyen en la humedad y temperatura interior, o bien incorporarlo en una simulación considerando estos factores suponiendo condiciones tipo.

Esto generaría el poder contrarrestar la condición de habitabilidad con las componentes propias de una vivienda en servicio, tales como ventilación por apertura y cierre de puertas y ventanas, calor adicional por la presencia de personas en su interior y cambios en la humedad relativa por hervor de alimentos y duchas, por lo que la medición que se realiza sin considerar estos factores constituye un sesgo para el estudio.

Al analizar la humedad relativa dentro de la vivienda se determina que los elementos constructivos y de aislación pertenecientes a la envolvente atenúan en un gran porcentaje las oscilaciones de Humedad Relativa al interior de la vivienda. En las viviendas ubicadas en las zonas de Las Cardas, Las Balsas, Santiago y Pantanillos se obtiene una condición de confort producto de la Humedad Relativa dentro de la vivienda prácticamente total. En el caso de Frutillar donde se tienen altos porcentajes de Humedad Relativa mayores al 85% se logran resultados que en los momentos más críticos eleva el confort en 80,4 puntos porcentuales con respecto a las mediciones exteriores.

El comportamiento de la vivienda al analizarla bajo confort térmico, si bien logra atenuar temperaturas extremas de forma moderada, es la principal fuente de disconfort dentro de la vivienda, siguiendo rápidamente las oscilaciones de temperatura, ya sea, para condiciones de calor y frio. Se detecta un mejor comportamiento bajo temperaturas altas que bajas.

Este punto es esencial para el bienestar dentro de la vivienda, y como ya se dijo, bajo las condiciones de medición de inhabitabilidad. Se registran en verano problemas con las altas temperaturas dentro de la vivienda, sobre todo en las zonas correspondientes a Las Cardas, Las Balsas y Santiago donde se registran en el mes más desfavorable registros mayores al 20% de horas donde las temperaturas superan los 23,3 °C considerada como límite superior de la temperatura de confort térmico, y en menor medida Pantanillos con un 8,8% y Frutillar que no se registran temperaturas sobre el confort.

Esto también se replica para las bajas temperaturas, donde existe una atenuación de temperaturas extremas que en algunos casos baja de 0°C pero no se logran situaciones de confort en ningún momento del mes más frío con excepción de Las Cardas y Santiago que en julio registran cerca de un 8% de horas de bienestar térmico, y en el resto de las localidades el confort es nulo, siendo crítico el caso de Frutillar donde existen prácticamente seis meses donde no se obtiene confort térmico.

Lo que genera por conclusión que la vivienda térmicamente se podría mejorar incorporando nuevos elementos que mejoren la envolvente térmica, y si se considera ocupación de la vivienda, por ende, ganancias internas y ventilación, la condición térmica aumentaría el porcentaje de confort.

Verificación estructural

Para calcular las viviendas de emergencia, lo que se recomienda es seguir lo que indica el punto 4 (Consideraciones de diseño) de la norma NCh 1198. En ese punto se indica lo que debe incluir la memoria de cálculo y que normas se deben considerar para el análisis. Alternativamente se puede optar por utilizar las recomendaciones de diseño que publicó Arauco para sistemas de techo, pisos y paredes. Dichas recomendaciones se encuentran en el capítulo 2 del libro "Ingeniería y Construcción en Madera" disponible en la página web.

http://www.arauco.cl/pdf/Libro%20Ing%20y%20Const%20Madera.pdf

El libro es muy completo y tiene ejemplos por lo que no habría nada que agregar.

Introducción

- Chile país sísmico
- Terremotos causan cuantiosos daños materiales
- Es importante asegurar una respuesta rápida de tipo habitacional.
- Se entregan viviendas provisorias que en la practica perduran en el tiempo, dejando de lado los requisitos mínimos de calidad, habitabilidad, seguridad y protección.
- Surge la necesidad de crear viviendas con un estándar mínimo de habitabilidad según la zonas geográficas, incorporando las tecnologías constructivas, pero priorizando la relación costo/beneficio ç

Objetivos

Objetivo Principal: Analizar la respuesta estructural del prototipo de vivienda de emergencia ante-solicitaciones de diversa índole (cargas permanentes, cargas de uso, nieve y sismos).

Objetivos Secundarios:

- Analizar la respuesta del modelo ante diversas solicitaciones como cargas permanentes, de nieve, viento y sismo.
- Identificar qué porcentaje de la solicitación máxima tolera el prototipo en caso que no cumpla con la normativa vigente.
- Realizar un modelo del prototipo de vivienda de emergencia mediante un programa de análisis estructural.
- Realizar un modelo que permita predecir el comportamiento de los tabiques estructurales ante solicitaciones laterales, verticales y fuera de plano.
- Analizar resultados de los ensayos realizados en laboratorio a los paneles de OSB.

Antecedentes

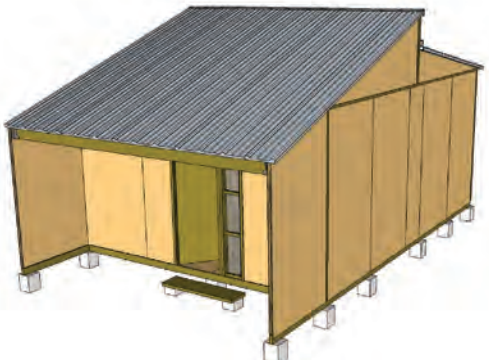
El 2009 fue presentado el proyecto FONDEF D09I1058:

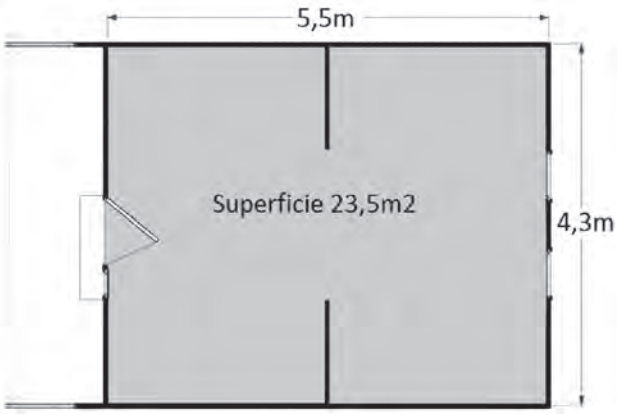
"Desarrollo de las bases técnicas y normativas para prototipos de vivienda modular, con énfasis en soluciones de emergencia, bajo criterios técnicos, geográficos y económicos que mejoren su eficiencia y funcionalidad"

Pretende establecer y proponer un estándar mínimo de habitabilidad en las viviendas de emergencia por zonas geográficas, incorporando las tecnologías constructivas, pero priorizando la relación costo/beneficio.

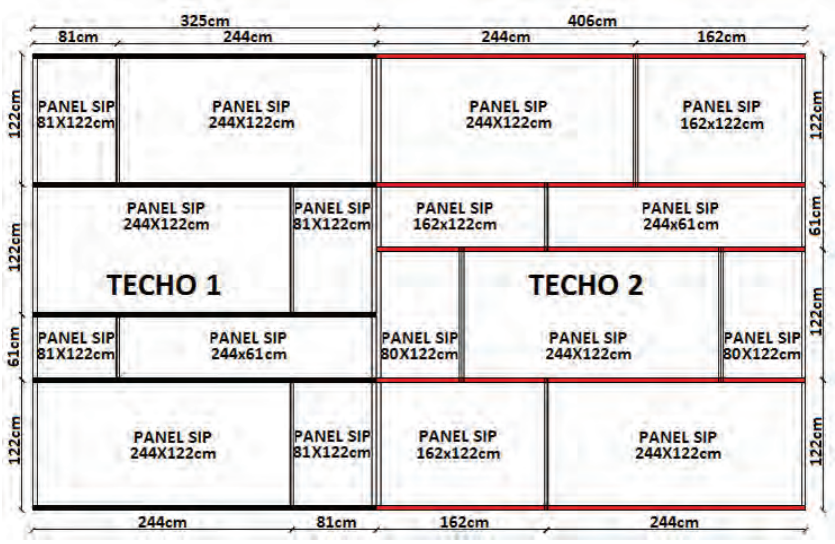
Características de la vivienda

- Vivienda unimodular.
- Tiempo de armado: 4 días contando con 3 operarios.
- Superficie: 23,5m^2
- Muros: paneles SIP de 64mm.
- Techo: panel SIP de espesor variable dependiendo de zona climática.



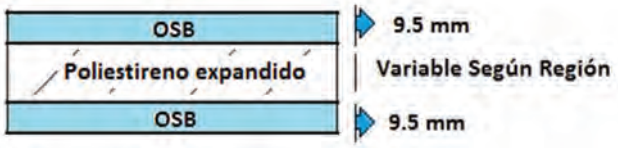


Detalle Techo



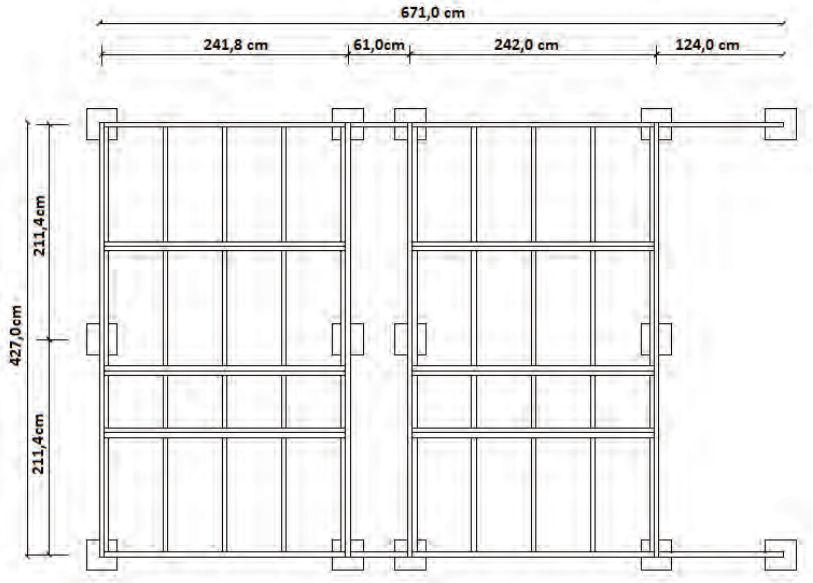
Techo 1, pendiente de 9,31°
Techo 2, pendiente de 23,09°

Localización	Espesor Poliestireno expandido [mm]	Espesor Panel SIP [mm]
Las Cardas	45	64
Santiago	80	99
Las Balsas	80	99
Pantanillos	100	119
Frutillar	140	159



Estructura de Piso

- Entramado de piso es el mismo para todas las zonas. Madera impregnada seca de pino radiata de 2”x 6” en la periferia y en 2”x 4” en las vigas interiores.
- Apoyos de hormigón en zonas climáticas mas lluviosas (6) y rollizos impregnados de 5 a 6” de diámetro en zonas climáticas (2; 3 y 4).
- Se utilizo fibra sintética FISITERM de 50 mm de espesor y se agregó una membrana impermeable de tafetta por la parte posterior de este sistema de piso en las zonas climáticas 2; 3 y 4.
- Para la zona climática 6 se empleó poliestireno expandido de alta densidad (30kg/m^3) en 90mm de espesor.
- La parte superior del piso fue resuelta con contrachapado estructural de pino radiata en 18mm de espesor.



Unión paneles

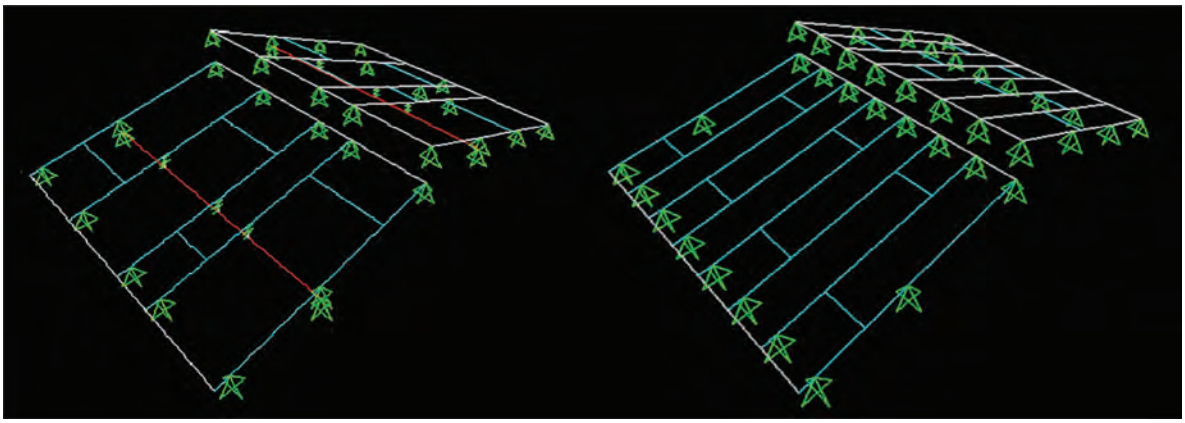
- Muros tipo SIP de 64mm de espesor formado de dos capas externas de OSB de 9,5mm y un núcleo de poliestireno de 15kgf/m^3 de densidad, unidos mediante adhesivo poliuretano de 2 componentes.
- Los costados del panel se inserta un pie derecho de 45mm x 45mm y se pega media madera ,y la mitad restante al panel contiguo mediante spack de 1 ¼”

Normativa utilizada

- NCh 431 Of. 2010, Construcción-Sobrecargas de Nieve
- NCh 432 Of. 2010, Diseño estructural- Cargas de viento
- NCh 433 Of. 1996 Diseño sísmico de edificios
- NCh 1537 Of. 2009, Diseño estructural- Cargas permanentes y cargas de uso
- NCh 3171 Of. 2010, Diseño Estructural-Disposiciones generales y combinaciones de cargas
- NCh 1198 Of. 2006, Madera-Construcciones en Madera-Cálculo
- NCh 2165 Of. 1991, Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de Pino radiata

Estructura de techo

- La viga de color rojo es una viga laminada encolada de laminación vertical.
- Las vigas de color celeste corresponde a vigas simples de pino radiata.
- Las vigas de color blanco corresponde a vigas laminada encolada de laminación vertical.
- Todos los prototipos cumplen con las combinaciones de cargas que involucran peso propio y cargas de viento.
- Los prototipos de las Cardas, Santiago y Las Balsas presentan problemas para tolerar la carga de uso de techos (por concepto de mantención) equivalente a 100kgf/m^2.
- En el caso de las cargas de nieve se tiene problemas en Santiago para aquellas zonas ubicadas sobre los 600msnm. Para las zonas bajo los 600msnm se cumple con la normativa que existente, la cual considera una carga de 25kgf/m^2 por concepto de acumulación de nieve.
- Los prototipos emplazados en las localidades de Pantanillos y Frutillar cumple con todos los requerimientos que establece la normativa nacional.



Modelo elaborado en SAP2000 para estudiar el comportamiento de las vigas de techo

- Cargas máximas toleradas por el prototipo para aquellas combinaciones de cargas que generan problemas.

Localidad	L dist (i)		L puntual (ii)		Nieve	
	Techo 1	Techo 2	Techo 1	Techo 2	Techo 1	Techo 2
Las Cardas	30kgf/m²	62kgf/m²	237kgf	288kgf	No Aplica	No Aplica
Santiago	92kgf/m²	C.N. (iii)	328kgf	C.N.	42kgf/m²	C.N.
Las Balsas	92kgf/m²	C.N.	328kg	C.N.	C.N.	C.N.
Pantanillos	C.N.	C.N.	C.N.	C.N.	C.N.	C.N.
Frutillar	C.N.	C.N.	C.N.	C.N.	C.N.	C.N.

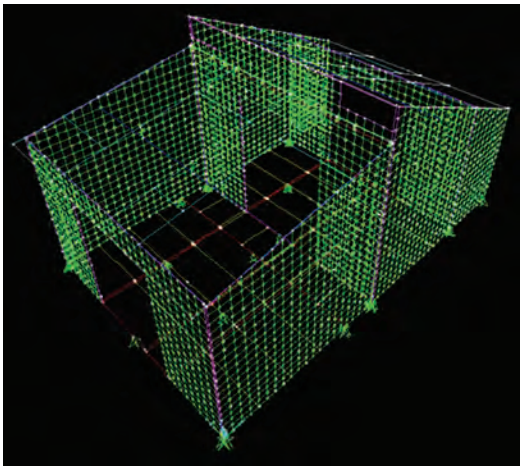
i) L dist: carga viva uniformemente distribuida.
ii) L puntual: carga puntual en la posición más desfavorable.
iii) C.N. cumple con la normativa.

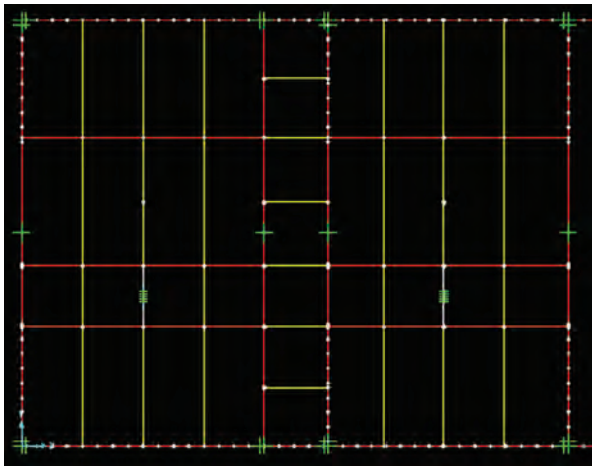
Los prototipos de Las Cardas, Santiago y Las Balsas toleran a lo menos que tres personas de unos 80kgf accedan a los techos a realizar reparaciones.

En Santiago el prototipo tolera una carga por concepto de acumulación de nieve de 42mgf/m², la que equivale al 84% de la carga de nieve para las zonas emplazadas entre los 600 a 900msnm

Piso

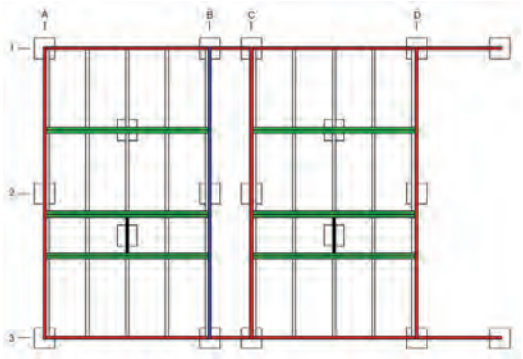
Metodología de análisis desde la localidad con las condiciones ambientales más adversas a las mas favorables.





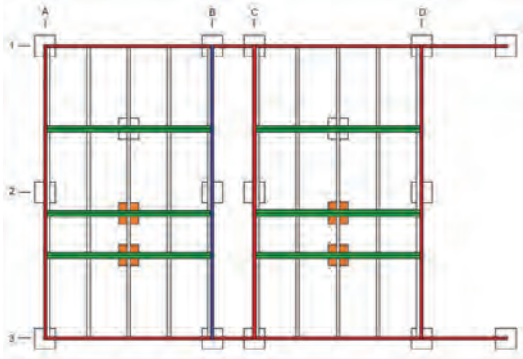
Modelo elaborado en SAP2000 para estudiar el comportamiento de las vigas de piso

Esquemas de las vigas de piso que componen el prototipo de vivienda de emergencia. En donde se observan dos configuraciones:



Configuración 1

Color	Escuadría [mm]
Roja	45 x 142
Azul	45 x 142
Verde	2 vigas de 45 x 142
Blanca	45 x 94
Negra	2 vigas de 45 x 142



Configuración 2

Para la localidad de Frutillar, la viga representada de color azul esta sobre exigida y tolera el 97,5% de la carga de uso de piso (200kgf/m^2). Para Pantanillos, Las Balsas, Santiago y Las Cardas se cumple con la normativa. Las vigas restantes cumplen con la normativa en todas las localidades.

La Carga lateral admisible que tolera un panel se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$P_{admisible} = \frac{(P_{f\text{- prom}} - z \cdot \sigma)\ kgf/m}{FA}$$

$P_{admisible}$: carga total admisible aplicada
$P_{f\text{- prom}}$: promedio de la resistencia máxia de la carga total aplicada (4670kgf)
Z : 3.2860 (para un número de 3 observaciones para un percentil del 5% y una confiabilidad estadística del 75%)
σ : desviación estandar, en ese caso se supone del 10%
FA : factor de ajuste igual a 3,0. Basado en el factor de seguridad utilizado por TECNOPANEL

Resultando: $\boldsymbol{P_{admisible} = 1060{,}71 kfg}$

Sismo de diseño

- Método estático, NCh433 NCh 433 Of. 1996, mas decreto supremo DS61
- Factor de Reducción R = 1
- Corte máximo $Q_{max} = \frac{PI \ 0{,}90 \ S \ A_o}{g}$

A_0	Zona Sísmica
	I = 0,20g
	II = 0,30g
	III = 0,40g
S	Tipo de Suelo
	A = 0,90
	B = 1,00
	C = 1,05
	D = 1,20
	E = 1,30

Corte máximo por localidad y tipo de suelo en kgf

Localidad	Peso sobre el nivel basal	Zona Sísmica	Tipo de suelo				
			A	B	C	D	E
Las Cardas	1610	I	782,46	869,40	912,87	1043,28	1130,22
Santiago	1692	II	822,31	913,68	959,36	1096,42	1187,78
Las Balsas	1692	III	1096,42	1218,24	1279,15	1461,89	1583,71
Pantanillos	1739	III	1126,87	1252,08	1314,68	1502,50	1627,70
Frutillar	1861	III	1205,93	1339,92	1406,92	1607,90	1741,90

Comentario:

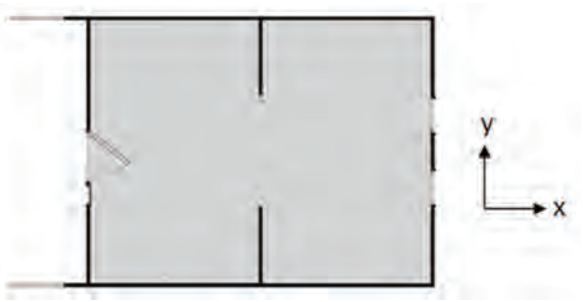
Una vez conocida la capacidad a corte se procede a calcular el sismo de diseño que establece la norma NCh433. Para ello se utiliza el método estático. El corte máximo depende de la zona sísmica donde se localice el prototipo y del tipo de suelo. El factor I tiene relación con el tipo de estructura que se está analizando, en donde I=1 para estructuras de tipo habitacional.

La tabla indica el esfuerzo de corte que debe tolerar el prototipo de vivienda de emergencia según localidad y tipo de suelo.

Notar que el prototipo más demandado corresponde al emplazado en frutillar sobre suelo E. Los tipos de suelo se describen en detalle en el decreto supremo 61.

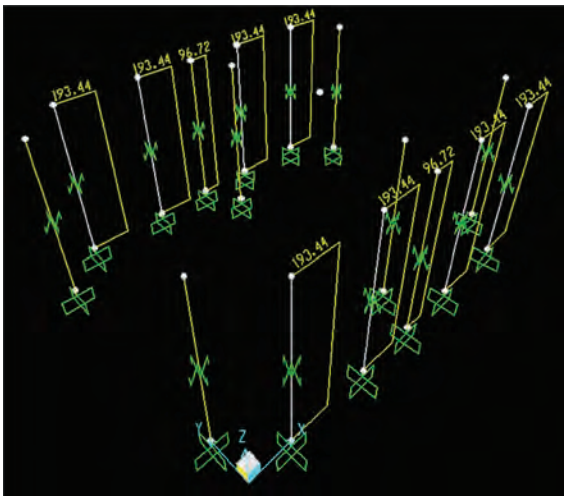
Comportamiento prototipo ante sismo de diseño:

Se estudia el comportamiento de la estructura frente al sismo de diseño para la localidad mas desfavorable (Frutillar emplazada en suelo E), al solicitar la estructura en el eje X e Y.



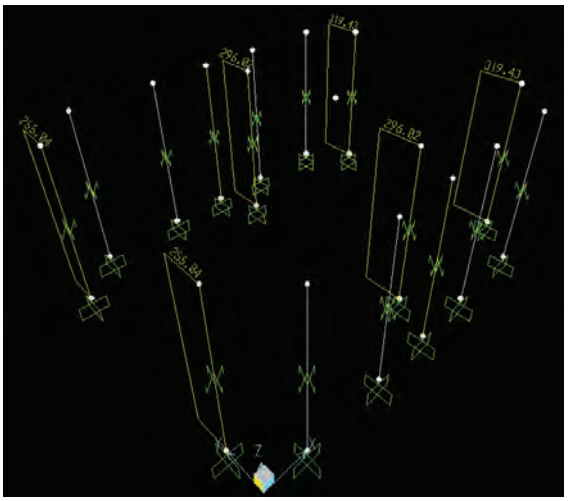
Se elabora un modelo en SAP2000 para estudiar los esfuerzos de corte que toma cada panel

Comportamiento paneles del eje x ante sismo de diseño en el eje x:



Los paneles están solicitados a un 18% de su capacidad. Los paneles que absorben la mitad de los esfuerzos son también de la mitad del lago, pues la resistencia de un panel es proporcional a su largo.

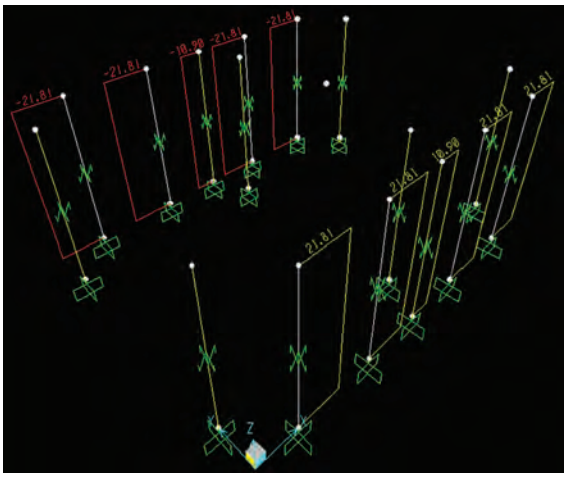
Comportamiento paneles del eje y ante sismo diseño en el eje y



Los paneles están solicitados a un 30% de su capacidad. Sin embargo no todos toman los mismo esfuerzos, debido a que la estructura no es simétrica en el eje Y.

La estructura tiende a rotar y los paneles contenidos en el eje X también toman esfuerzos.

Comportamiento paneles del eje x ante sismo diseño en el eje y



Los paneles están solicitados a un 2% de su capacidad. Los paneles que absorben la mitad de los esfuerzos son también de la mitad del lago, pues la resistencia de un panel es proporcional a su largo.

Resultados ensayos de panel sometido a carga perpendiculares a su plano

Panel Muestra Nº	Pérdida de proporcionalidad			Resistencia máxima	
	Carga total aplicada (kgf)	Carga normalizada (kgf/m)	Deflexión central (mm)	Carga total aplicada (kgf)	Carga normalizada (kgf/m)
1	327,32	268,19	5,61	1403,13	1150,24
2	263,08	215,16	4,51	1263,43	1036,03
3	324,27	266,15	5,57	1660,09	1360,30

La carga admisible que tolera el panel se obtiene de manera análoga al panel sometido a carga lateral resultando:

$$F_{admisible\ l} = 267{,}08\ kfg$$

Dicha fuerza equivale a aplicar una carga uniformemente distribuida de:

$$q_{admisible\ del\ panel} = 92{,}19\ kfg/m^2$$

Cargas de Viento

Nivel de utilizacion de paneles sometidos a cargas de viento

La presión que genera el viento varía según la velocidad básica de viento en [m/s] asociada a cada localidad.

Localidad	Velocidad básica de viento
Las Cardas	35
Santiago	35
Las Balsas	35
Pantanillos	40
Frutillar	40

Presiones de viento en la dirección “Y” sobre los paneles más solicitados

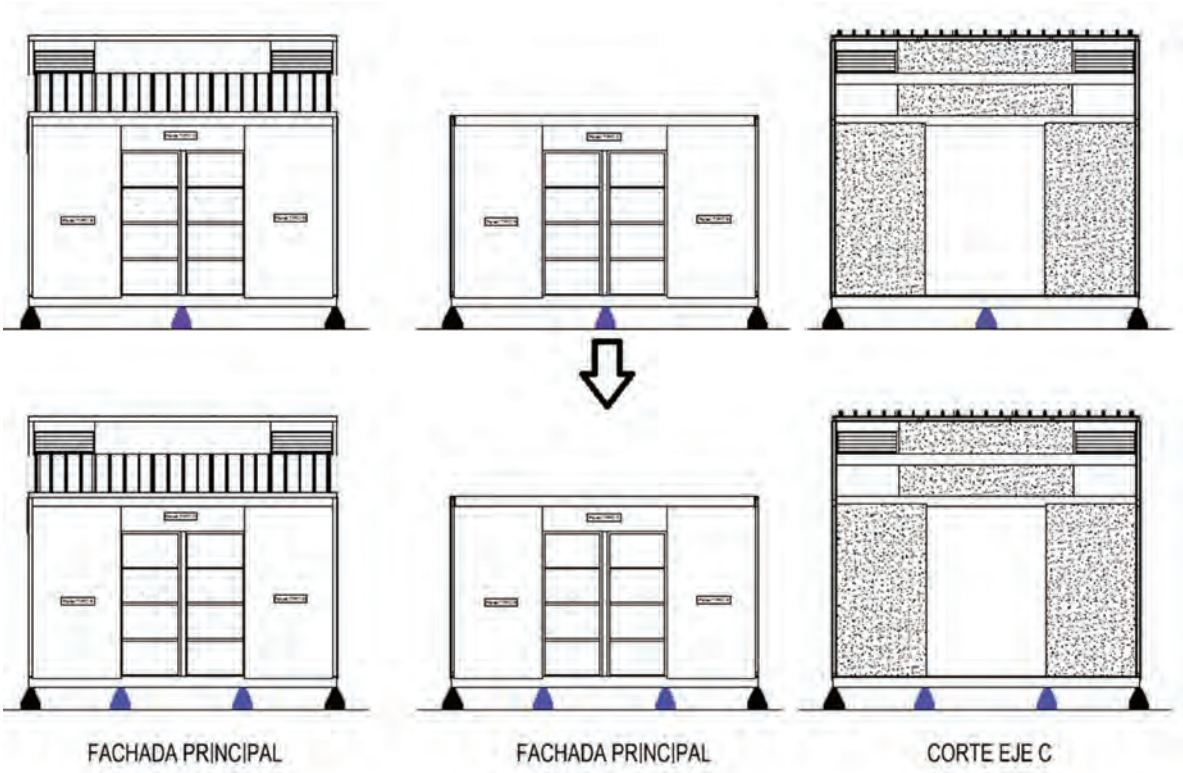
	Velocidad básica de viento		Presión mínima	Unidad
Presión de viento	35m/s	40m/s		
	34,45	79,05	48,00	kgf/m²
FU	0,37	0,86	0,52	-

Presiones de viento en la dirección “X” sobre los paneles más solicitados

	Velocidad básica de viento		Presión mínima	Unidad
	35m/s	40m/s		
Presión de viento	40,31	92,49	56,16	kgf/m²
FU	0,44	1,00	061	-

Recomendaciones

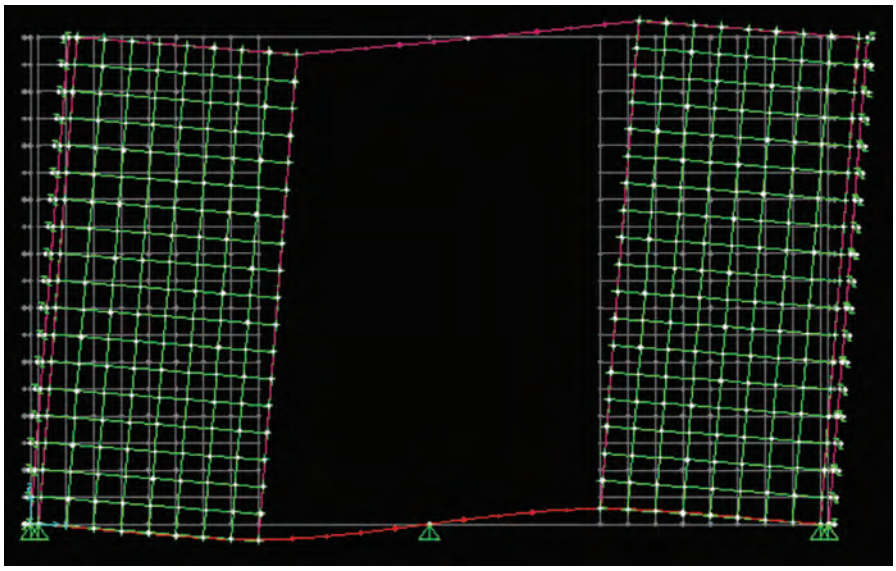
1 Cambiar apoyos



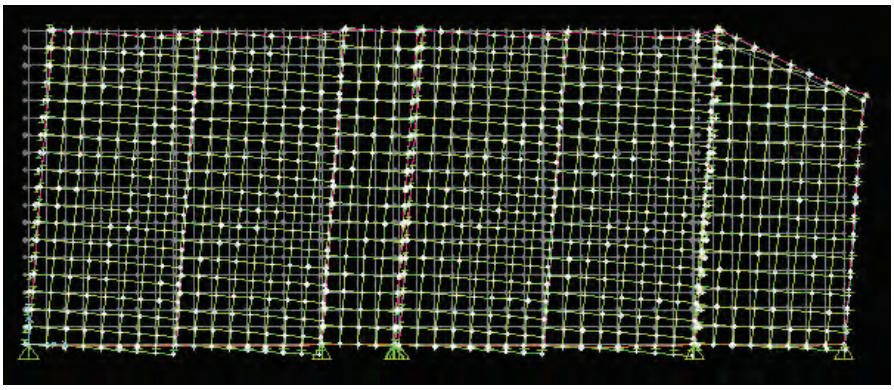
Comentario:

Se recomienda cambiar el apoyo de color azul de la parte superior de la figura por la configuración que se observa en la parte inferior. La razón se observa en las siguientes diapositiva:

Panel deformado, para sismo en eje y



Panel deformado, para sismo en eje x



Conclusiones

- **Techos:** los prototipos que cumplen con la normativa son los de Pantanillos y Frutillar. Los prototipos restantes presentan dificultades con la combinación de carga que exige una sobrecarga de uso de 100kgf/m^2 para techos con acceso solo para mantención, sin embargo dichos techos no presentan problemas que accedan a lo menos 3 personas de 80 kilos simultáneamente a realizar reparaciones.
- **Pisos**: las vigas se piso que están expuestas a condiciones ambientales más desfavorables corresponde a las emplazadas en frutillar y la mas demanda tolera un 97,5% de la carga de uso de piso que establece la normativa. El valor obtenido no afecta el buen funcionamiento del sistema de piso.
- **Sismo:** el nivel de demanda de los paneles, varía según la zona sísmica y el tipo de suelo. El caso más desfavorable corresponde al prototipo ubicado en Frutillar sobre suelo E. El panel más solicitado trabaja a un 30% de su capacidad. Respecto a las cargas de viento el panel más demandado trabajo a un 100% de su capacidad por lo que cumple con la normativa nacional.

Resistencia al fuego

La resistencia al fuego es la cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio estándar, sin deterioro importante de su capacidad funcional. Esta cualidad se mide por el tiempo en minutos durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, estanquidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables (Norma Chilena NCh 935/1.Of97).

La normativa vigente dictada por la OGUC menciona que "[…] las viviendas aisladas, pareadas o continuas, de hasta 2 pisos, cuya superficie edificada sea inferior o igual a 140m^2, tendrán una resistencia al fuego a lo menos F15 en todos sus elementos y componentes soportantes, siempre que el muro de adosamiento o muro divisorio, según corresponda, cumpla con las exigencias de muros divisorios entre unidades […]". Lo anterior significa que se podría proponer una construcción pareada de dos pisos en la que el muro medianero cumpla con la clase F60 exigida, pudiendo todos los demás elementos estructurales clasificar como F15.

Material y Método

El ensayo de resistencia al fuego se ejecutó en las dependencias del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales (IDIEM) de la Universidad de Chile, aplicando para ello la norma chilena NCh 935/1 Of. 97.

De acuerdo a esta norma, el elemento a ensayar se debe analizar en condiciones normales de servicio a fin de reproducir, durante el ensayo, un sistema similar de empotramiento, apoyos y cargas al que deberá estar sometido. Para cumplir con ello, el elemento de prueba debe ser de tamaño real, las dimensiones de la probeta están determinadas por la boca del horno, el cual tiene 2,2m de ancho por 2,4m de alto, esto implica que se emplearon dos probetas de panel SIP64 de dimensiones 1,1 x 2,4m, ensamblados de canto por un pie derecho y amarrados perimetralmente por una solera superior y otra inferior. Además durante todo el ensayo se mantuvo constante la magnitud de la carga de compresión (120kg/ml).

Cabe señalar que al inicio del ensayo la temperatura ambiental era de 15°C, la humedad relativa del ambiente fue de 54% y el horno registraba una temperatura inicial de 24°C.

En nuestro país, el único método válido para determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción es mediante un ensayo empírico en laboratorios especializados, aplicando para ello la norma NCh 935/1 Of. 97. Una alternativa que permite plantear una justificación analítica del comportamiento al fuego de entramados livianos de madera, es el Método Aditivo de Componentes (Component Additive Method - CAM), desarrollada por el Comité de Ensayos al Fuego del National Research Council (NRC) de Canadá, el cual corresponde a una revisión detallada de informes de ensayos normalizados de elementos

de tabiquería, estructuras de techumbre y envigados de pisos de madera, lo que permitió fundamentar valores de tiempos asignados para la contribución a la resistencia al fuego de cada componente individual de un elemento constructivo (WAGNER, 2003). Los tiempos asignados para diferentes componentes son los que aparecen en las tablas 1; 2 y 3.

Tabla 1: Tiempo asignado a revestimientos

Descripción del revestimiento	Espesor [mm]	Tiempo asignado [min]
Contrachapado fenólico Pino Oregón	9,5	5
Contrachapado fenólico Pino Oregón	12,5	10
Contrachapado fenólico Pino Oregón	16	15
Yeso Cartón	9,5	10
Yeso Cartón	12,5	15
Yeso Cartón	16	20
Yeso cartón doble	9,5 + 9,5	25
Yeso cartón doble	12,5 + 9,5	35
Yeso cartón doble	12,5 + 12,5	40

Tabla 2: Tiempo asignado a componentes de tabiquerías de madera

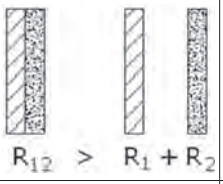
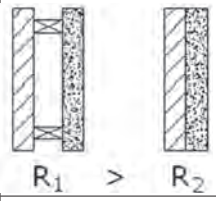
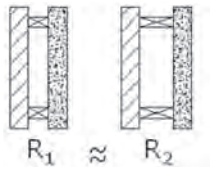
Descripción estructura de madera	Espaciamiento [cm]	Tiempo asignado [min]
Pies derechos de madera	41	20
Vigas de madera	41	10
Entramado de piso y cerchas de techo	61	5

Tabla 3: Tiempo asignado aislación interior lana mineral

Descripción	Peso [Kgf/m2]	Tiempo asignado [min]
Lana Mineral	> 1,25	15
Lana Mineral	< 1,25	5

Además como resultado de los informes de ensayos realizados por la NRC se confeccionaron una serie de criterios de diseño que permiten mejorar el comportamiento al fuego de elementos constructivos, conocidos por las “Diez Reglas de Resistencia al Fuego” de Tiber Harmathy (AMERICAN WOOD COUNCIL, 2012), dentro de las cuales es de interés mencionar las tres siguientes:

Tabla 4: Reglas de Harmathy

Descripción	Esquema	Criterio
Regla 1. La resistencia al fuego de un elemento compuesto por varias capas es mayor que la suma parcial de las resistencias de cada capa individual.		R12 > R1 + R2
Regla 3. La resistencia al fuego de un elemento compuesto por varias capas separadas por cámaras de aire es mayor que la resistencia de un elemento de igual peso pero sin cámaras de aire.		R2 > R1
Regla 5. La resistencia al fuego de un elemento no aumenta como resultado del incremento del espesor de una cámara de aire.		R1 ≈ R2

Resultados y Discusión

En relación a los resultados del ensayo de resistencia al fuego para el SIP64, obtenidos sobre la base del informe técnico emitido por el Laboratorio de Incendios del IDIEM (Apéndice I), se menciona lo siguiente:

Capacidad de soporte de carga: El elemento se sometió a una carga mecánica de 120Kg/m lineal. Durante el ensayo el panel sufrió deformaciones, las cuales no llegaron a ser causa de falla.

Aislamiento térmico: La temperatura puntual máxima admisible de 195°C en la cara no expuesta al fuego se produjo a los 17 minutos de iniciado el ensayo, instante en el cual la temperatura promedio registró 134°C.

Estanquidad: El elemento se mantuvo estanco a las llamas hasta el término del ensayo.

Emisión de gases inflamables: El elemento no emitió gases inflamables durante todo el ensayo.

En consecuencia la resistencia al fuego del panel SIP64 resultó ser de 17 minutos, alcanzando la clasificación F15 de acuerdo a tabla 6, según lo establece la norma chilena NCh 935/1.Of97.

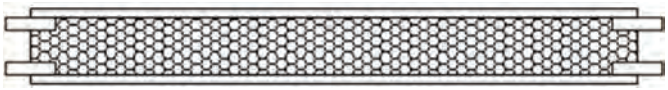
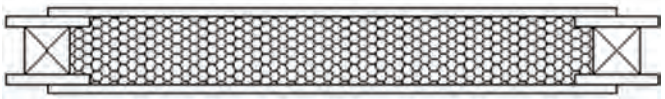
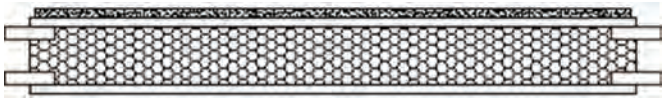
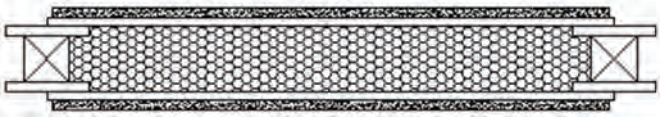
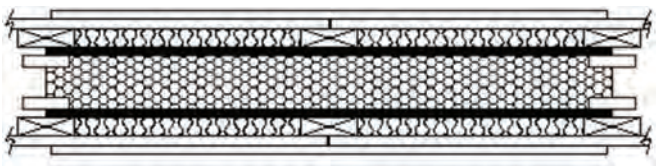
Tabla 5: Clasificación de la resistencia al fuego de un elemento de construcción.

Clase	Duración (minutos)	
F0	≥ 0	< 15
F15	≥ 15	< 30
F30	≥ 30	< 60
F60	≥ 60	< 90
F90	≥ 90	< 120
F120	≥ 120	< 150
F150	≥ 150	< 180
F180	≥ 180	< 240
F240	≥ 240	

Fuente: NCh 935/1 Of. 9

En el Listado Oficial del Comportamiento al Fuego de Elementos y Componentes de Construcción (2012) se presenta una solución para muros perimetrales y/o divisorios, estructurada con el sistema constructivo SIP, la cual cumple con la exigencia mínima para muros medianeros (F60). Esta y otras soluciones de interés se encuentran detalladas en la tabla 7, mencionando tanto el espesor total del elemento constructivo (ET) como su respectiva clasificación del comportamiento al fuego (MINVU, 2010):

Tabla 6: Soluciones constructivas del comportamiento al fuego para el complejo de muros

Solución	Descripción	Et (mm)	Clase
1. Muro perimetral y/o divisorio	Panel SIP constituido por dos tableros OSB de espesor 9,5 mm, pegados a un alma de poliestireno expandido de densidad 15 Kg/m3 y espesor 56 mm. Los paneles están ensamblados entre sí de canto y van unidos con dos lengüetas de tablero OSB de 50 x 11,1 mm insertados en los rebajes del poliestireno y atornilladas a las placas de OSB. 	75	F-15
2. Muro divisorio	Panel SIP constituido por dos placas OSB “Smart Side” de 11,1 mm de espesor pegadas a un núcleo de poliestireno expandido de espesor 67,2 mm cuya densidad aparente es de 15 Kg/m3. La unión entre paneles se materializa con un perfil tipo H compuesto por un alma de Pino Radiata de 45 x 45 mm cepillado y alas de madera aglomerada tipo OSB de 90 x 11,1 mm atornilladas y pegadas al listón. 	90	F-15
3. Muro perimetral y/o divisorio	Panel SIP estándar de 75 mm revestido por una de sus caras (interior) con una plancha de yeso cartón “Std” de espesor 10 mm, atornillada a la estructura. 	85	F-30
4. Muro divisorio	Panel SIP de espesor 90 mm, forrada por ambas caras con una plancha de yeso cartón “Std” de espesor 10 mm. 	110	F-30
5. Muro medianero	Panel SIP de espesor 75 mm, atornillado por ambas caras a montantes de Pino Radiata de 30 x 90 mm, espaciados cada 0,6 m. Como terminación lleva traslapadas dos planchas de yeso cartón “Std” de espesor 10 mm. Los espacios libres son rellenados con lana de vidrio de espesor 50 mm, (comprimidas a 30 mm) cuya densidad nominal es de 14 Kg/m3. 	175	F-60

Del resultado del ensayo realizado y al analizar la tabla anterior se observa que tanto el SIP64, como el SIP75 y el SIP90 clasifican por F15, por tanto se puede inferir que un aumento en el espesor del poliestireno expandido no aporta mayor resistencia al fuego del elemento en cuestión y su comportamiento concuerda con el efecto que tiene una cámara de aire según lo que se plantea en la 5° Regla de Harmathy: “La resistencia al fuego de un elemento no puede incrementarse como resultado del aumento del espesor de una cámara de aire”, en consecuencia la resistencia al fuego de estos paneles está determinada casi exclusivamente por los revestimientos. Por lo general un tablero OSB de espesor 9,5 ó 11,1mm puede durar entre 7 a 9 minutos frente al fuego y en cambio el poliuretano expandido se consume en un minuto .

Se extrae además que al incorporar por la cara interior (expuesta al fuego) del panel SIP75, una plancha de yeso cartón “Std” de espesor 10mm, la resistencia al fuego del elemento aumentó de F15 a F30 (solución 3), sin embargo no alcanza a clasificar como F60 al adicionarle otro estrato del mismo material por la cara exterior (solución 4), tal índice se logra, al incorporar dos planchas de yeso cartón de 10mm por ambos lados con bastidores de madera y relleno de lana mineral (solución 5).

En el ejercicio de satisfacer con la normativa dictada por la Ordenanza respecto a la seguridad contra incendios, se podría edificar una vivienda menor a 140m^2 y de hasta dos pisos, sólo con paneles SIP64 para todos los elementos constructivos estructurales y no estructurales (entramado de piso, estructura de techo, muros soportantes, etc), a excepción del muro medianero o divisorio entre unidades, al cual se le exige una resistencia al fuego F60. Sobre la base de los tiempos asignados por el CAM y las Reglas de Harmathy, se podría plantear una solución de muro medianero que cumpla con la exigencia F60 de la siguiente forma:

- De la tabla 1 se extrae que el yeso cartón de espesor 9,5mm se le asigna 10 minutos individualmente y si se ocupa doble yeso cartón de 9,5mm de espesor este presenta una contribución de 25 minutos, lo que concuerda con la Regla 1 de Harmathy.
- De la tabla 6 se obtiene que el SIP75 clasifica por F15 y al adicionar por la cara expuesta al fuego un yeso cartón de espesor 10mm, clasifica por F30, es decir, la contribución del yeso cartón al panel SIP75 es de al menos 15 minutos, a pesar que individualmente el yeso cartón de 10mm se le pueda asignar un menor tiempo de resistencia al fuego.
- Debido a que el panel SIP64 y SIP 75 clasifican como F15, se puede diseñar un muro medianero similar a la solución 5 de la Tabla 6, en la cual se utilice un SIP64 en vez de un SIP75 y se atornille por ambas caras con una doble capa de yeso cartón de espesor 10 mm. Aplicando el CAM a tal estructura debiera clasificar por F60, según se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Solución muro medianero F60 estructurado con SIP64

Descripción Muro Medianero	Tiempo asignado en minutos
Yeso cartón doble (10mm + 10mm)	25 minutos
SIP 64	15 minutos
Yeso cartón doble (10mm + 10mm)	25 minutos
Índice de RF del tabique	65 minutos

Finalmente cabe reiterar que en nuestro país la única opción válida para comprobar la resistencia al fuego de un sistema constructivo ante DITEC del MINVU, es con la entrega de los resultados del ensayo normalizado a escala real de resistencia al fuego. Dicha imposición inhibe las innovaciones y propicia un gran entrabamiento burocrático, que además de ser onerosos, requieren considerables lapsos de tiempo (WAGNER, 2011). Por otra parte, en todo el territorio nacional existen sólo dos centros experimentales, certificados por el MINVU, que cuentan con la infraestructura necesaria requerida para los ensayos, lo que crea otro factor de atochamiento para los eventuales solicitantes.

Sin lugar a dudas que el poder contar con una alternativa de estimación de resistencia al fuego de naturaleza analítica, tal como la que brinda el CAM, constituye una interesante iniciativa para liberar las trabas operativas que se han mencionado, permitiendo un desarrollo más auspicioso para la construcción en Chile. Sin embargo, para poder validar éste método, resulta imperioso implementar una normativa que regule la fabricación de los materiales utilizados en la construcción, tal como se aplica en Estados Unidos, con la Normativa de Productos Voluntarios (Voluntary Product Standard) porque hasta ahora la fabricación está regulado por cada empresa, lo que deriva en diferencias tanto en la composición como en la densidad y calidad del producto, adquiriendo distintas resistencias al fuego para un mismo material, incluso fabricado por la misma empresa.

Conclusiones

En cuanto a la seguridad contra incendios, se concluye que los paneles SIP64 y SIP75 presentan la misma cualidad de soportar las condiciones de un incendio estándar, pues ambos poseen una resistencia al fuego clasificada como F15, en consecuencia también es factible inscribir el SIP64 en la DITEC del MINVU como muro perimetral y es posible proponer una construcción pareada en la que el muro medianero o divisorio (hasta la cubierta) cumpla con la clase F60 exigido, adicionando a la estructura base del panel SIP64, materiales inorgánicos como el yeso cartón o fibrocemento.

Comportamiento acústico

Objetivo General

Evaluar el comportamiento acústico de tres tipos de viviendas: un prototipo de vivienda de emergencia construido en base a paneles SIP, viviendas sociales y en mediaguas.

Objetivos Específicos

- Determinar la capacidad de aislación acústico interno y externo de las viviendas.
- Determinar la capacidad aislante acústica del muro pareado en cada caso.
- Evaluar para las tres viviendas, el cumplimiento de la normativa sobre confort acústico definido por el MINVU para vivienda social.

Materiales y Métodos

Materiales

Prototipo de vivienda de emergencia propuesto en el Proyecto FONDEF D09I1058. El prototipo está fabricado en base a paneles SIP. la Figura 2 muestra el frontis del prototipo constituido por una puerta y una ventana adyacente. En la parte posterior, se ubican dos ventanas contiguas. Adicionalmente, en la viga cumbrera se instalan dos ventanas de aproximadamente 40cm x 60cm, las que permiten ventilación e iluminación adicional a la vivienda.

La estructura de la techumbre del prototipo posee un espesor total de 99mm, correspondiente a los dos tableros OSB de 9,5mm y el aislante interior de poliestireno expandido de 80mm, cuya densidad es 15kg/m^3 (Figura 1).

En la Figura 3 es posible observar los planos de las componentes de esta vivienda modular.

La separación entre muros colindantes está conformada por dos paneles SIP de 64mm más una plancha de yeso cartón de 10mm por lado, esta estructura representa la separación “muro pareado” entre dos viviendas contiguas.

- Vivienda social elegida en virtud de dar cumplimiento a la legislación vigente de acuerdo con la presente norma.
- Media agua que represente la condición más habitual para este tipo de vivienda.



Figura 1: Prototipo de Viviendas pareadas instaladas en Santiago, zona térmica 3

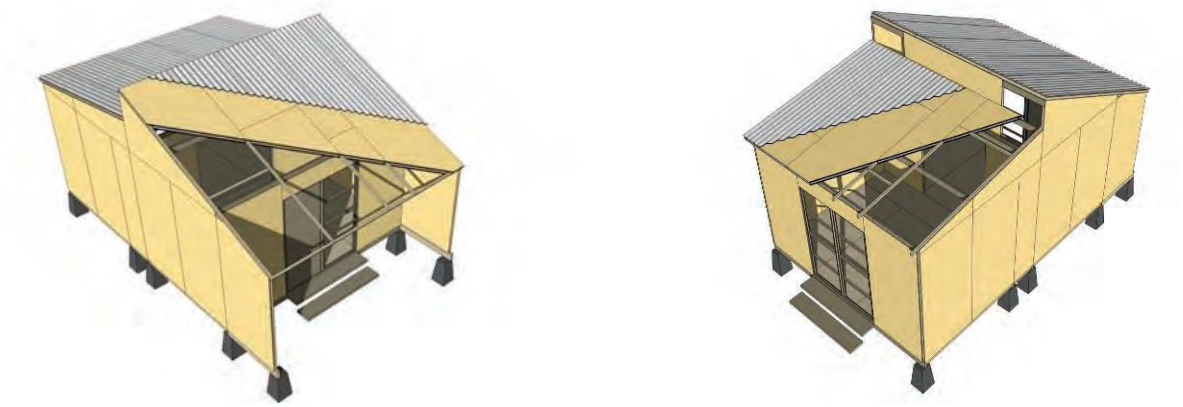


Figura 2: Prototipo de Vivienda de emergencia. Vista delantera y trasera

Equipos

- Sonómetro Larson Davis LTX1– Modelo 831
- Generador de ruido Larson Davis SRC20
- Calibrador de nivel sonoro Larson Davis CAL 200

Metodología

Las determinaciones se realizaron en el prototipo de vivienda ubicada en Av. Santa Rosa 11.315, en las dependencias del Campus Antumapu de la Universidad de Chile.

La mediagua está ubicada en el Pasaje Vitacura 850, La Pintana, cuyo distribución es de dos habitaciones contiguas, de dimensiones totales 6 x 3m y en la cual se realizó el ensayo bajo las mismas condiciones que en el prototipo. Se determinó la aislación acústica en el muro pareado y en el muro divisor de habitación para lo cual el recinto se dividió en dos habitaciones. Una fue la habitación emisora, en donde estuvo ubicada la fuente sonora y la otra fue la habitación receptora.

Las determinaciones se hicieron en ambas viviendas según el procedimiento indicado en la norma NCh2785.Of 2003. La cual señala que se debe generar un ruido rosa, en la sala de emisión, estableciendo en el recinto un promedio espacial de niveles de presión sonora (NPS) en banda ancha igual a 107 dBA. Posteriormente, se midió el nivel de presión sonora (NPS) en ambas habitaciones por medio del sonómetro, se consideraron 6 posiciones de micrófono fijo y dos posiciones de fuente (12 mediciones en total por habitación). Se determinó el tiempo de reverberación de la sala receptora, según el método de la fuente interrumpida, usando para ello 4 posiciones de sonómetro fijas, una posición de fuente y 2 decaimientos por posición (8 mediciones en total). Además se registró el nivel de ruido de fondo en la sala receptora, para así calcular la diferencia de dBA antes y después del ruido, el tiempo mínimo que se ocupo fue de 30 segundos o hasta que el NPS sea constante.

El registro de datos permite determinar el índice de reducción acústica aparente (R`), que corresponde a 10 veces el logaritmo en base 10 de la razón entre la potencia acústica W1 la cual incide sobre el elemento de construcción bajo ensayo y la potencia acústica total transmitida en el recinto de recepción si, a la potencia acústica W2 transmitida a través del elemento de separación se le suma la potencia acústica W3 transmitida a través de las construcciones laterales o por otros componentes, la cual puede ser significativa, se expresa en decibeles (dB).

$$R' = 10\ log\ \frac{W_1}{W_2 + W_3}$$

Requerimiento para la correcta aplicación de la metodología.

Con respecto a las distancias mínimas que debió tomar el micrófono en las habitaciones según la norma chilena NCh2785 :

- 0,7m entre las posiciones del micrófono.
- 0,5m entre cualquier posición del micrófono y bordes o difusores del recinto.
- 1m entre cualquier posición del micrófono y la fuente de ruido.

Con respecto a las fuentes de sonido, estas se deben ubicar en la habitación emisora a una cierta distancia del borde de la habitación y no debe ser menor a 0,5m.

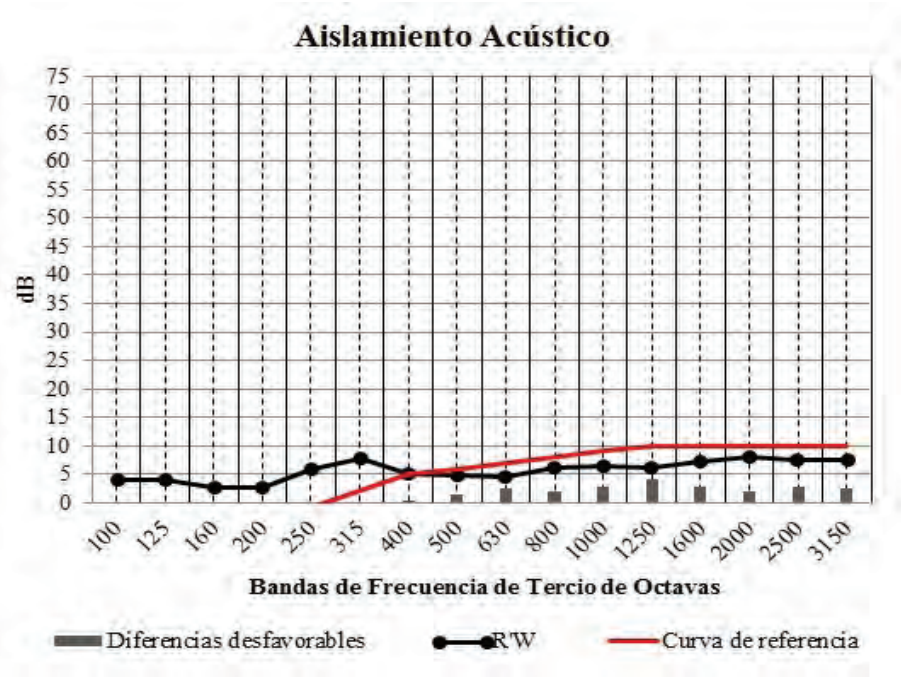
Resultados

Resultados del muro divisor de ambiente

La Tabla 1 muestra el resultado obtenido correspondiente al muro divisor de ambiente para la vivienda conocida como media agua. Se observa las frecuencias de 1/3 de octava con su respectivo índice de reducción acústica, paralelamente, se muestra la gráfica de estos datos. La tabla 2 muestra la interpretación completa del cuadro y grafico anterior.

Frecuencia 1/3 de Octavas	R'W
100	3,9
125	3,8
160	2,7
200	3,1
250	5,8
315	7,6
400	4,9
500	4,6
630	4,4
800	6,1
1000	6,3
1250	6,0
1600	7,2
2000	8,1
2500	7,3
3150	7,4

Tabla1: Aislamiento acústico de muro divisor de ambiente de la media agua.



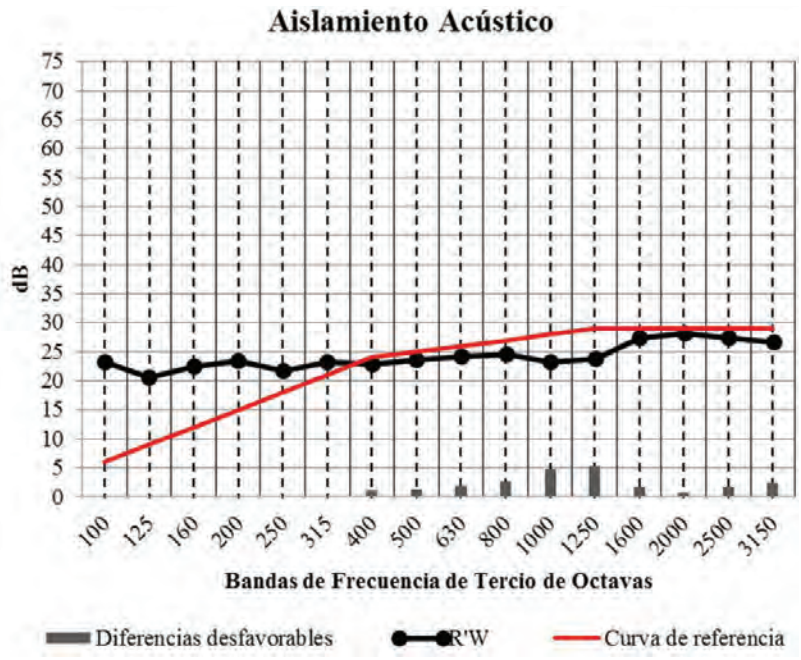
R'W (C; Ctr)	6 (0; 0)	dB
R'W + C	6	dBA
R'W + Ctr	6	dB

Tabla 2: Aislamiento acústico final para el muro divisor

La Tabla 3 muestra el resultado correspondiente al panel SIP 64mm como elemento divisor en el prototipo. Se observa las frecuencias de 1/3 de octava con su respectivo índice de reducción acústica. Paralelamente, se grafica los datos entregados. La Tabla 4 muestra la interpretación completa del cuadro y grafico anterior.

Frecuencia 1/3 de Octavas	R'W
100	23,2
125	20,7
160	22,5
200	23,3
250	21,6
315	23,2
400	22,9
500	23,6
630	24,2
800	24,4
1000	23,2
1250	23,7
1600	27,4
2000	28,2
2500	27,3
3150	26,6

Tabla 3: Aislamiento acústico del panel SIP 64mm del prototipo de vivienda.



R'W (C; Ctr)	25 (0; 1)	dB
R'W + C	25	dBA
R'W + Ctr	24	dB

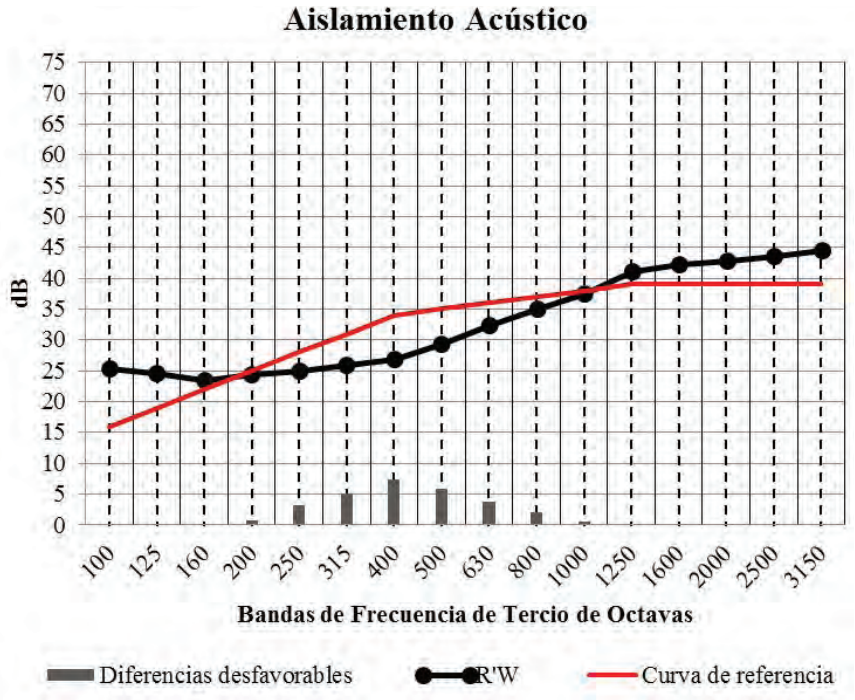
Tabla 4: Aislamiento acústico final para el panel SIP 64mm del prototipo de vivienda.

Resultados del muro divisor pareado

La Tabla 5 muestra el resultado correspondiente al muro divisor pareado del prototipo. Se observa las frecuencias de 1/3 de octava con su respectivo índice de reducción acústica, paralelamente se grafica estos datos. La Tabla 6 muestra la interpretación completa del cuadro y grafico anterior.

Frecuencia 1/3 de Octavas	R'W
100	25,2
125	24,5
160	23,4
200	24,2
250	24,8
315	25,9
400	26,7
500	29,2
630	32,2
800	34,9
1000	37,4
1250	41,1
1600	42,1
2000	42,7
2500	43,5
3150	44,5

Tabla 5: Aislamiento acústico muro pareado de ambiente del prototipo de vivienda.



R'W (C; Ctr)	35 (-1; -4)	dB
R'W + C	34	dBA
R'W + Ctr	31	dB

Tabla 6: Aislamiento acústico final para el muro pareado del prototipo.

Conclusión

Con los resultados que se obtuvieron se puede concluir que el muro divisor de ambiente de la mediagua está muy por debajo de lo que dicta la norma sobre el ruido aéreo, teniendo un R'W de 6dB el cual indica que estos muros son muy deficientes y que deja pasar una gran cantidad del ruido, en cambio los muros del panel SIP del prototipo tiene un R'W de 25dB que comparado con el de la mediagua es mucho más eficiente en la atenuación del ruido.

Para el muro pareado del prototipo de vivienda este tiene un R'W de 35dB, son 10dB más que el muro SIP, esto se debe a que este muro es de doble panel SIP más una plancha yeso cartón a ambos lados, cuya función es aumentar la resistencia al fuego de la vivienda, consecuentemente colabora de manera secundaria a la atenuación acústica del muro de pareo, y entre más espesor tenga estos muros mayor será la atenuación del ruido.

Aunque ningún panel SIP cumple con la norma vigente del ruido aéreo, estos están cerca del mínimo establecido, también es importante destacar que el panel SIP posee como material aislante poliestireno expandido, el cual no se caracteriza por sus cualidades aislantes de ruido, al contrario es un mal aislante acústico por lo que la mayor atenuación la realiza los paneles OSB.